

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ  
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ  
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

## **СТНО-2017**

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Сборник трудов**

**Том 1**

Рязань 2017

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5  
С568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 [текст]: сб. тр. II международного науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т.1./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017; Рязань. – 288 с.

Сборник включает труды участников II Международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2017. Освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиоэлектронике, телекоммуникации, измерительной технике и системах, биомедицинских технологиях, вычислительных сетях, САПР, машиностроительном и нефтехимическом производстве, в образовании, экономике, гуманитарной сфере и космических технологиях.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

**Организационный комитет:**

Таганов А.И. – председатель, проректор по научной работе РГРТУ, д.т.н., проф.;

Миловзоров О.В. – координатор конференции, зам. директора ин-та магистратуры РГРТУ по научной работе, к.т.н., доц; Устинова Л.С. – отв. за информационную поддержку, нач. отдела информационного обеспечения; Трубицына С.Г. – секретарь оргкомитета, ведущий инженер.

**Члены оргкомитета:** Алпатов Б.А. – д.т.н., проф.; Бабаян П.В. – зав. каф. АИТУ, к.т.н., доц.; Бухенский К.В. – зав. каф. ВМ, к.ф.-м.н., доц.; Витязев В.В. – зав. каф. ТОР, д.т.н., проф.; Демидов С.В. – директор Гуманитарного института, д.и.н., проф.; Еремеев В.В. – директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.; Есенина Н.Е. – зав. каф. ИЯ, к.п.н., доц.; Жулев В.И. – зав. каф. ИИБМТ, д.т.н., проф.; Кириллов С.Н. – зав. каф. РУС, д.т.н., проф.; Клейносова Н.П. – директор Центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.; Ключко В.К. – зав. каф. ЭиММ, д.т.н., проф.; Коваленко В.В. – зав. каф. ХТ, к.т.н., доц.; Корячко В.П. – зав. каф. САПР, д.т.н., проф.; Костров Б.В. – зав. каф. ЭВМ, д.т.н., проф.; Кошелев В.И. – зав. каф. РТС, д.т.н., проф.; Круглов С.А., – зам. зав. каф. ПЭл, к.т.н., доц.; Мусолин А.К. – зав. каф. АИТП, д.т.н., проф.; Паршин Ю.Н. – зав. каф. РТУ, д.т.н., проф.; Перфильев С.В. – зав. каф. ГМиКУ, д.э.н., проф.; Пржегорлинский В.Н. – зав. каф. ИБ, к.т.н., доц.; Пылькин А.Н. – декан ФВТ, зав. каф. ВПМ, д.т.н., проф.; Степнов И.М. – зав. каф. ЭиФМ, д.э.н., проф.; Холомина Т.А. – зав. каф. МНЭЛ, д.ф.-м.н., проф.; Чеглакова С.Г. – зав. каф. ЭБАиУ, д.э.н., проф.; Чиркин М.В. – зав. каф. ЭП, д.ф.-м.н., проф.

ISBN 978-5-7722-0293-7

© Рязанский государственный  
радиотехнический университет, 2017

# СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»

УДК 621.873

## АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

**А.В. Костина**

*Тульский государственный университет,  
Россия, г. Тула, sasha888kostina@mail.ru*

*Аннотация.* Связь между статическим нагружением материала и изменениями рельефа его поверхности в области пластической деформации позволяет оценивать изменение значения действующих нагрузок в контролируемой области конструкции и величину деформации.

*Ключевые слова:* поврежденность, концентраторы напряжений, деформация, шероховатость поверхности.

## DAMAGE ANALYSIS UNDER STATIC LOADING MILD STEEL CHANGE SURFACE RELIEF

**A.V. Kostina**

*Tula State University,  
Russia, Tula*

*Abstract.* The relationship between the static loading of the material and its surface topography changes in the field of plastic deformation allows to evaluate the change in the value of existing loads in a controlled area of the structure and the amount of strain.

*Keywords:* damages, stress concentrators, deformation, surface roughness.

Грузоподъемные краны широко применяются практически во всех отраслях народного хозяйства при технологических, погрузочно-разгрузочных, монтажных, складских и других работах. В настоящее время следует уделить особое внимание проблеме ухудшения технического состояния подъемных кранов во многих округах Российской Федерации.

Ухудшение технического состояния металлоконструкций грузоподъемных машин (ГПМ) под воздействием внешних факторов приводит к нарушению эксплуатационной пригодности этих машин в целом.

Изучение процесса разрушения металлических материалов кроме теоретического имеет большое прикладное значение, так как значительное число деталей машин и элементов конструкций в процессе эксплуатации подвергается воздействию деформаций, возникающих в результате действия статической нагрузки. В ранее изученных работах были предложены методы оценки накопленной поврежденности материала при циклических нагрузках по изменению рельефа поверхности [1-3].

Цель исследования – выявить зависимость рельефа поверхности от увеличения прикладываемой нагрузки с помощью статического пошагового нагружения образцов и оценки параметров рельефа.

Для проведения эксперимента был подготовлен лабораторный образец из стали Ст3сп прямоугольного сечения [4]. Поверхность испытываемых образца, в районе концентратора напряжений, полировалась до шероховатости  $R_a=0,024$  мкм. На рисунке 1 показаны фото поверхности и её профиль до нагружения.

Испытания проводились на разрывной машине Р-20. Для оценки поврежденности использовали измеритель шероховатости TR220.

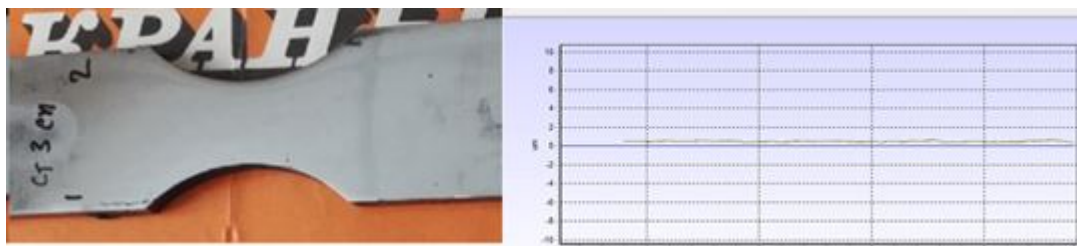


Рис. 1. Исходный образец и его профиль поверхности

После нескольких нагружений хорошо заметно пластическое деформирование поверхности образца (превышение предела текучести) и появление полос Чернова-Людерса (рис. 2) по поверхности образца, при сохранении им геометрических размеров.

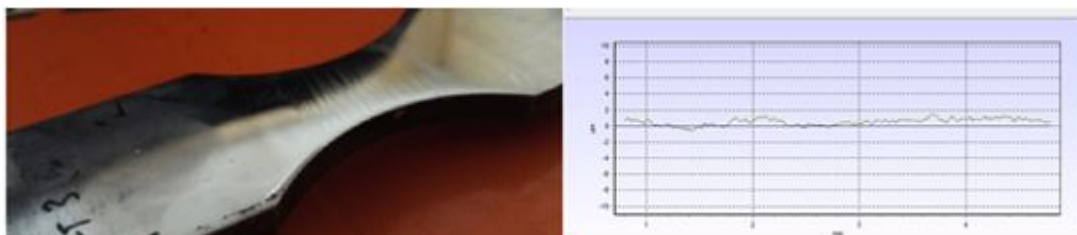


Рис. 2. Появление полос Чернова-Людерса и соответствующий профиль поверхности

Рассматривая рисунок 3, можно наблюдать интенсивное пластическое течение материала, также на рисунке 3 видно состояние поверхности материала, находящегося в состоянии предразрушения.

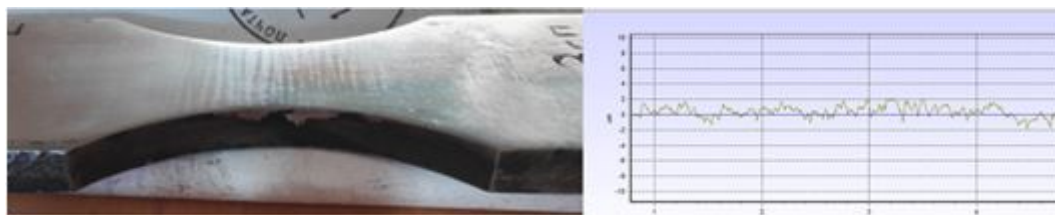


Рис. 3. Интенсивное пластическое течение материала и соответствующий профиль поверхности

Пластическая деформация идет при возрастающей нагрузке, так как металл в процессе деформирования упрочняется. Наклеп металла увеличивается до момента разрыва образца, хотя растягивающая нагрузка при этом уменьшается. Это объясняется появлением в образце местного утонения-шейки, в котором в основном сосредотачивается пластическая деформация. Несмотря на уменьшение нагрузки, растягивающие напряжения в шейке повышается до тех пор, пока образец не разрушится. При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается.

По полученным данным была рассчитана зависимость амплитуды кривизны профиля  $R_{\max}$  от величины нагрузки  $F$ , которая показана на рисунке 4.

В результате аппроксимации полученных данных степени была получены следующие зависимости:

Для стали 09Г2С:

$$F = -1315,4 \ln R_{\max} + 7140,8$$

Для стали Ст3сп:

$$F = -138,03 R_{\max}^2 + 1425,2 R_{\max} + 3200,6$$



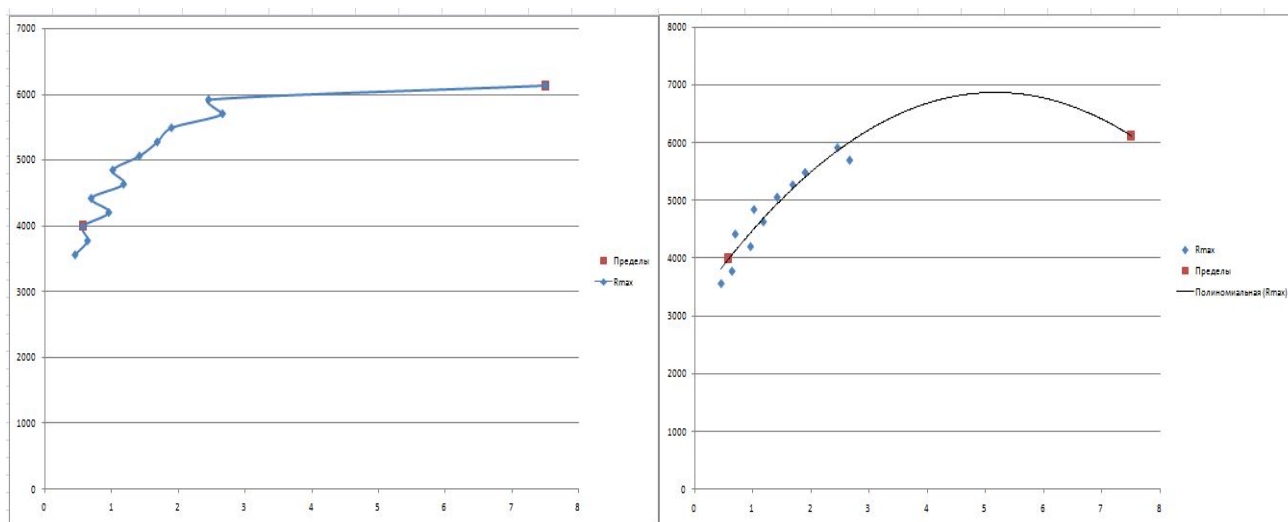


Рис. 4. График зависимости изменения  $R_{max}$  от нагрузки  $F$  и его аппроксимация

В результате эксперимента впервые была обнаружена и количественно оценена связь между статическим нагружением материала и изменениями рельефа его поверхности в области пластической деформации. Установлено, что при увеличении растягивающей нагрузки на образцы возрастает амплитуда изменения рельефа его поверхности.

Полученные зависимости позволяют, оценивая изменение рельефа поверхности, определить:

- значение действующих нагрузок и напряжений в контролируемой области конструкции
- величину деформаций и накопленной поврежденности.

### Библиографический список

1. Селиверстов Г.В. Диагностика металлоконструкций на основе анализа пластических деформаций // Изв. ТулГУ. Сер. Подъемно-транспортные машины и оборудование. Вып. 7 – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. С. 198-201
2. Сорокин П.А., Селиверстов Г.В., Толоконников А.С. Диагностика усталостной поврежденности металлоконструкций грузоподъемных машин // Изв. ТулГУ. Технические науки. Вып. 1 – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. С. 123-128.
3. Сорокин П.А., Селиверстов Г.В., Толоконников А.С. Перспективы применения методов оптической рефлектометрии для диагностики металлоконструкций // Подъемно-транспортное дело. – 2008. - №2. – С.5 – 6.
4. ГОСТ 25.502-79 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М.: ИС, 1986. – 32 с.

УДК 672, 621.64; ГРНТИ 55.29.33

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА БЕСПЕРЕБОЙНОГО СМАЗЫВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.А. Ильчук

Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета,  
Россия, г. Рязань, [il4uk.goscha@yandex.ru](mailto:il4uk.goscha@yandex.ru)

**Аннотация.** В данной работе описывается способ обеспечения бесперебойного смазывания трущихся элементов и деталей станка за счёт аккумуляции части жидкости с рабочим давлением в гидроаккумуляторе с автоматической системой управления.

**Ключевые слова:** станок, пульсация, гидравлическая жидкость, гидроаккумулятор

## AUTOMATING THE PROCESS SMOOTH LUBRICATION ELEMENTS OF ENGINEERING EQUIPMENT

I.A. Ilchuk

Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,  
Russia, Ryazan, [il4uk.goscha@yandex.ru](mailto:il4uk.goscha@yandex.ru)

**Abstract.** This work describes a method to ensure continuous lubrication of the rubbing elements and details of the machine due to the accumulation of part of the fluid operating pressure in the hydraulic accumulator with automatic control system.

**Keywords:** machine, surge, hydraulic fluid, hydraulic accumulator

Одним из направлений развития машиностроения является повышение долговечности трущихся деталей оборудования в условиях эксплуатации. При решении этой задачи важное место занимает работа систем смазывания и охлаждения, которые обеспечивают эффективный тепловой режим узлов и деталей трения и обработки, особенно при неблагоприятных условиях эксплуатации.

В гидравлических системах станков для создания рабочего давления в приводах систем смазывания и охлаждения применяются насосы:

- пластинчатые – типа БГ12-41А, БГ12-41Б, Г12-41А, 5Г12-42А;
- шестерённые – типа Г11-1;
- плунжерные – типа ПС23М-34, С23М-32, 1К62Д, непрерывного действия с постоянной или регулируемой подачей жидкости [1].

Независимо от качества смазочного масла, смазочно-охлаждающей жидкости и конструкции насоса любая система во время работы создаёт пульсацию гидравлической жидкости, которая достигает 20-30 % от величины среднего давления в ней, что негативно сказывается на работе гидравлической системы, её компонентов и может повлиять на ресурс (рис. 1).

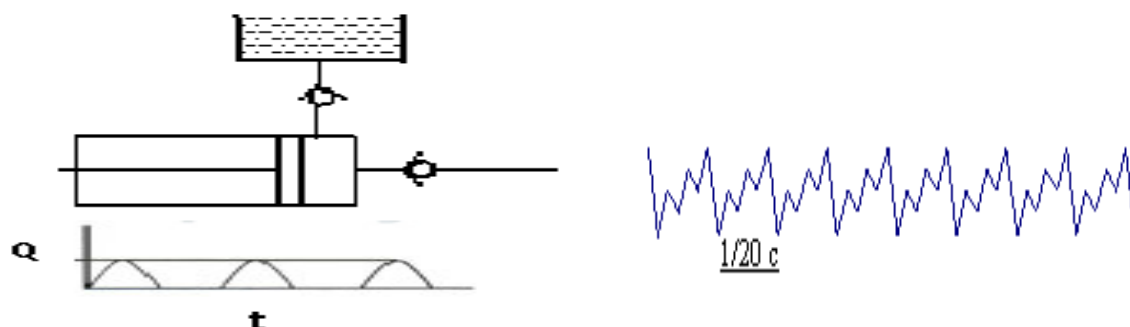


Рис. 1. Система с осциллограммой пульсации давления жидкости

В случае, когда необходимо достичь большого потока в гидравлической системе за короткий период времени, вместо малого потока или когда нет никакого потока, необходимо использование дополнительного источника жидкости, обеспечивающего создание рабочего давления в гидравлической системе на протяжении нужного временного интервала.

Таким устройством может стать гидроаккумулятор, который позволяет применять насосы и моторы с пониженной приводящей мощностью, что позволит уменьшить расходы по обслуживанию станка и гидравлических систем (рис. 2).

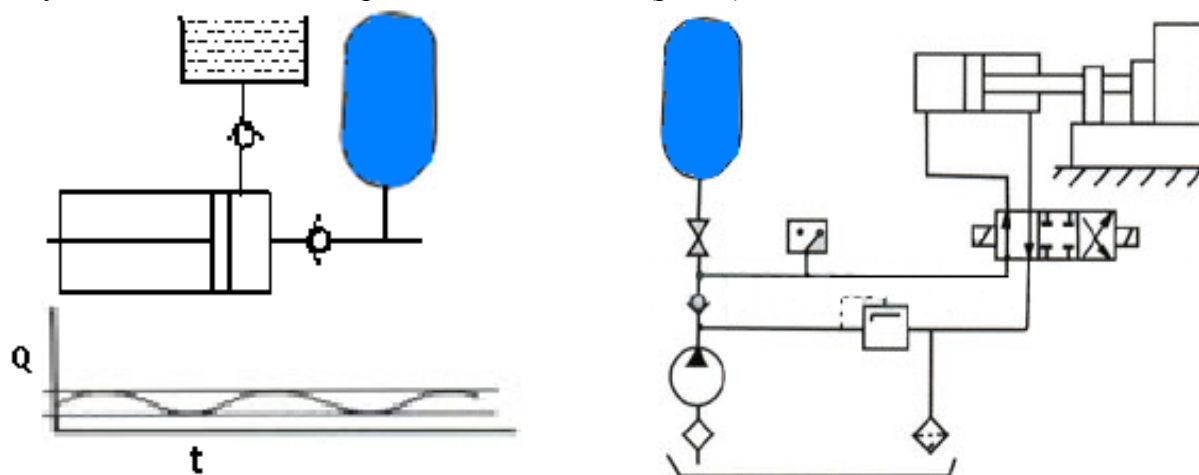


Рис. 2. Модернизированная система с гидроаккумулятором

Для снижения пульсации гидроаккумуляторы устанавливают как можно ближе к нагнетательным патрубкам насосов станка. Наиболее эффективно применение гидроаккумулятора при установке насоса-дозатора или насосов с малым количеством поршней.

Вариант такого гидроаккумулятора представлен на рисунке 3.

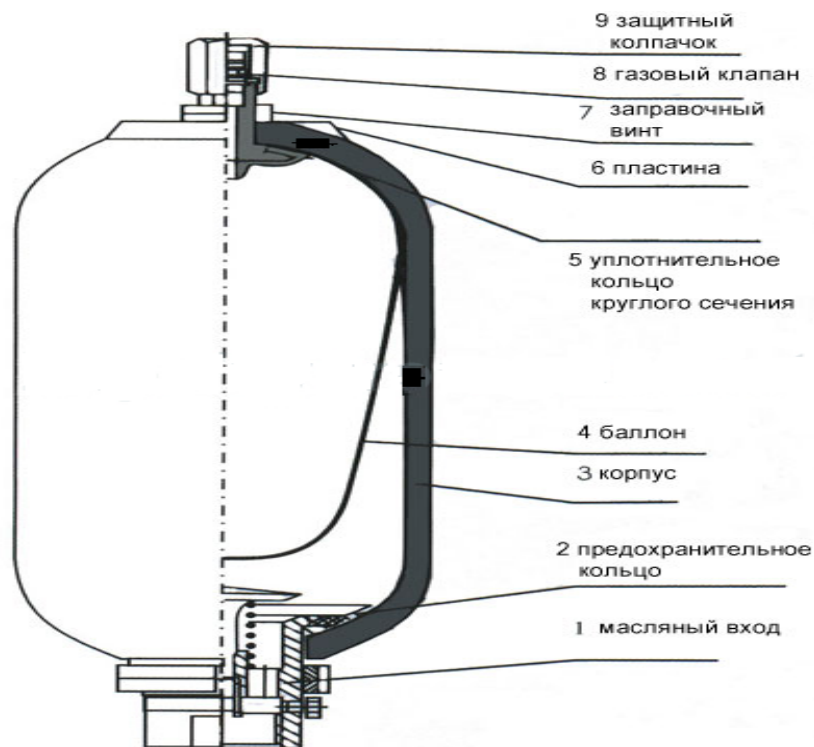


Рис. 3. Устройство баллонного гидроаккумулятора

Гидроаккумулятор может накопить количество жидкости под давлением, которое будет необходимо для завершения рабочего цикла или для того, чтобы гидравлическая система была выведена оператором в безопасный режим. Это позволит предотвратить повреждение элементов станка или самой изготавливаемой детали. Кроме того, наличие такого дополнительного источника жидкости незаменимо, когда возникает необходимость восполнить аварийное падение давления в гидравлических системах при экстренных случаях.

Принцип работы гидроаккумулятора основан на использовании свойства сжимаемости газа и несжимаемости жидкости (рис. 4). Гидроаккумулятор представляет собой закрытый объем (корпус гидроаккумулятора), разделенный эластичной перегородкой (в разных моделях – баллон, мембрана или поршень). С одной стороны перегородки через клапан под давлением закачен инертный газ, а другая полая часть корпуса гидроаккумулятора сообщается с гидравлической системой станка (рис. 4, а).

Через специальный газовый клапан в баллон закачивается газ под давлением (рис. 4, б). Расширяясь, баллон заполняет всё пространство корпуса. Давление газа в баллоне имеет значение  $P_0$ , объем корпуса гидроаккумулятора –  $V_0$  [2].

Когда давление в гидросистеме  $P_1$  становится выше изначального давления газа  $P_0$ , клапан, соединяющий корпус гидроаккумулятора с гидросистемой, оборудованный автоматической системой управления, открывается (рис. 4, в), в результате жидкость из гидравлической системы поступает в полую полость корпуса, заполняя её. При этом объем газа уменьшается до значения  $V_1$ .

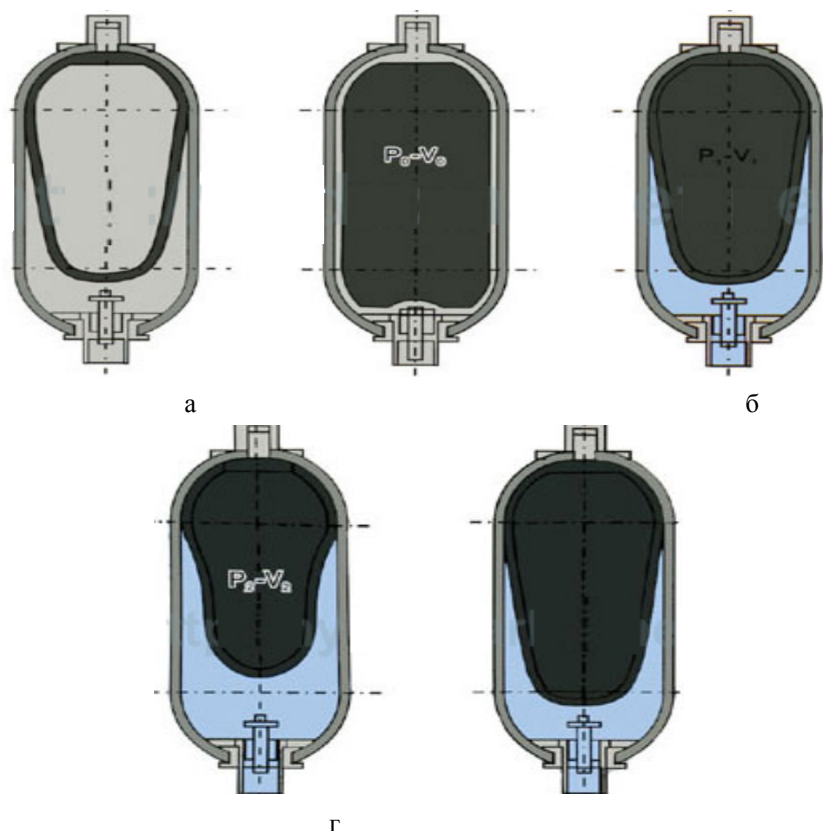


Рис. 4. Работа баллонного гидроаккумулятора

Когда объём газа достигает значения  $V_2$ , давление газа увеличивается до  $P_1$ , таким образом, давление жидкости и газа выравнивается (рис. 4, г).

Когда давление в гидравлической системе становится меньше давления газа в баллоне (рис. 4, д), газ, расширяясь, выталкивает часть жидкости обратно в гидравлический контур до тех пор, пока давление в нём не достигнет минимального рабочего значения.

На основании протекающих процессов гидроаккумулятор можно считать демпфирующим устройством в смазочной или смазочно-охлаждающей системах станка.

В настоящее время производитель HYDAC (Германия) выпускает гидравлические демпферы с объёмом:

- гидравлического бака от 0,075 л до 16 000 л;
- гидроаккумулятора от 0,075 л до 3,5 л.

Они приносят экономическую выгоду и обеспечивают безопасность технологических процессов. HYDAC предлагает ряд новых компактных гидравлических станций и гидроагрегатов серии HYBOX. Широкие возможности модульного построения и компоновки, в соответствии с требованиями заказчика, позволяют применять эти агрегаты в качестве станочных гидроприводов и станций управления силовыми механизмами в любой отрасли промышленности [3].

Типоразмерный ряд агрегатов HYBOX Flex Basic строится на основе запатентованного базового блок-модуля серии ML с интегрированным сливным фильтром. Этот блок, в зависимости от требований гидравлической системы, оснащается предохранительными, обратными или редукционными клапанами, регуляторами расхода, гидрозамками, распределителями стыкового, модульного или встраиваемого монтажа. При необходимости имеется возможность расширения функциональных возможностей за счёт присоединения дополнительных блоков (рис. 5).

Представляемые HYBOX блоки эффективны, но они имеют значительные массогабаритные параметры и рентабельны при наличии нескольких станков, объединённых в общую

систему, но при аварийном отключении насосов блока не смогут обеспечить смазочный и смазочно-охлаждающий процесс для всех станков и изготавливаемых изделий.



Рис. 5. Маслостанции для станков

На основании вышеизложенного, предполагается использование гидроаккумуляторов на каждом станке отдельно при любой модификации и конструкции его смазочной и смазочно-охлаждающей системах. Данный вариант незначительно увеличит или не скажется на массогабаритных параметрах станка или комплекса. Для автоматического срабатывания рабочего или аварийного режима в систему управления гидроаккумулятором устанавливаются клапаны и датчики с автоматическим режимом контроля работы данных систем.

При невозможности установки гидроаккумулятора непосредственно около насоса, его перенос в свободное пространство незначительно усложнит конструкцию и увеличит необходимый объём гидравлической системы.

Параметрами, необходимыми для выбора гидроаккумулятора, являются:

1) минимальное и максимальное рабочее давление в системе: значение максимально допустимого рабочего давления должно быть ниже или равно максимальному рабочему давлению гидроаккумулятора, который выбирается в целях безопасности;

2) объём гидроаккумулятора: для правильного выбора объёма, необходимо знать изменение объёма жидкости при максимальном и минимальном давлении в гидравлической системе;

3) марки основных рабочих жидкостей, используемых в гидравлической системе, и газа в баллонной части;

4) материалы баллона и корпуса гидроаккумулятора, которые должны соответствовать рабочей температуре, предварительному заправочному давлению и объёму жидкости, подлежащей хранению;

5) размер или соединения гидроаккумулятора для поддержания постоянной величины изменяющегося объёма должны подбираться в зависимости от производительности;

При выборе данных параметров очень важно, чтобы технические характеристики гидроаккумулятора соответствовали назначению и эксплуатационным параметрам.

Таким образом, гидроаккумулятор позволит защитить систему от скачков и сильных перепадов давления, что обеспечит плавность потока смазочной и смазочно-охлаждающей жидкости, предотвратит преждевременное разрушение или износ деталей станка, а также будет являться источником аварийного запаса рабочей жидкости.

### Библиографический список

1. Босинзон, М.А. Обработка деталей на металлорежущих станках различного вида и типа: учебник, профессиональный модуль / М. А. Босинзон. – М.: Академия, 2016. – 368 с.
2. Лепешкин, А. В. Гидравлика и гидропневмопривод: учебник, Ч. 2 Гидравлические машины и гидропневмопривод / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак: под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.
3. <http://www.hydac.com/ru-ru/kompanija.html>.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАГАЗИННЫХ АВТОМАТОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВКИ И СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ**

**В.Н. Дубинин\*, И.В. Сенокосов\*, Л.П. Климкина\*\*, В.В. Вяткин\*\*\***

*\* Пензенский государственный университет,  
Россия, Пенза, [duvini@mail.ru](mailto:duvini@mail.ru)*

*\*\* Пензенский государственный аграрный университет,  
Россия, Пенза, [ludmila.klimkina@gmail.com](mailto:ludmila.klimkina@gmail.com)*

*\*\*\* Технический университет Лүлео,  
Швеция, Лүлео, [valeriy.vyatkin@ltu.se](mailto:valeriy.vyatkin@ltu.se)*

*Аннотация.* Предлагается использование модели селектирующего магазинного автомата для спецификации и выборки последовательностей деталей в промышленных системах сортировки, а также вариант использования магазинного автомата-преобразователя в проектировании технологического процесса сборки изделий, управляемого потоком деталей и жетонов.

*Ключевые слова:* магазинный автомат, магазинный преобразователь, JFLAP, последовательность деталей, спецификация, селектирующий автомат, система сортировки, сборка изделий, управляемая потоком деталей и жетонов.

## **USING PUSHDOWN AUTOMATA IN DESIGN OF SORTING AND ASSEMBLY PROCESSES**

**V.N. Dubinin\*, I.V. Senokosov\*, L.P. Klimkina\*\*, V.V. Vyatkin\*\*\***

*\* Penza State University,  
Penza, Russia, [duvini@mail.ru](mailto:duvini@mail.ru)*

*\*\* Penza State Agricultural Academy,  
Penza, Russia, [ludmila.klimkina@gmail.com](mailto:ludmila.klimkina@gmail.com)*

*\*\*\* Lulea University of Technology,  
Sweden, Lulea, [valeriy.vyatkin@ltu.se](mailto:valeriy.vyatkin@ltu.se)*

*Abstract.* This paper proposes a model of selecting pushdown automaton for specification and selection of workpieces sequences in industrial sorting systems as well as a use case of pushdown transducer model for design of workpieces and tokens-driven assembling.

*Keywords:* pushdown automata, pushdown transducer, JFLAP, workpieces sequence, specification, selecting automaton, sorting system, workpieces and tokens-driven assembling.

### **1. Введение**

Жесткие условия, в которые рынок промышленных товаров ставит производителей, определяет необходимость быстрой перенастройки процесса изготовления изделий. Это в свою очередь требует создания методов и средств проектирования, повторного проектирования и реконфигурации техпроцессов на основе высокоуровневых формальных спецификаций с автоматическим их преобразованием в исполнимый код контроллеров нижних уровней управления, а также методов организации техпроцессов для возможности их быстрой перестройки на выпуск новых изделий.

Важной составной частью производственных систем наряду с центрами обработки деталей становятся также центры сортировки, фильтрации и хранения. Для ряда производственных систем является важной последовательность подаваемой на их вход компонентов. Например, в простейшей сборочной системе после подачи болта М4 должна последовать подача шайбы, а затем и гайки М4. В фармакологической, химической и пищевой промышленности важным является последовательность подачи компонентов в раствор. В упаковочном производстве при формировании заданных наборов деталей также требуется выделение из общего потока разнообразных деталей, идущих «внавал», определенных последовательностей деталей для их оптимальной упаковки в контейнеры. Кроме того, для сборочного производства вполне актуальной может стать задача распознавания определенной последовательности движущихся по конвейеру деталей, имеющей заданную структуру, для принятия решения о дальнейшем ходе техпроцесса сборки.

Проводя аналогию между процессами обработки информации и процессами механообработки (или обработки материалов разной природы) можно предположить, что роль сортировки, выделения и фильтрации в процессах неинформационной природы будет только

возрастать. Следует заметить, что упорядочивание и сортировка в информатике позволяет, как правило, существенно сократить время решения алгоритмических задач. Этого же можно ожидать и относительно процессов неинформационной природы. В будущем процессы обработки, передачи и хранения информации и процессы обработки, транспортировки и складирования материалов и материальных объектов будут постоянно сливаться. Предпосылкой для этого может служить «Интернет вещей», где каждый материальный объект имеет свой уникальный идентификатор, который может обрабатываться информационными процессами [1]. Все это вкладывается в концепцию киберфизических систем, являющихся атрибутом четвертой промышленной революции (известной также как «Индустрия 4.0»).

В работе [2] был предложен метод спецификации правильных последовательностей деталей в инфомехатронных производственных системах на основе конечноавтоматной модели, а также подход к реализации соответствующего селектирующего автомата на основе функциональных блоков международного стандарта МЭК 61499. В данной работе предлагается использование модели селектирующего магазинного автомата для спецификации и выборки последовательностей деталей в промышленных системах сортировки, а также использование магазинного автомата-преобразователя как основы в проектировании технологического процесса сборки изделий, управляемого потоком деталей и жетонов.

## 2. Использование магазинных автоматов для спецификации и выборки последовательностей деталей

Магазинные автоматы (МА) могут использоваться как для задания контекстно-свободных (КС) языков, так и для распознавания входных последовательностей данных языков. Традиционная область применения подобных МА-распознавателей – системы синтаксического анализа при построении трансляторов и компиляторов [3]. В данной работе предлагается использовать МА для спецификации и выборки последовательностей деталей в соответствии с их типом. В дальнейшем будем называть такой МА селектирующим магазинным автоматом (СМА). В отличие от МА-распознавателя СМА может игнорировать поступающие на его вход входные символы, если они не вызывают срабатывание ни одного из его переходов. В остальном отличий нет. Селектирующие конечные автоматы были рассмотрены в [2]. В отличие от автоматов этого типа, которые способны выделять из потока деталей лишь последовательности, принадлежащие автоматному языку, СМА существенно мощнее и уже могут выделять из общего потока деталей последовательности, принадлежащие КС-языку. В отличие от автоматных языков с использованием КС-языков легко описываются рекурсивные вложенности цепочек. В интерпретации конструкций изделий это означает возможность описания иерархических (механических) контейнеров, что будет продемонстрировано ниже.

Определим селектирующий магазинный автомат  $MA$  как кортеж следующего вида:

$$MA = (Q, V, Z, T, \delta, q_0, z_0, F),$$

где  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  – конечное множество состояний автомата;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  – конечное множество типов деталей;

$Z$  – конечный магазинный алфавит;

$\delta : Q \times (V \cup \{\lambda\}) \times Z \rightarrow 2^{Q \times Z^*}$  – функция переходов автомата;

$q_0 \in Q$  – начальное состояние автомата;

$z_0 \in Z$  – начальный символ магазина;

$F \subseteq Q$  – множество конечных состояний.

Магазинные автоматы делятся на детерминированные и недетерминированные МА [3]. В недетерминированном МА из одной и той же конфигурации возможен более чем один переход. Известно, что для КС-языков распознавателями являются недетерминированные МА. При этом сложность алгоритма распознавания – экспоненциальная, что является недопустимым в системах управления технологическими процессами, которые относятся к системам реального времени. Поэтому для практических приложений можно использовать

только класс детерминированных КС-языков, распознавателями для которых являются детерминированные МА. Для таких языков существует алгоритм работы распознавателя с квадратичной сложностью.

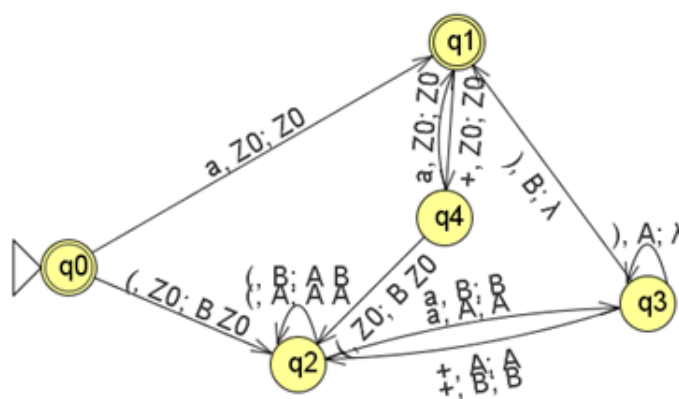


Рис. 1. Пример селективирующего магазинного автомата в JFLAP

### **3. Использование магазинного автомата-преобразователя как основы в проектировании технологического процесса сборки изделий, управляемого потоком деталей и жетонов**



В теории компиляторов и трансляторов данная грамматика описывает синтаксис арифметических выражений. В предложенном нами *абстрактном* техпроцессе сборки изделий терминальные символы грамматики имеют следующий смысл:

«-» - операция «приклеивания» детали слева (действие d1);

«+» - операция «приклеивания» детали справа (действие d2);

«\*» - операция «приклеивания» детали сверху (действие d3);

«(» - операция наложения нижней «прокладки» (действие d4, включающее также повышение вертикального уровня сборки на одну ступень);

«)» - операция наложения верхней «прокладки» (действие d5, включающее, в том числе, установку вертикального уровня сборки на уровень первой детали текущего термина);

«a», «b», «c», ... - атомарная деталь (компонент) типа *a*, *b*, *c* и т.д.

Нетерминальные элементы представляют некоторые конструкции, составленные из деталей: «Т» (терм) - это, как правило, конструкция, образованная из деталей, связанных друг с другом операцией «\*»; «S» (сумма) - это, как правило, конструкция, образованная из деталей, связанных друг с другом операциями «+» или «-».

МА-преобразователь, соответствующий вышеприведенной грамматике, приведен на рисунке 2. Для упрощения в графическом представлении магазинного автомата показаны только два типа атомарных деталей – *a* и *b*. Каждый переход описывается кортежем, включающим 1) входной символ; 2) магазинный символ вершины стека; 3) замещающую последовательность магазинных символов и 4) действие (необязательно). Следует отметить, что в данном случае операции +, -, \* имеют одинаковый приоритет.

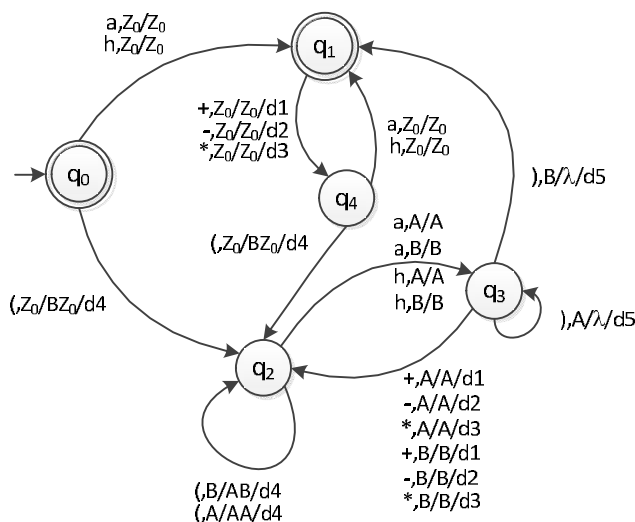


Рис. 2. Магазинный автомат-преобразователь, описывающий абстрактный техпроцесс сборки

В качестве геометрической (координатной) основы для выполнения операций принимается первый элемент в терме или выражении. Например, в выражении  $a+b+c+d$  такой основой выступает элемент *a*. При использовании композитного (составного) объекта, определяемого выражением в скобках, координатной основой может служить центр «прокладки» или первая (атомарная) деталь выражения в скобках. В первом случае при интерпретации выражения  $(a+b+c+d)*f$  деталь *f* будет располагаться на «прокладке» посередине, а во втором случае – на «прокладке» над деталью *a*. Следует отметить, что при реализации смысловая интерпретация технологических операций, связанных с жетонами, потребует уточнения, детализации и корректировки. Кроме того, выполнение технологических операций в реальном времени при конвейерном поступлении деталей ставит вопрос корректности функционирования системы и выполнения временных ограничений. Для согласования скоростей работы конвейера деталей и сборочного оборудования можно принять вариант, когда сначала в режиме *online* формируется некоторая вспомогательная технологическая программа и выбирается цепочка задействованных деталей, а затем эта программа выполняется над выбранной цепочкой.

Пример последовательности деталей и жетонов приведен на рисунке 3. Начало последовательности – слева, конец последовательности – справа. Жетоны представлены серыми кругами, внутри которых вписана выполняемая технологическая операция. В производственном процессе детали и жетоны могут двигаться на одном конвейере. Как вариант, конвейер может быть разделен на два синхронизированных конвейера – конвейер для деталей и конвейер для жетонов.



Рис. 3. Последовательность (конвейер) деталей и жетонов

Последовательность деталей из рисунка 3 может быть представлена в формульном виде следующим выражением  $a * b * (c + e + f) + d + g * h$ . В соответствии с заданной последовательностью будет построена фигура (изделие), приведенная на рисунке 4. На данном рисунке «прокладки» представлены узкими трапециями. Для последовательности  $(a * b) + (c * d)$  сконструированное изделие приведено на рисунке 5.

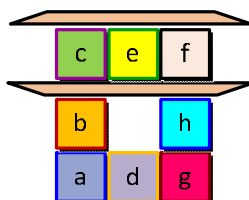


Рис. 4. Изделие, построенное по последовательности 1 деталей и жетонов

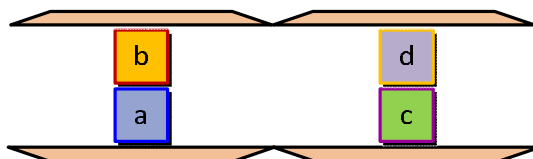


Рис. 5. Изделие, построенное по последовательности 2 деталей и жетонов

В предложенных селектирующих и преобразующих МА анализируется только очередная деталь входной последовательности и действия ориентированы только на нее. Хотя можно анализировать две и более входных детали и выбирать наиболее оптимальный вариант для селектирования последовательностей деталей и конструирования из них изделий. Также привлекательным видится подход на основе использования обобщенных недетерминированных конечных автоматов, позволяющих производить контекстный поиск [6].

### Библиографический список

1. Rose, K. The Internet of Things: An Overview / K. Rose, S. Eldridge, L. Chapin // Internet Society, October, 2015. – 51 p.
2. Сенокосов И.В., Дубинин В.Н., Вяткин В.В. Функционально-блочная реализация управления для системы выборки последовательностей деталей // Новые информационные технологии и системы (НИТиС 2016) : тр. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2016. – С. 369 – 373.
3. Хопкрофт, Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений / Дж. Хопкрофт, Р. Мотвани, Дж. Ульман. – М.: Вильямс, 2002. – 528 с.
4. JFLAP Web-site [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jflap.org/>.
5. Mandrioli D., Lavazza L., Morzenti A., Pietro P.S., Spoletini P. Exercises of Theoretical Computer Science, 3rd edition [Электронный ресурс]. URL: [http://home.deib.polimi.it/morzenti/tcs/Exe\\_ENG\\_III\\_ED-2011.01.pdf](http://home.deib.polimi.it/morzenti/tcs/Exe_ENG_III_ED-2011.01.pdf).
6. Баумгертнер, С. В. Обобщенные недетерминированные конечные автоматы / С. В. Баумгертнер, Б. Ф. Мельников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2013. – № 2 (26). – С. 64–74.

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**А.Д. Данилов, В.А. Ломакин**

*Воронежский государственный технический университет,  
Россия, Воронеж, danilov-ad@yandex.ru, vldlmkn@rambler.ru*

Аннотация. В данной статье предлагается способ повышения эффективности функционирования системы управления распределением нагрузки на гибкое автоматизированное производство путем интеллектуального выбора способа кластеризации технологического оборудования.

Ключевые слова: гибкое автоматизированное производство, кластеризация, система управления

## **INTELLECTUALIZATION OF DECISION-MAKING PROCESS IN THE CLUSTERING OF THE FLEXIBLE AUTOMATED PRODUCTION**

**A. D. Danilov, V. A. Lomakin**

*Voronezh State Technical University,*

*Russia, Voronezh, danilov-ad@yandex.ru, vldlmkn@rambler.ru*

Abstract. In this paper we propose a method of increasing the efficiency of the system, control load distribution in flexible automated manufacturing through smart choice of the method the clustering process equipment.

Keywords: flexible automated manufacturing, clustering, control system

### **1. Введение**

Гибкие автоматизированные производства (ГАП) давно зарекомендовали себя как мощные, высокотехнологичные системы, способные обеспечивать быстросменное производство продукции, а также, в случае выхода из строя технологического оборудования или возникновения иных проблем, осуществить оптимальный подбор технологического оборудования и перераспределение нагрузки на станочный парк[5].

Основной целью функционирования гибких производственных систем (ГПС) является выпуск объема продукта в течение планового периода при заданных ресурсах производства. Также, кроме основной, задается некоторое подмножество целей, которое реально отображает производственную ситуацию в ГПС, в цехе и на более высоких уровнях производства. Такими целями могут быть – скорейший выпуск дефицитных партий изделий, сокращение времени переналадок, минимальное отклонение от сроков выпуска партий, оптимальное составление плана загрузки производственного оборудования [1].

На этапе создания алгоритма работы гибкого автоматизированного производства закладываются эти цели и модель функционирования системы обеспечивает их достижение в штатном режиме. Однако для реального производства характерны нарушения производственного процесса, связанные со скрытым браком заготовок, который обнаруживается на различных стадиях обработки деталей, с нестабильной работой отдельных видов оборудования, которая ведет к браку, с выходом из строя инструмента и оборудования, с несвоевременной подачей заготовок и инструмента [8].

Таким образом, одними из актуальных проблем функционирования гибкого автоматизированного производства является оптимизация загрузки технологического оборудования и оперативное управление ходом производства при воздействии на систему возмущающих воздействий.

### **2. Функциональная структура системы управления ГАП**

Система оперативного управления гибким автоматизированным производством может быть представлена в виде кибернетической системы управления с обратной связью. Основными функциями подсистемы оперативного управления являются:

- оперативный мониторинг, который осуществляет сбор и передачу первичной информации об исполнительных устройствах и состоянии процесса производства изделий;

- оперативный контроль – анализ поступившей информации, выявление фактических и предполагаемых отклонений от плана, определение причин отклонений;
- оперативное регулирование, заключается в принятии оперативных решений, направленных на устранение несоответствия между запланированным и реальным ходом производства, и в реализации принятых решений путем передачи управляющих воздействий на технологическое оборудование.

На рисунке 1 представлена функциональная структура ГАП, на которой изображены стадии и этапы управления станочным и вспомогательным оборудованием.

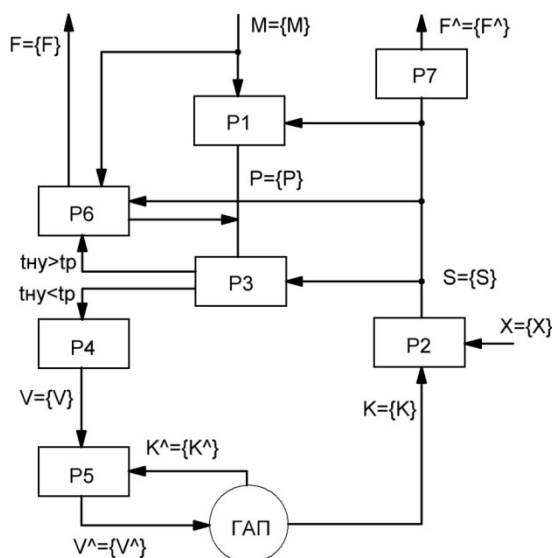


Рис. 1. Функциональная структура системы управления ГАП

На вход системы подаются массив технологических целей  $M$ . Блок P1 на основании технологических целей  $M$ , включающих плановое задание  $P=\{P\}$  и оптимизирующие требования обобщенной информации о состоянии оборудования гибкой производственной системы, составляет пооперационные планы-графики работы системы на новый период, формирует плановые задания для всех компонентов системы.

Блок P2 производит обработку и учет первичной информации о состоянии ГАП, которая поступает на вход блока в виде сигналов об изменении состояния компонентов ГАП  $K=\{K\}$  и информации о неуправляемых, но наблюдаемых возмущающих воздействиях  $X=\{X\}$ .

Блок P3 является элементом сравнения, который осуществляет оперативный контроль за состоянием действительного хода запланированному, сравнивая реальное состояние производства  $S=\{S\}$  с моделью – с планом  $P=\{P\}$ , и анализируя степень рассогласования. Исходя из требований, предъявляемых к системе управления загрузкой производственных модулей, необходимо сравнивать время решения задачи оптимального распределения нагрузки между производственными единицами ( $t_{ny}$ ) с временем изменения технологической задачи ( $t_p$ ) [лестех].

Таким образом, если  $t_{ny} < t_p$ , то информация о времени решения задачи оптимального распределения нагрузки между производственными единицами поступает в блок P4, который осуществляет регулирование процесса. Блок P4 в соответствии с выбранным в нем алгоритмом распределения производственных задач вырабатывает управляющие воздействия  $V=\{V\}$ , направленные на оптимальную загрузку технологических единиц, для выполнения текущего планового процесса изготовления изделия.

Управляющими воздействиями  $V$  являются команды выбора исполнительного оборудования, запуска операций обработки с указанием времени начала, которые отправляются во все технологические единицы, входящие в ГАП. Обработка этих команд выполняется устройством локального управления – блок P5. Устройство локального управления реализует

управление оборудованием по выполнению заданных операций, используя свой набор сигналов о состоянии оборудования гибкого автоматизированного производства  $K^{\wedge}=\{K^{\wedge}\}$ , а также управляющих воздействий  $V^{\wedge}=\{V^{\wedge}\}$  – команды управления механизмами технологических единиц.

Если  $t_{ny} > t_p$ , то информация о том, что данное гибкое автоматизированное производство в виду определенных причин, будь то неисправность оборудования, брак заготовок или же неправильно составленный производственный план, не справляется с поставленными задачами. Это значит, что регулирование за счет оперативного перераспределения нагрузки невозможно и необходимо добавить в систему ресурсы ( технологическое оборудование, инструмент, оснастка, заготовки) или изменить число технологических целей  $M$ . Данное решение может принять только высший уровень диспетчеризации, поэтому блок Р6 выдает соответствующее сообщение  $F=\{F\}$  в вышестоящие структуры. В онлайн режиме этот блок с диспетчером производит корректировку и формирование нового планового задания на оставшийся период с учетом возникших отклонений и директив диспетчера; так же осуществляет корректировку модели производственного оборудования ГАП с учетом отклонений и дополнительных ресурсов, введенных диспетчером; составляет календарный план на оставшийся период.

Блок Р7 осуществляет статистический учет, перерабатывает учетные данные о состоянии ГАП за смену, неделю и т. д. о числе изготовленных изделий, количестве брака, объеме незавершенного производства, загрузке и простое оборудования, наработке оснастки [8].

В системе реализуется принцип управления с обратной связью по состоянию  $S$ , учитываются возмущения, которые воздействуют на гибкое автоматизированное производство.

### **3. Интеллектуальный блок распределения нагрузки на производственные мощности**

Для гибких автоматизированных производств, в состав которых входит большое количество технологических единиц, для решения проблем оптимального подбора технологического оборудования и перераспределения нагрузки на станочный парк, в случае непредвиденного или планового выведения оборудования из технологического процесса, или изменения плана выпуска партий деталей, в системе управления гибким автоматизированным производством используется процедура оптимизации коллективных действий групп станков с ЧПУ и вспомогательного оборудования делением на кластеры [6]. Данная организация производственных ресурсов позволяет оптимизировать маршруты технологических процессов, а также эффективно загрузить станочный парк, и тем самым существенно увеличить экономические показатели предприятия.

Исходя из этого, общее время  $t_{ny}$  решения задачи оптимального распределения нагрузки между производственными единицами будет составлять:

$$t_{ny} = (t_{онм} + t_{ни}) * N * K,$$

где  $t_{онм}$  — время подбора технологической операции для  $j$ -ого ( $j = 1, N$ ) станка участка;  $t_{ни}$  — время на передачу информации о выборе операции для  $j$ -ого станка остальным станкам группы;  $N$  — количество станков в группе;  $K$  - количество итераций.

Для того чтобы оптимизация распределения нагрузки происходила в режиме реального времени, необходимо выполнение следующего условия управляемости

$$t_{ny} \leq t_p,$$

где  $t_p$  — время изменения технологической задачи.

Исходя из данных выражений можно определить максимальное количество станков участвующих в оптимизации маршрутов техпроцесса:

$$N_{\max} = \frac{t_p}{K * (t_{\text{онм}} + t_{\text{ни}})},$$

Из данного уравнения можно сделать вывод, что количество станков, участвующих в оптимизации процесса распределения нагрузки, зависит от вычислительных мощностей, отвечающих за подбор технологических операций для станков и за обмен информацией между ними[9].

При проведении кластеризации, в каждый кластер включаются станки, которые имеют постоянную связь между собой и число, которых не превышает  $N_{\max}$  — максимального числа оборудования в кластере, при котором еще выполняется условие управляемости [7].

Однако, существуют такие ситуации, когда выбранный вид кластеризации не справляется с задачей оптимизации загрузки производственных мощностей. Тогда системе управления гибким автоматизированным производством приходится обращаться к высшему уровню управления (к диспетчеру) для корректировки производственного плана [2]. Из-за этого системы осуществляют затраты дополнительных ресурсов, в процессе управления возникают задержки при выполнении плана производства.

Для решения данной проблемы в функциональную структуру системы управления ГАП предлагается внедрить блок интеллектуального управления, который, в зависимости от сложившейся ситуации, будет осуществлять выбор способа кластеризации производственного оборудования. В данном решении будет применяться четыре способа кластеризации:

- непересекающаяся;
- последовательная;
- динамическая;
- пересекающаяся.

Непересекающаяся кластеризация эффективна при стартовой инициализации производственного плана, когда на начальном этапе производственные единицы получают задания, наиболее подходящие к своему функционалу, или же распределение происходит по территориальному принципу с целью экономии на транспортных расходах.

Последовательная кластеризация характеризуется наличием резервного кластера технологических единиц, который может предназначаться для расширения смежных кластеров, не справляющихся со своей производственной задачей, или восполнения технологических единиц, которые вышли из строя. Однако, при функционировании данного способа кластеризации возможны дополнительные транспортные расходы при не выгодном расположении резервного оборудования.

Динамическая кластеризация позволяет оперативно перераспределять технологические единицы между смежными кластерами при изменении календарных планов или при выходе оборудования из строя для эффективного решения технологических задач. Каждый кластер поддерживает необходимое количество оборудования для завершения своего календарного задания, что не всегда выгодно при возникновении особого внеочередного задания, которое может возникнуть в процессе функционирования ГАП.

В пересекающейся кластеризации не происходит сравнения функционала станка с особенностью детали, которую необходимо изготовить. Задание направляется на то оборудование, которое свободно. Данный способ обладает высокой эффективностью в ситуациях, когда необходимо обеспечить оперативный выпуск продукции. Однако в процессе изготовления зачастую происходит не оптимальный подбор оборудования под конкретные задачи, что ведет к повышению ресурсных затрат. Пересекающаяся кластеризация предпочтительнее для малых групп кластеров входящих в гибкое автоматизированное производство.

Таким образом, функциональная структура адаптивной системы управления ГАП изображена на рисунке 2 и выглядит следующим образом.

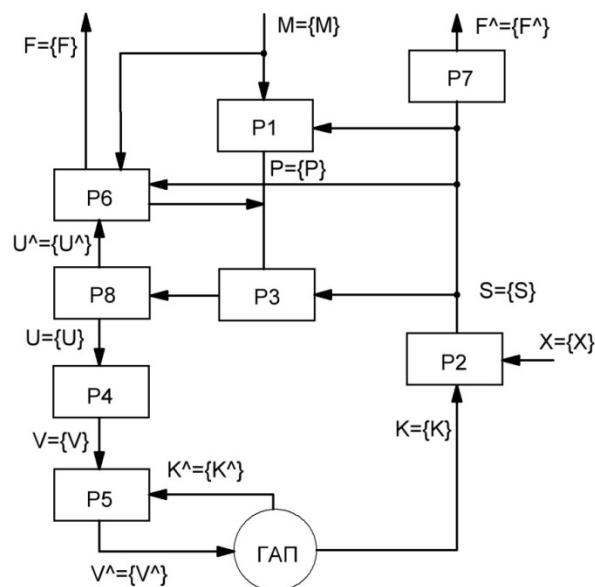


Рис. 1. Функциональная структура адаптивной системы управления ГАП

На блок P8 поступает информация с блока сравнения, в зависимости от степени решения задачи оптимального распределения нагрузки между производственными единицами и завершенности технологических задач, происходит выбор способа кластеризации для повышения эффективности управляющих воздействий на гибкое автоматизированное производство –  $U=\{U\}$ , или, если ввиду определенных причин своими силами система не может справиться с ситуацией, на блок P6 поступает сигнал  $U^*=\{U^*\}$ , извещающий диспетчера о проблемах в реализации календарного плана.

#### 4. Заключение

Для решения проблемы динамического перераспределения нагрузки на гибкие автоматизированные участки было предложено внедрить блок интеллектуального управления в систему управления ГАП, который, в зависимости от сложившейся ситуации, будет осуществлять выбор способа кластеризации производственного оборудования. Данная организация производственных ресурсов позволяет оптимизировать маршруты технологических процессов, а также оптимизировать загруженность станочного парка, и тем самым существенно увеличить экономические показатели предприятия. [7].

#### Библиографический список

1. Данилов А.Д. Цифровые системы управления / А.Д. Данилов, В.Н. Головнев, - Воронеж: ВГЛТА, 2007.- 235 с.
2. Данилов А.Д. Модели для автоматизированного проектирования поточных производств/А.Д. Данилов //Вестник ВГТУ.- 2009.-Т.6.- №6.- С. 163-166.
3. Данилов А.Д. Технические средства автоматизации / А.Д. Данилов,- Воронеж: ВГЛТА, 2007.- 340 с.
4. Данилов А. Д., Ломакин В. А. Интеграция САМ-элементов в структуру управления гибким автоматизированным производством// Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий (ПМТУКТ-2016), сборник трудов IV международной конференции. 2016.-С110-112.
5. Данилов А. Д., Ломакин В. А. Интеллектуализация управления гибким автоматизированным производством// Вестник ВГТУ.- Т12.- №5.- С 60-64.
6. Данилов А. Д., Ломакин В. А. Оптимизация управления гибкими автоматизированными производствами методом непересекающейся кластеризации// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. -Том 4. - № 6 – С. 78-83.
7. Данилов А.Д., Боровцов А.Н. GTD, колоборация и автоматизация документооборота на крупных предприятиях с распределенной структурой// Вестник ВГТУ.- 2011.- Т. 7. -№1.- С. 69-73.
8. Краснопрошина А. А. Системы управления гибкими автоматизированными производствами // Высшая школа, Главное издательство, 1987.- 383 с.
9. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов// М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009, 280 с.

## ЛИТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.Н. Бородкина, Н.Н. Бородкин

*Тульский государственный университет, г. Тула*

*Аннотация.* Технология гидроструйной цементации пород (ГСЦ) является одной из наиболее перспективных технологий. После закрепления массива методом ГСЦ образуется новый материал – породобетон. Для цементации пород использовалась шлакомагнезиальное вяжущее.

В настоящее время, как в нашей стране, так и во всем мире струйная цементация пород (Jet grouting) является наиболее прогрессивной технологией закрепления слабых и неустойчивых пород; строительства подземных сооружений; возведения противофильтрационных завес; укрепления откосов, стенок котлованов и т.д.

Техническая идея гидроструйной цементации пород заключается в использовании энергии высокоскоростной струи водовяжущего раствора для разрушения массива «слабой» породы, обволакивание вяжущей эмульсией ее частиц и одновременного перемешивания получаемой массы. После гидратации вяжущего с грунтом в полученной массе образуется новый материал - породобетон, обладающий достаточно высокими физико-механическими характеристиками, которые обеспечивают долгосрочную эксплуатацию сооружения.

Одним из важных вопросов по строительству подземных сооружений, закрепления слабых и неустойчивых пород, укрепления откосов, стенок котлованов и т.д. является это прогнозирование, получение и исследование физико-механических характеристик породобетона на основе литейных композиционных материалов (ЛКМ) не только на основе цемента, но и на основе нетрадиционных вяжущих материалов.

В частности к литейным композиционным материалам (ЛКМ) относят малоизученную группу материалов, получаемую литьем, в которой тем или иным способом размещаются твердые частицы породы или волокна дисперсных фаз [1]. Такие ЛКМ не дают “рекордных” характеристик, но обладают высокими механическими и физико-механическими свойствами. Главное - это то, что они более технологичны в изготовлении. Характерной особенностью этих ЛКМ является высокоподвижное (вязко-текучее) состояние матрицы в момент ее совмещения с армирующим материалом, то есть легкая формуемость и отсутствие дополнительных тепло энергозатрат на процесс формования. Основным недостаток - высокая стоимость ЛКМ, так как роль матрицы и дисперсно-армирующего материала выполняют металлы (чугун, сталь и т.п.) [2]. Учитывая этот недостаток, представилось целесообразным заменить дорогую металлическую матрицу литейного расплава на более дешевый материал - высокоподвижное шлакомагнезиальное вяжущее, изготавливаемое на основе каустического магнезита, тонкомолотого основного гранулированного доменного шлака и высококонцентрированного раствора бишофита (плотность не менее  $1,3 \text{ г/см}^3$ ). Такое вяжущее имеет распływ по вискозиметру Сутторда 18-22 см при отношении массы раствора к твердой составляющей от 0,27-0,38, так как высококонцентрированный раствор бишофита выполняет роль, не только затворителя, но и пластификатора. При отсутствии коагулятора или регулятора схватывания матрица имеет срок начала схватывания до 24 часов (при  $t = 20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), легко транспортируется по трубопроводу и является экологически чистой по составу. В процессе нагревания сроки схватывания резко сокращаются и при температуре  $60 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  составляют всего 2-4 часа.

Характерной особенностью шлакомагнезиального литейного вяжущего является высокая механическая прочность при сжатии (90-120 МПа) при индивидуальном испытании (без добавления кварцевого песка), а предел прочности при изгибе находится в пределах 12-15 МПа. При изготовлении композитов на основе такой матрицы с целью увеличения предела прочности при изгибе и демпфирующей способности в состав матрицы вводят небольшое количество ПВА (поливинилацетатной эмульсии), а в качестве дисперсно-армирующих частиц используются железосодержащие отходы доменного и других производств, с размером



среднего диаметра частиц не более 0,63 мм. Экспериментально установлено, что в качестве таких железосодержащих отходов производства можно применять высевки от просева измельченной агломерационной железной руды, шламы газоочистки доменных печей, колониновую пыль, отходы магнитной сепарации от очистки шамотных керамических порошков, магнитоактивную буроугольную золу ТЭЦ и любые другие отходы, содержащие в своем составе не менее 50 % мас. (Fe+FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и прошедшие высокотемпературную обработку в процессе своего образования.

Такие ЛКМ после 28 суток естественного твердения имеют предел прочности при сжатии 104-118 МПа и обладают безусадочным эффектом твердения и высокой водостойкостью ( $K_{раз} = 0,85-0,95$ ) [3]. Предел прочности при изгибе увеличивается с 12 - 15 до 21 - 27 МПа.

Породобетон из шлакомагнезиального вяжущего с небольшими дозами пластификаторов, а также с добавлением (или без) регуляторов схватывания и дисперсно-армирующих железосодержащих отходов производства обладают высокой подвижностью (расплыв по вискозиметру Сутторда 18-20 см). Кроме того, они имеют длительную жизнеспособность без признаков начала схватывания до 24 часов и, главное, высокие физико-механические свойства при средней плотности в воздушно-сухом состоянии композитов 1900-2400 кг/м<sup>3</sup>. Огромное достоинство этих литейных, нетрадиционных композитов — простота технологии изготовления с небольшими энергозатратами, так как детали изделий можно формировать методом литья с кратковременным вибрированием в течение 20-30 с и с последующим твердением (14-28 суток) в естественных условиях. При нагревании до  $t = 60 \pm 5$  °C срок затвердевания сокращается до 1-3 суток [4].

Указанные достоинства позволяют применить вышеуказанные нетрадиционные литейные композиты (ЛКМ) в качестве укрепления грунтов. В настоящее время эти ЛКМ проходят стадию дальнейшего усовершенствования с целью увеличения прочности при изгибе, демпфирующих свойств и, особенно, адгезии с поверхностью металла. Усовершенствованный композиционный литейный материал на основе шлакомагнезиального высокоподвижного вяжущего и дисперсно-волокнутого наполнителя имеет предел прочности при сжатии 100 МПа, при изгибе 30-35 МПа и адгезией с металлической (стальной) поверхностью - 2,8-3 МПа. Этот материал может твердеть при естественных условиях и проходит стадию испытания по применению в конструкциях. Себестоимость такого нетрадиционного литейного композиционного материала на 80-85 % меньше ЛКМ на основе металла, а по демпфирующей способности этот материал его превосходит.

В результате предварительных экспериментальных исследований установлены возможности на основе литейных составов шлакомагнезиального вяжущего получение высокопрочных пород и укрепления грунтов.

На основании дисперсности составляющих компонентов важное значение является выбор технологического оборудования для гидроструйной цементации.

При разработке и получении ЛМК были решены следующие задачи:

- уменьшена масса, по сравнению со стальной, что способствует улучшению динамических характеристик;
- достигается максимальная жесткость и прочность при изгибе, что обеспечивается соответствующей формой армированного КМ;
- созданы условия для наилучшего использования физико-механических характеристик армирующего материала и ЛКМ, заключающиеся в ориентации их по направлению действия сил и напряжений.
- расширены области применения литых композиционных материалов.

### Библиографический список

1. Гаврилин И.В. Композиционные материалы в машиностроении. - М., 1989. - 40 с. (Машиностроит. произв. Сер. Прогрессивные технол. процессы в машиностроении : Обзор. информ./ ВНИИТЭМР. Вып.2).

2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов: справочник / В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Бородин Н.Н. Исследование структуры комбинированных конструкций с использованием композита и металла / Н.Н. Бородин // Известия ТулГУ. Серия «Технологическая системотехника». – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – Вып. № 12. – С. 160 – 166.
4. Бородин Н.Н. Исследование кинетики набора прочности дисперсно-армированного композита на основе шлако-магнезиального вяжущего / Г.Е. Мишунина, Н.Н. Бородин // Известия. ТулГУ. Серия «Дизайн», ИЗО, Инженерная и компьютерная графика. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006 г. – Вып. № 3. – С. 74-80.

УДК 67.02; ГРНТИ 59.01.05

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ**

**А.А. Шипилов, П.О. Михайлин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, ship.art@yandex.ru*

*Аннотация.* Рассматривается применение 3D принтеров для создания печатных плат методом послойного наплавления и создание деталей методом лазерного спекания.

*Ключевые слова:* 3D принтер, послойное наплавление, лазерное спекание, печатная плата.

## **USING 3D PRINTERS FOR AUTOMATION PROCESS IN INSTRUMENT ENGINEERING AND MECHANICAL ENGINEERING**

**A.A. Shipilov, P.O. Mihailin**

*Ryazan State Radio Engineering University, ship.art@yandex.ru*

*Abstract.* The application of 3D printers for creating printed circuit boards by the method fused deposition and the creation details the method laser sintering.

*Keywords:* 3D printer, fused deposition, laser sintering, the printed circuit board.

### **1. Введение**

Мир радиотехники и машиностроения не стоит на месте. К одним из новшеств современного времени можно отнести 3D принтеры, которые находят широкое применение во многих отраслях науки и техники. 3D принтеры позволяют осуществлять операции с высокой точностью, при этом не используя огромные производственные мощности, а также сокращая время получения готового изделия. Исследуя этот вопрос, остановим свой выбор на некоторых наиболее интересных опытных образцах, которые могут быть внедрены на производство или же использоваться в домашних условиях.

### **2. Особенности изготовления печатных плат с использованием 3D принтеров**

Создание печатной платы в условиях дома или небольшой лаборатории-цеха это достаточно трудоемкая задача. Изготовление макета, травление, нагревание и прочие сопутствующие задачи отнимают много сил и времени у электронщика. Сегодня этим мало кто занимается, чаще заказывают у специализированных компаний, но в этом случае приходится ждать своего заказа много дней. Зачастую в разработке электроники производство плат существенно замедляет процесс [3].

Есть несколько направлений по созданию печатных плат с помощью 3D принтера:

- 1) удаление токопроводящего слоя;
- 2) удаление защитного слоя с поверхности стеклотекстолита;
- 3) засветка фоторезиста;
- 4) нанесение защитного слоя на стеклотекстолит;
- 5) печать токопроводящих и диэлектрических дорожек на поверхности разных материалов;
- 6) заполнение полостей токопроводящим материалом [4].

Из всех вышеперечисленных направлений хотелось бы выделить печать токопроводящих и диэлектрических дорожек на поверхности разных материалов. В данном направлении используется технология послойного наплавления расплавленного материала.

Принцип работы 3D принтера, работающего по данному методу, очень похож на принцип работы обычного струйного принтера. Только в качестве чернил здесь используется

особая токопроводящая субстанция, которую «принтер» наносит на плату. Кроме того, используется и специальный материал-изолятор, который изолирует друг от друга слои, если плата многослойная [2].

В качестве токопроводящего материала используется порошкообразный металл. Он расплавляется в экструдере 3D принтера и наносится в указанных местах на стеклотекстолит. Далее он застывает, формируя проводящий рисунок печатной платы.

На рисунке 1 изображено нанесение расплавленного металла на стеклотекстолит.

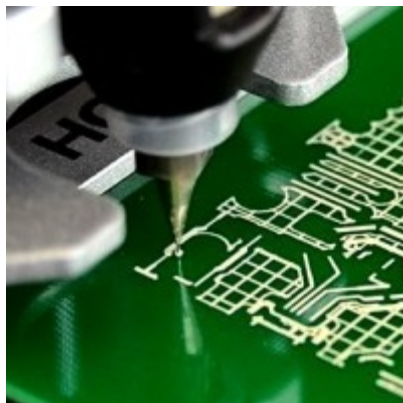


Рис. 1. Нанесение расплавленного металла на стеклотекстолит

Также, такой «принтер» может работать и в качестве диспенсера паяльной пасты, которую наносит за считанные секунды в нужных местах. После чего, в нужный момент, плата нагревается до температуры, необходимой для плавления пасты и на нее можно монтировать компоненты.

Помимо простоты изготовления печатной платы по данной технологии, главным и наиболее значимым достоинством стоит отметить скорость получения готового изделия, что играет важную роль для мелкосерийного и единичного производства.

### **3. Лазерное спекание и наплавление порошковых материалов.**

Принято считать, что для получения сложных деталей или изделий необходимо использовать стандартные, ранее принятые технологии. В большинстве случаев это использование многокоординатных станков с ЧПУ. Однако недостатком такого оборудования является: многооперационная обработка, количество оснастки для фиксации детали, количество установов, многопроходность и т.д. Определенно самым сложным является создание детали или изделия сложной формы или конструкции, которое будет трудоемким или не возможным для выполнения, используя стандартные технологии. На рисунке 2 изображена деталь сложной геометрической формы.

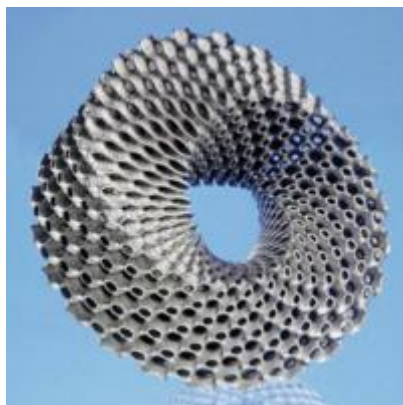


Рис. 2. Деталь сложной геометрической формы

К таким методам 3D технологий можно отнести метод лазерного спекания порошковых материалов [1], который будет рассмотрен в данной статье.

На рисунке 3 показан данный метод.



Рис. 3. Метод лазерного спекания

На сегодняшний день созданы технологии, которые помогают это реализовать, таковыми являются 3D принтеры, способные не только создавать конструкцию из металла, но и восстанавливать поврежденные. Созданная CAD-модель загружается в принтер и мы получаем готовые детали.

Существуют несколько методов формирования детали из металла с помощью аддитивных технологий, рассмотрим основные из них. К первой группе относится технология, которая называется - Bed Deposition. Предполагается, что на некоторой платформе «Bed» формируется слой материала, а затем в этом слое выборочно отверждают материал. Положение плоскости построения неизменно, при этом часть порошка в слое остается нетронутой. Этой технологии соответствует название «селективный синтез» или «селективное лазерное спекание». Ко второй группе относятся технология - Direct Deposition. Технология представляет собой прямое или непосредственное осаждение материала, в зону фрагмента формирования детали.

К первому виду технологий можно отнести такие технологии как:

- 1) SLM - Selective Laser Melting (компания SLM Solutions, Германия);
- 2) DMLS- Direct metal laser sintering (EOS, Германия);
- 3) EBM - Electron Beam Melting (Arcam, Швеция);
- 4) Laser Cusing (Concept Laser, Германия);
- 5) SPLS - Solid Phase Laser Sintering (Phenix Systems, Франция);
- 6) Ink-Jet или Binder jetting (ExOne, 3D Systems, США) и ряд других.

Ко второму виду можно отнести следующие технологии:

- 1) DMD - Direct Metal Deposition (компания POM, США);
- 2) LENS - Laser Engineered Net Shape (Optomec, США );
- 3) DM - Direct Manufacturing (Sciaky, США),
- 4) MJS - Multiphase Jet Solidification (Fraunhofer IFAM, Германия; FDM, CLJUA) и др.

Данные технологии с каждым годом развиваются и модернизируются. Недостатком данных технологий является дорогостоящие материалы и цена самих принтеров. По сравнению с традиционными методами получения детали, производство деталей или изделий на 3D принтере предназначено для выпуска деталей небольшой партией, то есть в единичном и мелкосерийном производстве.

На примере предприятия АО «РКБ»Глобус», технология «Direct Deposition» необходима, для:

- восстановления корпусов радиоэлектронной аппаратуры;
- электронно-измерительных приборов контроля ракет;
- элементов крепежных устройств (балка-траверса);
- вкладышей ложементов.

Рассматривая номенклатуру изделий, это только малая часть того, что можно восстанавливать с помощью данной технологии. Соответственно не нужно изготавливать новые детали или изделия. При этом покрывать или дорабатывать слой недостающего материала можно композитными металлами, которые будут обладать хорошими антифрикционными свой-

ствами, а это достаточно важно, когда речь заходит об условиях эксплуатации. Целесообразность применения данной технологии очевидна, так как в короткие сроки можно восстановить повреждения и отправить продукцию снова в эксплуатацию [6].

Технологию “Bed Deposition” в рамках предприятия можно использовать для изготовления пресс форм нестандартной геометрии, так как на создания технологической документации уходит больше времени, чем на создание самой формы. Коэффициент использования материала колеблется от 95% - 98%. Сравнивая со стандартами методами получения пресс-форм, которые получают в особенности методом фрезерной обработки, материала уходит существенно больше [7].

Коэффициент использования материала рассчитывается по формуле:

$$K_{им} = \frac{M_d}{M_{заг}} * 100\% ,$$

где  $M_d$  – масса готовой детали,  $M_{заг}$  – масса заготовки.

Если рассчитывать коэффициент использования материала для пресс-формы сложной геометрии используемой предприятием для получения единичной продукции или в мелкосерийном производстве, то в среднем этот процент составляет 65,3%. Это говорит о том, что применение 3D технологий дает выигрыш в материале примерно на 33%. Вся трудоемкость заключается лишь в умении создавать сложные CAD- модели. Остальное лишь дело техники.

### **Выводы**

3D технологии – это технологии будущего. 3D принтеры могут стать отличным дополнением для производства в целом. Резюмируя всё вышесказанное, можно выделить следующие преимущества 3D технологий, по сравнению с традиционными методами производства:

- увеличение автоматизации производственно-технологического процесса изготовления деталей и изделий;
- сокращение расходов на материал и инструмент;
- уменьшение времени изготовления деталей и изделий;
- возможность изготовления опытных образцов меньшими усилиями;
- отпадает необходимость написания сложного технологического процесса (для этого будет достаточно персонального компьютера с программой по 3D моделированию).

### **Библиографический список**

1. Beginning Design for 3D Printing. Joe Micallef. 2016.
2. Design for 3D Printing: Scanning, Creating, Editing, Remixing, and Making in Three Dimensions. The Editors of MAKE. 2015.
3. Voltera V-One: быстрое изготовление печатных плат для прототипов электронных устройств [Электронный ресурс], URL: <https://geektimes.ru/company/dadget/blog/246644> (дата обращения 11.12.16).
4. 3D-печать в радиоэлектронике [Электронный ресурс], URL: <http://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/3d-printing-in-electronics> (дата обращения 15.01.17).
5. 3D-принтер – технологии, использование, как работает [Электронный ресурс], URL: <http://3d-week.ru/3d-printer> (дата обращения 14.02.17).
6. Математическое моделирование лазерного спекания двухкомпонентных порошковых смесей / А.В.Колдоба [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2009. № 38. 15 с.
7. Разработка технологического процесса изготовления сложнопрофильных деталей из жаропрочного кобальтового сплава методом селективного лазерного плавления [Автореферат], Назаров Алексей Петрович. Москва 2013.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СВАРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ

Д. Салин, А. Гадельшин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, [salin.dmitry1995@mail.ru](mailto:salin.dmitry1995@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе описана актуальность, основные принципы проектирования и программные средства для создания автоматизированной системы сварки трубных заготовок, ее краткое описание и данные по заготовке. Также подробно описывается выбор CAD-система, в которой будет проводиться проектирование.

*Ключевые слова:* автоматизированная система сварки, труба, CAD-система, КОМПАС-3D, проектирование системы.

## DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED SYSTEM OF WELDING OF METAL PIPES

D. Salin, A. Gadelshin

*Ryazan State Radio engineering University,*

*Ryazan region, Ryazan, [salin.dmitry1995@mail.ru](mailto:salin.dmitry1995@mail.ru)*

*Abstract.* In this work relevance, the basic principles of designing and software for creation of an automated system of welding of pipe procurements, its short description and data on procurement is described. The choice CAD system in which designing will be carried out is also in detail described.

*Keywords:* automated system of welding, pipe, CAD system, KOMPAS-3D, designing of system.

### 1. Введение

В настоящее время использование металлических труб различных диаметров на многих крупных предприятия, заводах, является незаменимой частью работы разных автоматизированных систем. Одной из главных сфер применения труб в нашей стране является газовая и нефтеперерабатывающая промышленность, в которых наиболее широко используются трубы с крупным диаметром и различной длиной. Также трубные заготовки являются неотъемлемой частью различных сфер, таких как водоснабжение, отопление, строительство и др.

В современном мире необходимость в массовом производстве труб сильно возросла и поэтому важно сократить время их производства и увеличить их качество. Для получения труб различных диаметров используются несколько методов:

- 1) Метод литья;
- 2) Метод сварки и пайки;
- 3) Метод проката;
- 4) Метод штамповки.

Наиболее быстрым и недорогим способом получения труб является метод штамповки. Он заключается в следующем: образование формы трубы при холодной штамповке происходит за счет давления штампа на листовый материал. Готовое изделие получается за несколько этапов штамповки. После получения формы трубы, необходимо заварить стыковой шов концов.

При помощи штампа тройного действия можно получить трубу с наиболее точными размерами, практически не требующими дальнейшей обработки, также обладающими высокой прочностью и жесткостью [3, 4].

Главной проблемой такого метода является низкое качество шва и большое количество времени и средств, необходимых для его сварки.

На качестве могут сказаться многие условия, но все же основным является человеческий фактор, так как швы варятся в ручную. Психо-физиологическое состояние человека негативно сказывается на работе. Также наличие человеческого фактора сильно увеличивает время изготовления каждого изделия.

При массовых заказах необходима круглосуточная работа, которую проблематично обеспечить при большом использовании человеческого труда, так как это влияет на финансовое положение предприятия.

Выходом из данной ситуации может служить создание автоматизированной системы сварки швов трубных заготовок диаметром [3].

Преимуществами использования такой системы перед методом ручной сварки являются:

1) Увеличение качества сварки.

Высокого качества шва можно добиться с помощью плотного прижатия свариваемых концов труб, плавной и равномерной сварки, с точными показателями выдержки температуры.

2) Быстродействие получения готового изделия.

Быстродействия можно достичь за счет правильного размещения оборудования и непрерывного выполнения последовательных операций.

3) Уменьшение себестоимости изделия.

Уменьшение себестоимости в основном будет происходить за счет отказа предприятия от рабочих-сварщиков, заменив их оператором, что существенно снизит влияние человеческого фактора, что приведет к оптимизации системы.

## **2. Проектирование автоматизированной системы сварки.**

Главной задачей является проектирование автоматизированного универсального устройства сварки стыкового шва под различные габариты труб и создание полного комплекта конструкторской документации, а также создание трехмерной модели, с помощью которой будет наглядное представление системы и проводится механические расчеты.

На начальном этапе необходимо выбрать CAD-система, в которой будет производиться построение.

CAD-система (computer-aided design) – это система автоматизированного проектирования, которая предназначена для создания работ с применением компьютерной техники, а также разрабатывающая конструкторскую и документацию на отдельные объекты.

В настоящее время список таких систем очень велик. Рассмотрим наиболее востребованные системы в нашей стране.

ADEM – это интегрированная CAD, CAM, CAPP, PDM система, которая предназначена для создания двумерных и трехмерных объектов, разработки конструкторской и технологической документации, проектирования и визуализации технологического процесса.

Данная система разработана в России, является менее востребованной среди крупных предприятий. Минусом ADEM является неудобный интерфейс, с помощью которого сложно выполнять сложные построения, так же теряется много времени на изучение данного пакета.

SolidWorks – это система автоматизированного проектирования, предназначенная для создания трехмерных объектов, конструкторской документации, прочностного анализа, подготовки данных для ИЭТР, проектирования оснастки, разработки тех. процессов и др.

Минусом данной системы является высокая стоимость пакета.

КОМПАС-3D – это система автоматизированного проектирования, предназначенная для создания 3D и 2D объектов, конструкторской документации, проведения прочностного анализа и др.

Данная система является не дорогой, удобной, легко осваиваемой и имеет большое применение на российских предприятиях. [1, 2]

Для данного проекта, выбор остановился на системе трехмерного проектирования КОМПАС-3D.

С помощью этой системы будет разработан полный объем конструкторской документации, а именно: эскизы, чертежи деталей и сборочных узлов, спецификации, 3D-модели деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартные конструктивные элементы, проведены механические расчеты.



Далее нужно определить состав компонентов и сборочных узлов, которые будут составлять автоматизированную систему, характеристики которых подбираются относительно исходных данных, различные габаритные размеры труб, а также под проведенные первоначальные механические расчеты.

Исходными данными является чертеж трубы, построенный в системе КОМПАС-3D.[5, 6]

Чертеж изображен на рисунке 1:

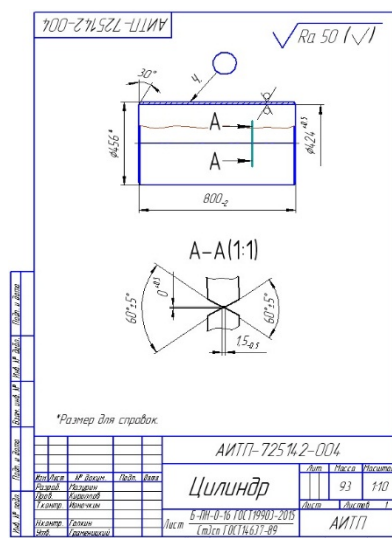


Рис.1. Чертеж заготовки трубы в КОМПАС-3D

На чертеже начерчен один из вариантов трубы, который будет получен при штамповке. Также приведены размеры и допуски получаемого шва. По этим данным можно будет быстро настраивать автоматизированную систему сварки под определенный тип размеров, что является одним из основных требований к устройству.

На рисунке 2 изображена 3D модель этой заготовки:

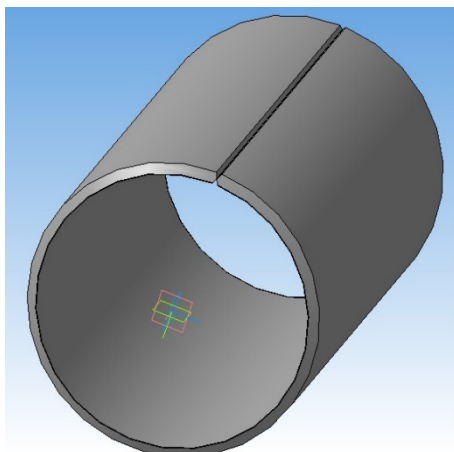


Рис. 2. 3D модель заготовки трубы в КОМПАС-3D

По трехмерной модели можно легко понять вид полученной заготовки, ее размеры, а также шов, полученный после штамповки, который необходимо заварить.

### 3. Заключение.

В последнее время использование труб диаметром сильно увеличилось и является незаменимой частью работы различных предприятий. Поэтому необходимо вводить в производство изделия новые, автоматизированные технологии. [3]

Автоматизация процесса сварки труб является одной из наиболее актуальных и сложных тем. Во время создания такой системы нужно учесть множество факторов,



влияющих на процесс сварки и точность получения шва, ведь от качества труб будет зависеть и качество выполнения процессов, в которых они будут принимать участие.

### **Библиографический список**

1. Большаков В.П. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo. – Л.: Питер, 2014 – 304 с.
2. Герасимов А.А. Автоматизация работы в КОМПАС-График. – Л.: БХВ-Петербург 2010 – 608 с.
3. Пашкевич М.Ф. Технологии машиностроения. – М.: Новое издание 2008 – 246 с.
4. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. – Л.: Машиностроение 2005 – 342 с.
5. Семенова Л. Д. Правила оформления чертежа. Требования к поверхностям. Учебное пособие. – А.: Кно-Рус 2016 – 64 с.
6. Герасимов А.А. Автоматизация работы в КОМПАС-График. – Л.: БХВ-Петербург 2010 – 608 с.

УДК 621.317.75:519.2; ГРНТИ 55.03.31

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ T-FLEX ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНО-ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ**

**П.О. Михайлин, О.В. Миловзоров**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, mikhajlin2010@yandex.ru*

*Аннотация.* В данной работе описана разработка принципов формализации общего технологического процесса в системе T-Flex Технология для обработки крупногабаритных деталей на токарно-обрабатывающих центрах, которые в дальнейшем смогут стать основой разработки соответствующей САПР маршрутно-операционных технологических процессов.

*Ключевые слова:* T-FLEX Технология, САПР, токарно-обрабатывающие центра.

## **AUTOMATION OF GENERAL TECHNOLOGY PROCESS IN THE SYSTEM OF T-FLEX TECHNOLOGY ON THE CNC TURNING CENTER**

**P.O. Mihailin, O.V. Milovzorov**

*Ryazan State Radio Engineering  
University, mikhajlin2010@yandex.ru*

*Abstract.* This paper deals with the engineering of general principles of normalization process in the system T-Flex Technology for the machining of large rats in CNC turning center. It's will a basis for the development of relevant CAD.

*Keywords:* T-Flex Technology, CAD, CNC turning center.

### **1. Введение**

В современных условиях для многих российских предприятий в области машиностроения является актуальной задачей создание маршрутно-операционных технологических процессов с использованием современных технологий. Для этой цели используются унифицированные САПР-системы. Примером такой системы является T-FLEX Технология, представляющая собой полнофункциональную систему для автоматизации технологической подготовки производства, имеющую гибкие современные средства разработки технологических проектов любой сложности.

Изначально САПР-системы использовались для написания технологических процессов обработки на универсальных станках, и не предусматривали возможность использования комплексной обработки деталей на токарно-обрабатывающих и обрабатывающих центрах, поэтому необходимой задачей является, система под написание технологических процессов обработки на токарно-обрабатывающих центрах. В отличие от других унифицированных систем, система T-FLEX Технология содержит инструменты, которые можно использовать для создания полуавтоматических систем проектирования маршрутно-операционных технологических процессов [1-5].

На основе общих технологических процессов осуществляется создание автоматизации проектирования. Общие технологические процессы обусловлены комплексными упорядоченными множествами обобщенных операций и переходов, сформированных путем форма-

лизации и объединения маршрутов обработки целого комплекса конструктивно подобных деталей. С помощью набора технологических элементов (ТЭ) и соответствующей совокупности эвристических правил автоматически совершается отбор нужных нам операций и переходов.

## 2. Принципы формализации общего техпроцесса

Рассмотрим принципы формализации общего техпроцесса для крупногабаритных деталей типа «Цилиндр», на одном из образцов представленных на рисунке 1. Данная деталь конструктивно представляет собой сочетание простых геометрических форм, что дает возможность получить технологичную заготовку и использовать высокопроизводительные методы механической обработки. Масса готового изделия составляет  $M = 4086 \text{ кг}$ , а наибольший диаметр  $D = 800 \text{ мм}$ . Для деталей такого типа большой и трудной задачей становится поиск подходящего оборудования, выбор прогрессивного режущего инструмента, контрольно-измерительных приборов, оснастки. Сложность такого изделия заключается также в точном позиционировании его в станке. Из-за больших габаритов и наличия внутренних отверстий большой глубины традиционный технологический процесс ее обработки предусматривает использование нескольких станков, однако с учетом возможностей современных обрабатывающих центров обработку таких деталей можно осуществлять на одном станке, примером которого может служить многофункциональный токарный станок с ЧПУ «GEMINIS GHT11 G2», обладающий большим инструментальным магазином и рабочей зоной обработки.

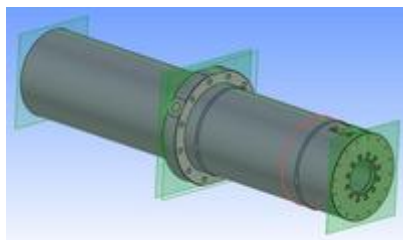


Рис.1. Деталь «Цилиндр»

Обобщенный маршрут обработки таких деталей представлен следующим образом:

005 Заготовительная

010 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (А)

015 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (Б)

020 Глубококорасточная (черновая обработка) установ (Б)

025 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (А)

030 Токарная с ЧПУ (черновая обработка) установ (Б)

035 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (А)

040 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (Б)

045 Глубококорасточная (получистовая обработка) установ (Б)

050 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (А)

055 Токарная с ЧПУ (получистовая обработка) установ (Б)

060 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (А)

065 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (Б)

070 Глубококорасточная (чистовая обработка) установ (Б)

075 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (А)

080 Токарная с ЧПУ (чистовая обработка) установ (Б)

Для обработки конкретных деталей из обобщенного маршрута будет осуществляться отбор только необходимых операций на основе соответствующих эвристических условий, основанных на анализе состава ТЭ и точности их обработки.

Основными типами ТЭ, описывающих информационную модель детали, являются следующие наружные (нр) и внутренние (вн) поверхности (группы поверхностей): НрЦилиндрическая, НрТорцовая, НрЛыска, ВнФаска, ВнЦилиндрическая, ВнОтверстие параллельное, ВнОтверстие перпендикулярное. Для идентификации конкретного ТЭ при наличии

у детали нескольких ТЭ одного типа вводится их нумерация. Для описания геометрии и точности обработки введем следующую систему основных параметров:

Таблица 1 - Параметризация операций

Имя параметра	Описание параметра	Имя параметра	Описание параметра
D1	Диаметр черновой обработки	F	Угол
D2	Диаметр полустачевой обработки	G	Длина фаски
D3	Диаметр чистовой обработки	H	Шаг резьбы
D4	Диаметр тонкой обработки	K	Количество отверстий
DC	Диаметр	Sh	Шероховатость
DP	Предварительный диаметр отверстия	E	Номер поверхности на операционном эскизе
L	Глубина отверстий	L1	Конечная глубина отверстий
M	Резьба	P	Размер фаски
V	Радиус	Z	Выдерживаемый размер
X	Выдерживаемый размер	Y	Выдерживаемый размер

На основе системы параметров формируются шаблоны текстов переходов. Вспомогательные переходы к параметрам не привязываются, их выбор осуществляется при наличии хотя бы одного выбранного обрабатывающего перехода. Отдельные примеры обрабатывающих переходов приведены ниже:

«Подрезать торец диаметром {DC} до {DC1} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

«Точить диаметр {DC2} до {DC3} с подрезкой торца в размер {Z} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

«Подрезать торец в размер {Z1} до центра начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

«Точить {DC4} до {DC5} с подрезкой торца в размер {Z2} начерно {D1} и шероховатостью {Sh}»;

Некоторые обрабатывающие переходы не содержат параметров, но привязаны к соответствующему технологическому элементу:

«Зачистить шейки под люнет».

### Выводы

Предложенная система формализации на базе общих технологических процессов, обобщенного маршрута обработки крупногабаритных деталей типа «Цилиндр», системы ТЭ и их параметров, а также набора эвристических условий позволяет осуществлять разработку конкретных технологических процессов на базе ПК T-Flex Технология, соответственно это позволяет сократить время изготовления готовой продукции.

### Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР маршрутно-операционной технологии тел вращения на базе комплекса T-FLEX//Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XX Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет. 2015. С.163-165.DE2-115 User Manual. Terasic Technologies Inc. 2012.
2. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-Flex Технология//Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. №.54-1. С.133-138.
3. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № S1. С. 59-66.
4. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-Flex Технология//Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах / Рязанский государственный радиотехнический университет; под общей редакцией О.В. Миловзорова. 2016 (Том. 1 )
5. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов в системе T-FLEX Технология: учеб. пособие. Рязань: Рязанский институт (филиал) Университета машиностроения, 2013. 63 с.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОВОЧНОГО МОЛОТА МБ-412 ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА УДАРНОЙ ЧАСТИ

А. Кудряшов, Е. Корочкин

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Рязань, [irlandets93@mail.ru](mailto:irlandets93@mail.ru)

*Аннотация.* В данной работе описан способ модернизации пневматического ковочного молота МБ-412 путём применения прямого привода ударной части молота по средствам цилиндрического линейного асинхронного двигателя, адаптированного для машин ударного действия. Показаны основные недостатки известных приводов молотов. Описаны основные особенности конструкции разработанного цилиндрического линейного двигателя.

*Ключевые слова:* молот, цилиндрический линейный асинхронный двигатель, прямой привод.

## UPGRADE OF THE FORGING HAMMER MB-412 BY USING OF THE LINEAR ELECTROMOTOR FOR THE DRIVE OF THE SHOCK PART

A. Kudryashov, E. Korochkin

Ryazan State Radio engineering University,  
Ryazan, [irlandets93@mail.ru](mailto:irlandets93@mail.ru)

*Summary.* In this operation the method of upgrade of a pneumatic forging hammer of the Mb-412 by use of the direct drive of a shock part of a hammer on means of the cylindrical linear asynchronous engine adapted for machines of shock action is described. The main shortcomings of the known drives of hammers are shown. The main features of construction of the developed cylindrical linear engine are described.

*Keywords:* hammer, cylindrical linear asynchronous engine, direct drive.

На сегодняшний день парк ковочных молотов, эксплуатирующийся на территории Российской Федерации и стран бывшего СССР, имеет солидный возраст, порой превышающий 50 лет. Широкое распространение имеют ковочные приводные молоты с весом падающих частей до 1000 кг. Не смотря на простоту конструкции приводных пневматических молотов и продемонстрированную за долгие годы эксплуатации надёжность, со временем их износ становится критическим, и они начинают выходить из строя, перестают соответствовать своим паспортным характеристикам, как следствие – необходимость капитального ремонта молота. Стоит так же отметить изначально не самые энергоэффективные режимы работы приводных молотов. В связи с вышеуказанными обстоятельствами авторами предложена идея модернизации молотов, заключающаяся в замене пневматического привода на прямой непосредственный привод падающей части молота от линейного электромеханического преобразователя.

В приводных молотах энергия проходит несколько стадий преобразования (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма преобразований энергии в приводном пневматическом молоте

Как следует из диаграммы в работе приводного молота присутствует три ступени преобразования энергии: в двигателе компрессора происходит преобразование электроэнергии в механическую энергию вращения вала, далее вращательное движение преобразуется в прямолинейное движение компрессорного цилиндра, который сжимает энергоноситель, в данном случае воздух, который под давлением поступает в полость рабочего цилиндра, заставляя бабу, являющуюся так же рабочим цилиндром двигаться. Каждому преобразованию

сопутствуют потери, иными словами каждому преобразованию соответствует коэффициент полезного действия ("η<sub>i</sub>"). Таким образом общее КПД системы будет рассчитываться как:

$$\eta = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3$$

Очевидно, что с увеличением числа видов преобразований итоговый КПД снижается. Предложенная авторами идея заключается в исключении промежуточных преобразований энергии за счёт применения прямого линейного электропривода. Таким образом КПД системы будет состоять только из КПД используемого линейного электродвигателя. Конструктивно предлагается линейный электромеханический преобразователь, используемый для привода бабы поместить в стакан станины молота, вместо рабочего цилиндра, изъав оттуда сам цилиндр, буксу и верхнюю крышку.

Помимо увеличения КПД привода молота путём исключения промежуточного энергоносителя более рациональное потребление электроэнергии ожидается за счёт исключения её потребления в промежутки времени между ударами, требуемые для технологических действий (кантования, выравнивая, замера поковки). На работающих сегодня молотах компрессор (компрессорный цилиндр) работает во время технологических пауз, а значит потребляет электроэнергию, которая попросту рассеивается, не идя на полезную работу. В предлагаемом автором варианте электроэнергия потребляется только в необходимые для этого моменты - при разгоне бабы и при её подъёме.

Индукционный (асинхронный) тип линейных электродвигателей ЛЭД (ЛАД) имеет наилучшие показатели по скорости и диапазону перемещений, не уступая при этом по КПД, а так как основная цель - модернизация молота, то эти параметры являются определяющими. Достоинствами ЛАД является также простота конструкции, как индуктора, так и вторичного элемента, являющегося непосредственно ударной частью. Всё это позволяет признать достойность ЛАД для использования в кузнечном оборудовании. Молот на основе данного типа двигателей будет обладать наилучшими технико-экономическими показателями в классе молотов малых и средних мощностей.

По принципу действия и характеру протекания основных электромагнитных процессов ЛАД является разновидностью асинхронного двигателя. ЛАД может быть мысленно образован из обычного асинхронного двигателя, если его статор разрезать по образующей и развернуть в плоскость, а ротор заменить прямолинейной проводящей полосой или ферромагнитным телом, могущим иметь пазы и к. з. обмотку, как и у обычных асинхронных двигателей. ЛАД могут иметь плоское, либо цилиндрическое исполнение. Благодаря простоте конструкции плоские ЛАД могут быть как с двухсторонним индуктором (ДЛАД, см. рис. 2), так и с односторонним индуктором (ОЛАД, см. рис. 3).

В качестве вторичной части в ДЛАД обычно используется проводящая неферромагнитная реактивная шина. Вторичная часть ОЛАД состоит чаще всего из проводящей полосы или шины и стального ярма или спинки — вторичного магнитопровода. Вторичный магнитопровод может быть выполнен из листов электротехнической стали (шихтованным) или из сплошной стальной полосы (массивным).

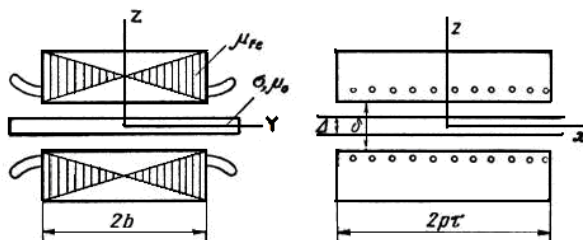


Рис. 2. ЛАД с двухсторонним индуктором

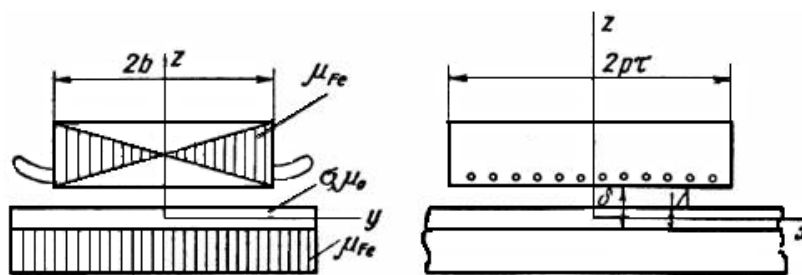


Рис. 3. ЛАД с односторонним индуктором

Иногда вторичной частью ОЛАД может служить ферромагнитная стенка или часть рабочей установки. Использование массивного магнитопровода значительно дешевле, однако при этом ухудшаются характеристики и возрастают потери по сравнению со случаем, когда вторичный магнитопровод выполнен шихтованным. Таким образом, обе конструкции имеют свои преимущества и недостатки. Вторичный элемент может быть и модифицированным, т. е. состоять из проводящей неферромагнитной полосы с ферромагнитными вставками, пример такого ЛАД представлен на рисунке 4.

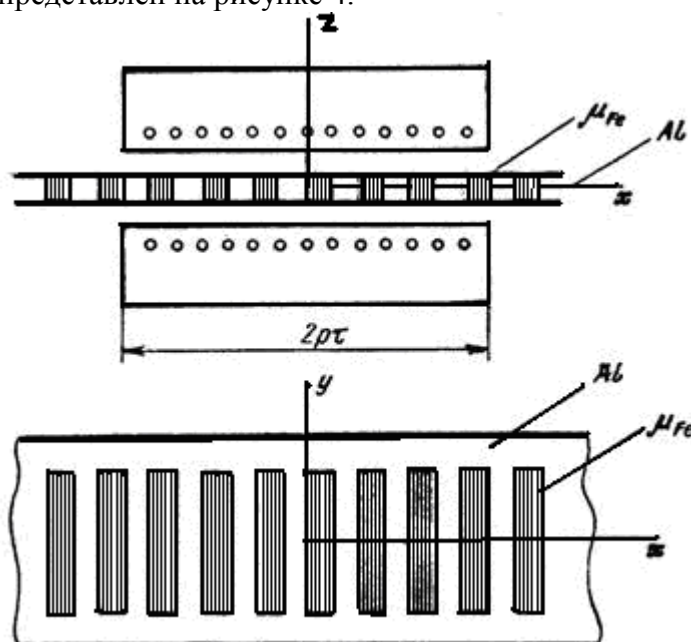


Рис. 4. Вторичный элемент ЛАД с ферромагнитными вставками

Цилиндрический ЛАД (ЦЛАД) имеет вторичную часть в виде проводящего неферромагнитного цилиндра с ферромагнитной шихтованной или сплошной сердцевиной. Индуктор такого ЛАД конечно должен иметь также форму цилиндра и образовывать движение магнитного поля вдоль цилиндра в направлении движения вторичного элемента. Схема такого ЛАД представлена на рисунке 5.

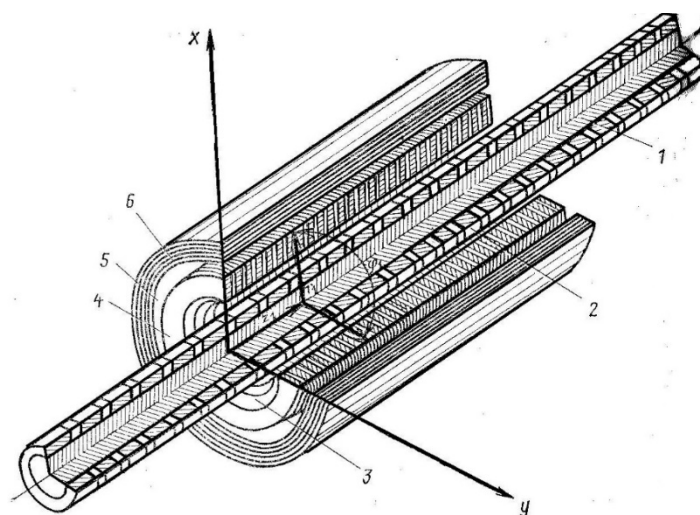


Рис. 5. ЦЛАД 1-ферромагнитный стержень; 2- чередующиеся алюминиевые и стальные кольца; 3-зазор; 4- активный слой индуктора; 5 – технологический зазор; 6- намотанное стальное ярмо

К недостаткам ЛАМ можно отнести наличие, так называемых краевых эффектов, возникающих на концах магнитопровода (продольный краевой эффект) в следствии его разомкнутости. Поскольку ВЭ чаще всего выполняется в виде сплошной полосы, индуцированные токи в нем не могут быть «организованы» так, как в короткозамкнутой клетке. Они содержат и продольные составляющие, которые не участвуют в создании тягового усилия, но увеличивают потери и могут вызвать поперечные выталкивающие силы, если ВЭ расположить несимметрично относительно продольной оси. Эта особенность ЛАД носит название поперечного краевого эффекта. Обычно его влияние ослабляют, выполняя ВЭ шире индуктора. ЦЛАД в виду цилиндричного магнитопровода не имеет продольного краевого эффекта.

При реализации данного проекта используется именно цилиндрический тип ЛАД в следствии своих конструктивных особенностей (цилиндрическая форма, как и у рабочего цилиндра молота) и отсутствия поперечного краевого эффекта.

Все разновидности ЛАД являются индукционными машинами и в основе их действия лежат одни и те же физические явления. Однако, если обычные АД в силу замкнутости магнитопровода индуктора (статора) анализируются и рассчитываются на основе системы уравнений напряжений и токов, и электрических схем замещения, анализ работы ЛАД этими методами даёт очень отдалённые от истины результаты.

Теория ЛАД строится на основе теории электромагнитного поля, т.е. уравнений Максвелла. В зависимости от поставленной цели модели поля могут быть одномерными, двухмерными или трехмерными. Этот подход обусловлен тем обстоятельством, что индуктор ЛАД не является замкнутым, вторичный элемент или бегун не имеет организованных нитей (стержней), а является проводящим телом с распределенными электрическими параметрами; немагнитный зазор всегда оказывается значительно большим, чем у обычного асинхронного двигателя. Иными словами электромагнитное поле ЛАД в принципе должно рассматриваться как трехмерное, определение характера которого в значительной степени усугубляется вышеперечисленными обстоятельствами.

Разрабатываемый электромеханический преобразователь является цилиндрическим линейным асинхронным двигателем, адаптированным к применению в машинах ударного действия, а именно в молоте МБ-412. Целесообразно, чтобы используемый при модернизации двигатель требовал как можно меньше затрат на монтаж в станину, а так же его геометрия должна соответствовать конструктивным особенностям станины молота. Исходя из вышеперечисленных требований определена именно цилиндрическая форма двигателя. ЦЛАД предлагается установить в стакан станины молота вместо рабочего цилиндра, таким образом определяется размер наружного диаметра двигателя – 320мм максимум. По высоте двигатель



теоретически ограничений не имеет. Снизу двигатель держит фланец, который крепится в отверстия крепления буксы, сверху двигатель стягивается шпильками в места крепления верхней крышки рабочего цилиндра (рис. 6), вторичная часть перемещается в подшипниках, которые так же центруют её в поле статора.

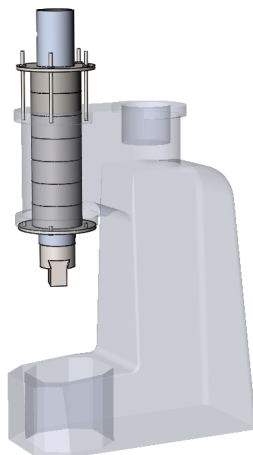


Рис. 6

Двигатель состоит из секций, каждая секция представляет собой одно полюсное деление. Каждая секция содержит по двенадцать катушек, шесть групп по две катушки в группе. Катушки расположены таким образом, чтобы угол сдвига фазы между соседними группами катушек составлял 60 электрических градусов, что способствует более синусоидальному распределению магнитного поля в рабочем зазоре. Секции наставляются друг на друга, и их количество может варьироваться в зависимости от необходимого усилия двигателя. Электрически секции соединены между собой параллельно. В магнитопроводе статора имеются отверстия для охлаждения и вывода проводов. Такая конструкция предполагает оснащение молота электродвигателем, не демонтируя его с рабочего места, а извлекая лишь внутреннее наполнение полости рабочего цилиндра. Монтаж двигателя возможен при помощи кран-балки.

УДК 539.23; 539.216.1; МРНТИ 29.19.22; 29.19.21; 28.17.23

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРЕНИЕ И ИЗНОС

М.Т. Габдуллин\*, Д.В. Исмаилов\*, Д.Г. Батрышев\*\*, С.Л. Ли\*, Р. Канат\*

\*Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа при КазНУ им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Республика Казахстан

\*\*Лаборатория инженерного профиля при КазНУ им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Республика Казахстан, [Ismailov\\_Daniyar\\_V@bk.ru](mailto:Ismailov_Daniyar_V@bk.ru)

**Аннотация.** В данной работе описан процесс исследования имеющихся материалов на основе углеродных наноструктур - жидкостей, для подбора оптимальной концентрации и тестирование установки.

**Ключевые слова:** Машина трения, антифрикционные материалы, фуллереносодержащая сажа.

## DEVICE FOR TESTING ANTIFRICTION MATERIALS FRICTION AND WEAR

M.T. Gabdullin\*, Kh. A. Abdullin\*, D.V. Ismailov\*, D.G. Batryshev\*\*, S.L. Lee\*, R. Kanat\*

\* National Nanotechnology Laboratory of the open type with the KNU them. Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

\*\* Laboratory of Engineering Profile at Kazakh National University. Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan, [Ismailov\\_Daniyar\\_V@bk.ru](mailto:Ismailov_Daniyar_V@bk.ru)

**Abstract.** The present work describes the process of the study of available materials based on carbon nanostructures - liquids, for the selection of optimal concentration and testing of friction and wear of the setup.

**Keywords:** the machine friction, anti-friction material, fullerene soot.



Твёрдые антифрикционные материалы (ТАМ) обладают повышенной устойчивостью к износу при продолжительных нагрузках. В основном ТАМ используют для покрытия трущихся поверхностей (в подшипниках скольжения). Например, ТАМ являются такие материалы как латунь, железграфит, бронза или баббит [1]. Такие материалы должны иметь минимальный коэффициент трения, структура покрытия должна обеспечивать антисхватывание и возможность быстрой приработки к контртелу, механические характеристики ТАМ должны соответствовать эксплуатационным нагрузкам и в тоже время быть достаточно износостойкими и пластичными. В связи с тем, что материалов имеющих необходимые антифрикционные характеристики не так много, для уменьшения трения применяют смазочные материалы. Смазки наиболее применяемый вид материалов, которые способны изменять коэффициент трения трущихся поверхностей [2]. В настоящее время разработано большое количество материалов на основе графита, в составе которых кроме названных наполнителей и легирующих элементов используется нитрид бора, карбид кремния и кремний, ультрафосфаты и др. Широкое применение нашли и фуллерены. При попадании частиц фуллеренового материала на поверхности контртел в зоне трибоконтакта происходит их осаждение с формированием защитной пленки. При этом одновременно протекают процессы заполнения неровностей поверхности трения частицами фуллеренов, что обеспечивает суперфинишную обработку поверхностей трения и улучшение геометрии трибосопряжений. Образованная защитная фуллереновая пленка толщиной до 100 нм, которая увеличивает время жизни узлов трения в аварийных ситуациях в 3–8 раз, несущую способность узлов трения до 2–3 раз, расширяет рабочий интервал давлений узлов трения до 2 раз и уменьшает время приработки контртел.

За последние годы, антифрикционные материалы привлекли внимание большое количество ученых во всем мире. Антифрикционные материалы имеют очень высокий потенциал для использования в качестве добавок в различных смазках и присадках. Так как материалов имеющих необходимые антифрикционные характеристики не так много, для уменьшения трения применяют смазочные материалы. Самосмазывающиеся подшипники получают методом порошковой металлургии из материалов различной комбинации: железо – графит, железо – медь – графит или бронза – графит. Графит вводят в количестве 1...4%. После спекания в материале сохраняется 15...35% пор, которые затем заполняют маслом. Масло и графит смазывают трущиеся поверхности [3]. Различные смазки являются наиболее применяемым видом материалов, которые способны изменять коэффициент трения трущихся поверхностей. В дальнейшем мы планируем разработать жидкость в виде смазки с добавлением различных антифрикционных материалов на основе углеродных наноструктур. Для этого мы исследуем смазки на основе графитовых материалов, фуллереносодержащей сажи. Фуллереновые антифрикционные смазки предназначены для смазывания грубых тяжело - нагруженных механизмов (открытых шестеренчатых передач, резьбовых соединений, ходовых винтов, домкратов, рессор и др.). Допускается применять смазку при температуре ниже -20°C в рессорах и аналогичных устройствах. Смазка работоспособна при температурном интервале применения от -20 до 60°C [4-5].

Антифрикционность обеспечивает следующие свойства подшипникового материала:

- 1) высокую теплопроводность;
- 2) хорошую смачиваемость смазочного материала;
- 3) способность образовывать на поверхности защитные пленки мягкого металла;
- 4) хорошую прирабатываемость, основанную на способности материала при трении легко пластически деформироваться и увеличивать площадь фактического контакта, что приводит к снижению местного давления и температуры на поверхности подшипника.

Для тестирования различных жидкостей с присутствием фуллереносодержащей сажи мы используем машину трения имени Темкина изображенного на рисунке 1, которая была создана в нашей лаборатории. Данная установка наглядно показывает качество тестируемых смазок и дает возможность оперативно проверить качество смазывающих материалов на удержание масляной плёнки в парах трения при различных нагрузках. Машина трения имени

Темкина имитирует работу какого-либо узла рабочих механизмов, где смазывающие материалы играют важную роль в быстроте износа деталей данных узлов.



Рис. 1. Общий вид установки

В начале трения происходит диспергирование верхних слоев пары трения с образованием тонкодисперсных частиц материала. При взаимодействии со средой и с активными металлами окисленные формы материала восстанавливаются, и происходит химические соединения. В дальнейшем при установившемся режиме контактирующие поверхности покрываются тонкой пленкой материала, которая резко увеличивает фактическую площадь контакта (более чем в 10 раз). Это способствует увеличению долговечности узлов трения.

Таким образом, полученные смазочные материалы дают возможность к повышению коэффициента полезного действия на 1%, приводящие к увеличению мощности двигателя примерно на 4%, так как 25% КПД соответствует полной мощности двигателя. Снижение потерь в этой паре способствует не только увеличению мощности, но и значительной экономии топлива [6].

Преимущество данной установки это компактность и удобство в работе, а так же простота конструкции. Подобная установка дает нам возможность наглядно продемонстрировать возможности различных смазывающих жидкостей на основе графитовых материалов. Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования 2015-2017гг.: ПЦФ0265.

### Библиографический список

1. Белый В. А., Свириденко А. И., Петроковец М. И., Савкин В. Г. [Трение](#) и износ материалов на основе [полимеров](#)// Минск, 1976. С. 432.
2. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные антифрикционные материалы//К.: Думка, 1980.С. 404.
3. В.А. Гольгаде. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем //В.А. Гольгаде, В.А. Струк, С.С. Песецкий. – М.: Химия, 1993.С. 240.
- 4.Talyzin A.V. New Fullerene Materials Obtained in Solution and by High Pressure High Temperature Treatment Acta Universitatis Upsaliensis. Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 663. 2001. 54 p. Uppsala. ISBN 91-554-5138-1.
5. D.V. Schur, M.T. Gabdullin, S.Yu. Zaginaichenko, T.N. Veziroglu, M.V. Lototsky, V.A. Bogolepov, A.F. Savenko Experimental SET-UP for investigations of hydrogen-sorption characteristics of carbon nanomaterials // Int. J. Hydrogen Energy, 10.1016/j.ijhydene.2015.08.087.
6. В.И. Мигунов, Л.А. Чатынян, Е.В. Иванов, Г.С. Антонова, Т.А. Соловьева. Износостойкие и антифрикционные материалы для узлов трения//Авиационная промышленность. Вып. №8. 1982.

УДК 004.942 ; ГРНТИ 27.35.33

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Д.П. Лашенов, В.Л. Бурковский

Воронежский государственный технический университет,  
Россия, Воронеж, nord\_vrn@mail.ru, bvl@vorstu.ru

*Аннотация.* В данной работе представлена имитационная модель технологических объектов интегрированных производственных систем на основе системы массового обслуживания.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, технологические процессы, имитационное моделирование, система массового обслуживания, производственные системы

# SIMULATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS IN INTEGRATED PRODUCTION SYSTEMS

D.P. Lashchenov, V.L. Burkovsky

Voronezh State Technical University,  
Russia, Voronezh, nord\_vrn@mail.ru, bvl@vorstu.ru

*Abstract.* This paper deals with simulation model of technological objects in integrated production systems based on the queuing system.

*Keywords :* mathematical modeling, technological processes, simulation modeling, queuing theory, production systems

Реализация аппарата математического моделирования в контуре управления интегрированных производственных систем связана с необходимостью использования здесь комплексных имитационных моделей технологических объектов (ТО), что позволяет эффективно решать проблему структурной идентификации в условиях сильно изменяющихся топологических параметров технологических схем. При этом модель целесообразно формировать из конечного набора функциональных модулей, каждый из которых ориентирован на воспроизведение определенных функций соответствующего элемента технологического оборудования [1]. Информационные связи между отдельными модулями априорно не устанавливаются, а восстанавливаются по мере необходимости либо в результате решения задачи структурной идентификации, либо в соответствии со структурой технологической схемы. В последнем случае должен выполняться принцип изоморфизма модели.

Ниже рассматривается имитационная модель дискретных технологических объектов гибкого автоматизированного производства с нестационарной топологией, способная осуществлять адаптацию структуры в соответствии с изменениями в составе ТО и в операционных связях между элементами ТО. Модель ориентирована на решение задач выбора оптимальных параметров (режимов) технологических процессов.

В основу модели положено формализованное описание ТО как многоканальной многофазной системы массового обслуживания (СМО) [2]. Функциональная схема данной модели представлена на рисунке 1. Фазам СМО соответствуют временные модели производственных операций, каналам обслуживания – элементы технологического оборудования, обеспечивающие каждую операцию.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

$u$  – источник заявок (требований на обслуживание);

$H_1$  – накопитель  $i$ -й фазы ( $i=1,2,\dots,R$ );

$R$  – количество фаз;

$K_{ij}$  –  $j$ -й канал  $i$ -й фазы ( $j=1,2,\dots,g_i$ );

$g_i$  – количество каналов в  $i$ -й фазе;

$N_n$  – число отказов в обслуживании заявок (количество потерянных требований);

$N_o$  – число обслуженных заявок.

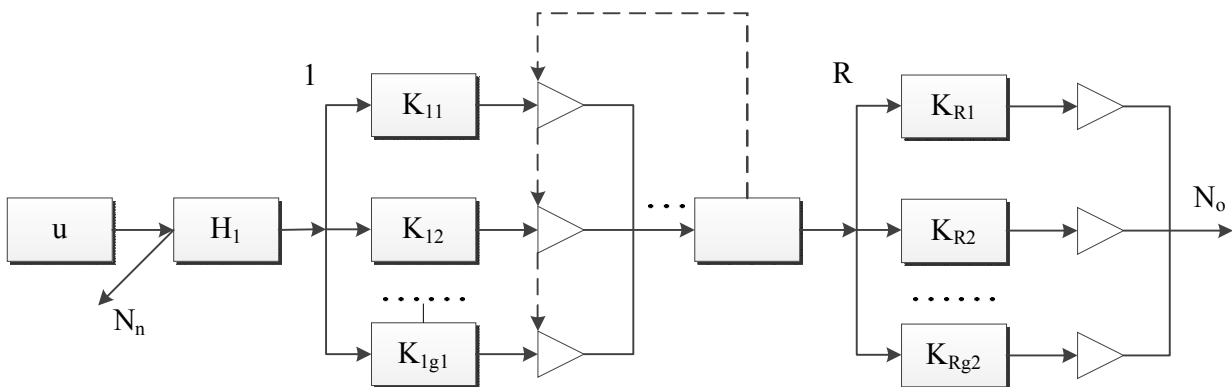


Рис. 1. Функциональная схема многофазной, многоканальной СМО

Сплошными линиями на рисунке 1 показано направление движения потока

требований в системе, пунктирными – реакция обратных связей. В результате действия обратных связей возникает блокировка каналов, выражающаяся в том, что заявка, обслуженная в заблокированном канале, остаётся в нём до момента разблокирования. В модели принят естественный режим обслуживания требований, то есть заявки обслуживаются в канале в порядке их поступления в накопитель соответствующей фазы. В случае переполнения накопителя происходит блокировка канала предыдущей фазы (для всех фаз, кроме первой, заявка просто теряется). На выходе системы фиксируются поток обслуженных и поток потерянных заявок. При настройке модели на конкретные условия технологической схемы могут варьироваться следующие параметры: количество фаз обслуживания ( $R$ ), число каналов в каждой фазе ( $g_i, i=1,2,\dots,R$ ), закон распределения времени обслуживания заявок, интенсивность обслуживания ( $\lambda_{ij}, j = 1,2,\dots, g_i$ ), объём накопителей каждой фазы ( $L_i, i=1,2,\dots,R$ ), число реализаций актов обслуживания.

Эндогенными переменными модели являются: вероятность потери заявки при переполнении накопителя ( $P = \frac{N_n}{N_o + N_n}$ ); вероятность того, что в очереди на обслуживание в накопителе находится  $l$  заявок ( $P_l = \frac{N_l}{N_o - N_n}, l = 1,2,\dots,L$ ). Экзогенные переменные модели следующие: время поступления  $K$ -й заявки из источника  $u$ ; время окончания обслуживания очередной заявки каналом  $K_{ij} (j=1,2,\dots,g_i, i=1,2,\dots,R)$ .

Каждому каналу поставлен в соответствие признак его состояния для определённых моментов системного времени моделирования. Признак связан со значениями некоторой переменной  $z_{ij}$ , которая равна 0, если канал свободен, 1, если канал занят, и 2, если канал заблокирован. Переход в системе из одного состояния в другое осуществляется мгновенно, другими словами моделируемые процессы представляются ступенчатыми функциями времени. В процессе моделирования предполагается, что состояние системы изменяется скачком в моменты времени, совпадающие с моментами поступления заявок от источника  $u$ . При этом входной поток играет роль синхронизирующей последовательности при проведении имитационного эксперимента на ЭВМ [3].

Моделирующий алгоритм реализован на языке программирования C++ (программа SERVIS) в виде совокупности программных модулей, оформленных как подпрограммы. На рисунке 2 приведена схема взаимосвязи между функциональными модулями системы моделирования.

Основная подпрограмма MAIN программы SERVIS осуществляет ввод исходной информации, а также вызов нужных программных модулей. Подпрограмма OBNUl устанавливает ачальное состояние системы. Подпрограмма ISTOK имитирует источник заявок с заданным законом распределения и обеспечивает установку заявок в очередь. Подпрограмма FAZA имитирует процесс обслуживания заявки в фазе.

Подпрограмма LOGFAZ определяет, какая фаза обслуживается (первая или последняя) и определяет дальнейшую коррекцию вычислений. Подпрограмма RAZBLO проводит разблокировку каналов фазы. Процедура STATIK осуществляет учёт очередной реализации, формирует информацию для построения гистограмм, определяет вероятность отказа в обслуживании заявки. Подпрограмма TALMUT организует печать таблиц исходных данных и результатов моделирования.

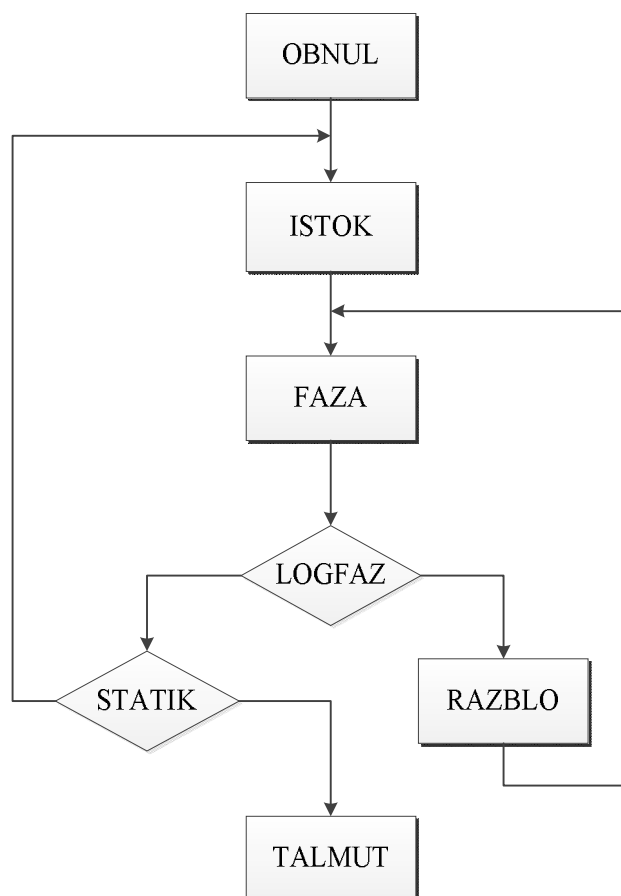


Рис. 2. Схема взаимодействия программных модулей

Для функционирования модулей системы моделирования в программе используются процедуры воспроизведения случайных величин, распределенных в соответствии с экспоненциальным и пуассоновским законами [4]. Кроме того, определение минимального и максимального значений интенсивностей обслуживания в каналах осуществляет подпрограмма MINMAX, а процедура OPTRAZ фиксирует количество каналов в фазах в процессе моделирования.

На основе реализации рассмотренной модели была решена задача по выбору оптимальных параметров технологической системы с использованием следующей целевой функции:

$$F(X_i, Q_i) = M \sum_{i=1}^N C_i(Q_i)(X_i \cdot Q_i)^2,$$

где

$$C_i(Q_i) = \begin{cases} a_i(Q_i), & \text{если } X_i \geq Q_i, a_i(Q_i) \geq 0, \\ b_i(Q_i), & \text{если } X_i < Q_i, b_i(Q_i) \geq 0, \end{cases}$$

$N$  – число фаз в системе;

$X_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) – ёмкость накопителя  $i$ -й фазы;

$Q_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) – величина разности поступивших на  $i$ -ю фазу заявок и обслуженных в этой фазе за время  $T$ ;

$C_i(Q_i)$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) – «штрафные» коэффициенты.

Необходимо выбрать такие ёмкости накопителей ( $X_i$ ), чтобы функционал достигал минимального значения.

Вычислительная процедура носит итеративный характер и включает последовательное выполнение следующих шагов: устанавливается номер очередной итерации; осуществляется расчёт значений коэффициентов целевой функции; рассчитывается значение функционала; проверяется какая итерация выполнена; если первая, то производится минимизация функции цели квазиньютоновским методом, в противном

случае проверяется возможность выхода из цикла; если модуль разности значения функции цели, вычисленного на данной итерации и значения, вычисленного на предыдущей, больше некоторого заданного числа (определяет точность решения), то производится минимизация функционала, номер итерации увеличивается на единицу и определяются значения функции цели при новых аргументах; если модуль разности не больше, то вычисления заканчиваются и на печать выводятся оптимальные значения емкостей накопителей фаз и количества итераций.

Программа SERVIS практически апробирована при решении задачи оптимизации параметров технологического процесса обработки валов электродвигателей. Технологическая схема включает 19 операций. Данная технологическая система интерпретирована как восьмифазная, двухканальная система массового обслуживания, накопителями в которой являются склады заготовок перед станками. В процессе моделирования определялись оптимальные емкости накопителей при известных значениях интенсивности входного потока заготовок и интенсивности обслуживания на каждом станке. На модели воспроизводился 1 час функционирования системы при интенсивности источника заявок 50 шт./ч, числе фаз обслуживания, равном 8, количестве реализаций – 100.

### **Библиографический список**

1. Вавилов А.А. Имитационное моделирование производственных систем. – М.: Машиностроение, 1983. – 416 с.
2. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. – СПб: Питер, 2004. – 848 с.
3. Шаранов И. М., Петрова Е.С. Имитационное моделирование управленческих процессов в производственных системах // Вестник ВУиТ. 2011. №18 С.5-10.
4. Хемди А. Таха. Имитационное моделирование // Введение в исследование операций. 7-е изд. - М.: Вильямс, 2007. - С. 697-737.

УДК 004.942 ; ГРНТИ 27.35.33

## **МАКЕТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ**

**В.С. Алюшина**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, lerka\_al@mail.ru*

*Аннотация.* Работа посвящена разработке метода голосового управления промышленным роботом. Описана возможность использования среды LabVIEW для создания автоматизированной системы голосового управления. Разработана автоматизированная система управления голосом, на основе заложенного списка команд.

*Ключевые слова:* промышленный робот, автоматизированная система, голосовое управление, среда визуального программирования LabVIEW, команды.

## **PROTOTYPING VOICE CONTROL SYSTEM INDUSTRIAL ROBOT**

**V.S. Alyushina**

*Ryazan state radio engineering University,  
Ryazan, lerka\_al@mail.ru*

*Abstract.* The work is dedicated to the development of a method for voice control of an industrial robot. Describes the use of LabVIEW environment for the creation of an automated voice control system. Developed automated voice recognition system, based on the embedded list.

*Keywords:* industrial robot, automated system, voice control, environment visual programming LabVIEW, team.

### **1. Введение**

В современном мире развитие робототехники резко шагнуло вперед. Многие предприятия стали использовать в своей работе роботов, для упрощения и ускорения выполнения работы, а так же максимальной автоматизации производства. На производстве наибольшее распространение получили промышленные роботы.

Промышленный робот - это манипуляционный робот, необходимый для выполнения двигательных, а так же управляющих функций в производственном процессе, иначе говоря, это автоматическое устройство, состоящее из двух частей таких как, манипулятор и про-

граммируемое устройство управления, формирующее управляющие воздействия, задающие требуемые движения исполнительных органов (рис. 1). Такие устройства применяются в промышленности и на производстве для выполнения разнообразных технологических операций, а так же перемещения [1].



Рис. 1. Пример промышленного робота FANUC R2000iB [1]

Основной целью применения промышленных роботов является замена человека на производстве, это необходимо для того чтобы максимально сократить его участие в тяжелой, опасной для жизни, утомительной и однообразной работе [2].

## **2. Голосовое управление**

В настоящее время использование голосового управления в различных сферах деятельности сильно возросло, так как это значительно упрощает и ускоряет работу.

Голосовое управление – это способ взаимодействия с устройством при помощи голоса, необходимое для введения различных управляющих команд[3].

Использование промышленных роботов с возможностью голосового управления на предприятиях и производствах не только значительно упрощает процесс работы, а так же позволяет принимать на работу людей с ограниченными возможностями движения, что делает данную тему достаточно актуальной в современном обществе.

Основой для создания таких систем управления голосом являются методы распознавания речи.

## **3. Возможность автоматизации голосового управления**

Одним из способов реализации данной системы является среда визуального программирования LabVIEW.

Интегрированная автоматизированная среда LabVIEW – это особая среда графического программирования, широко используемая во всем мире, которая значительно ускоряет процессы проектирования и разработки вычислительных комплексов и контрольно-измерительных систем, благодаря большому числу различных встроенных функций, специализированных библиотек, графическому языку, а также тесной интеграции с инновационными системами сбора данных, промышленными компьютерами, измерительными приборами и контроллерами автоматизации [4].

Программа LabVIEW является виртуальным прибором (англ. Virtual Instrument) состоящим из двух частей.

1. Лицевой панели, отвечающей за внешний интерфейс виртуального прибора.
2. Блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.



С помощью своей гибкости и масштабируемости, интегрированная автоматизированная система LabVIEW может использоваться на всех этапах технологического процесса: от моделирования и разработки прототипов продуктов до масштабных производственных испытаний. Возможность применения интегрированной среды LabVIEW для измерения сигналов, обработки результатов и обмена данными увеличит производительность всего предприятия [5].

#### 4. Проект виртуального прибора для системы голосового управления

С помощью среды визуального программирования LabVIEW реализован виртуальный прибор для системы голосового управления промышленным роботом.

На лицевой панели виртуального прибора (рис. 2) расположены список команд, которые может выполнять робот, инструкция по содержанию этих команд, кнопки начала и завершения работы, индикатор разрешения произношения команды, индикатор распознавания программы и индикатор выполнения программы.

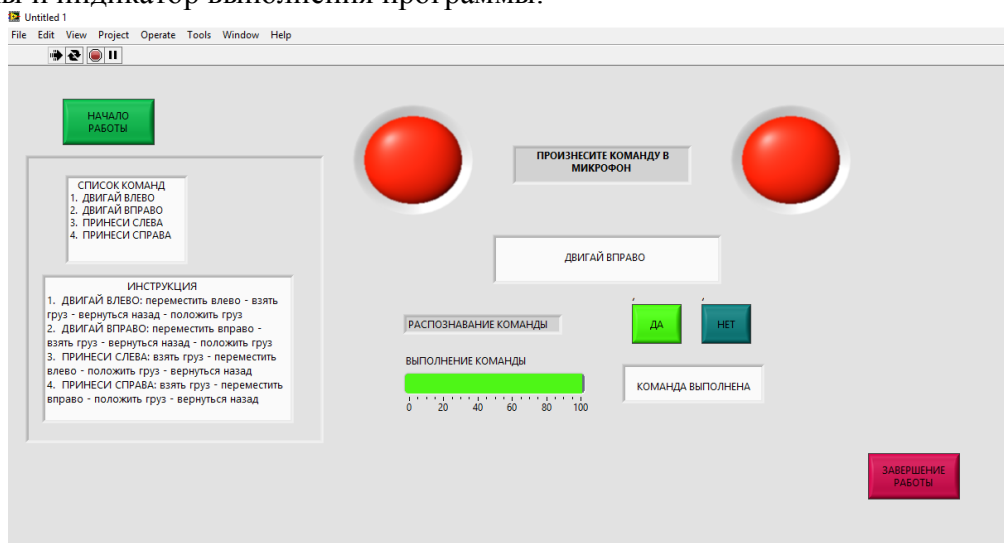


Рис. 2. Лицевая панель виртуального прибора

В данном виртуальном приборе программно заложено выполнение четырех команд, каждая из которых включает в себя определенный набор действий. Команда ДВИГАЙ ВЛЕВО включает в себя следующие действия: перемещение влево – взять груз – возврат назад – положить груз. Команда ДВИГАЙ ВПРАВО включает в себя следующие действия: перемещение вправо – взять груз – возврат назад – положить груз. Команда ПРИНЕСИ СЛЕВА включает в себя следующие действия: взять груз – перемещение влево – положить груз – возврат назад. Команда ПРИНЕСИ СПРАВА включает в себя следующие действия: взять груз – перемещение вправо – положить груз – возврат назад.

После нажатия клавиши начала работы два светодиода горят зеленым светом, на экране появляется сообщение «ПРОИЗНЕСИТЕ КОМАНДУ В МИКРОФОН», после чего, в зависимости от того распознана команда или нет загорается соответствующий индикатор, а два светодиода загораются красным светом, затем начинается выполнение поставленной задачи промышленным роботом. На экране виртуального прибора это отображается как шкала с процентом выполнения. После того как команда полностью выполнена, на экран выводится сообщение «КОМАНДА ВЫПОЛНЕНА» и светодиоды вновь горят зеленым светом, это значит что возможно последующее выполнение команд.

Правильность произношения контролируется сравнением амплитудно-временных и частотных параметров произнесенной обучаемым буквы с шаблоном – эталоном заложенным в программу заранее для каждой буквы. Сравнение частотных параметров происходит с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ), благодаря чему стало возможным анализировать спектр звуковых сигналов практически в реальном времени. На вход преобразователя поступает цифровой аудиосигнал. Анализатор выбирает из сигнала последовательные интервалы («окна»), на которых будет вычисляться спектр, и считает БПФ в каждом ок-



не для получения амплитудного спектра  $X_k$ . Имея набор значений составляющих спектра, можно по методу максимального правдоподобия оценить то, насколько данный спектр близок к эталонному. Дополнительно можно оценить энергию спектра в различных частотных диапазонах.

## 5. Вывод

Развитие робототехники в современном мире шагнуло далеко вперед. Все большее число различных предприятий и организаций используют для производства, транспортировки и многих других целей промышленных роботов, управление которыми может осуществляться различными способами, одним из которых является голосовое управление. С помощью такого вида управления на предприятиях могут работать как обычные люди, так и люди с ограниченными возможностями. Использование визуальной среды программирования LabVIEW, которая позволяет реализовать данный прибор с помощью программной и аппаратной части, дает возможность скорой реализации такого прибора на многих предприятиях, использующих промышленных роботов в своей работе.

## Библиографический список

1. «Промышленный робот» [Электронный ресурс], URL : <https://ru.m.wikipedia.org> (дата просмотра 15.02.2017).
2. Энциклопедия «Техника». – М.: Росмэн. 2006.
3. Электронный ресурс - <https://ru.m.wikipedia.org> – «Голосовое управление» (дата просмотра 15.02.2017).
4. Кехтарнаваз Н., Ким Н. Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием LabVIEW. М.: Додэка-XXI, 2007. 456 с.
5. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20. Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.

УДК 681.5.013; ГРНТИ 28.15.15

## ПРИМЕНЕНИЕ СИМВОЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**В.И. Захватов**

*Воронежский государственный технический университет,  
Россия, Воронеж, [v.zakhvatov@bk.ru](mailto:v.zakhvatov@bk.ru)*

*Аннотация.* Рассмотрены возможности символьных вычислений при проектировании систем автоматического управления. Показано, что введение аналитических параметров в полиномиальные уравнения алгебраического синтеза систем может дать дополнительные возможности для повышения их эффективности и качественных показателей.

*Ключевые слова:* символьные вычисления, полиномиальные уравнения, алгебраический синтез регуляторов.

## THE APPLICATION OF SYMBOLIC COMPUTATION IN THE DESIGN OF AUTOMATIC SYSTEMS

**V.I. Zakhvatov**

*Voronezh State Technical University,  
Voronezh, Russia, [v.zakhvatov@bk.ru](mailto:v.zakhvatov@bk.ru)*

*Abstract.* Considered the possibilities of symbolic computation in the design of automatic control systems. It is shown that the introduction of analytic parameters in polynomial equations algebraic synthesis systems may provide additional opportunities to improve their efficiency and quality indicators.

*Keywords:* symbolic computation, polynomial equations, algebraic synthesis of controllers.

## Введение

Несмотря на то, что методы компьютерной математики широко используются в современной теории и практике автоматического управления, символьные (аналитические) вычисления на основе компьютерной алгебры здесь пока еще не получили распространения. Между тем алгебраические методы и символьные вычисления активно используются и нашли применение в различных научно-технических областях, открывают в них новые возможности.

В современной теории динамических систем разработан разнообразный арсенал мощных, аналитических и численных методов синтеза. Интенсивная математизация современной

теории систем автоматического управления (ТАУ) пока еще не вызвала соразмерного роста технических показателей качества проектируемых систем. Алгоритмы проектирования, рекомендуемые сегодня ТАУ, в качестве базовой основы становятся все более сложными, но методы оптимизации и адаптации, так и не смогли в полной мере оправдать возлагавшиеся на них большие надежды. Многообразие существующих сегодня методов синтеза говорит об отсутствии явных преимуществ какого-либо одного из них. Тот факт, что существует так много методов, показывает, что не существует ни одного вполне удовлетворительного, способного стать инженерным стандартом, каким, например, был в свое время метод логарифмических частотных характеристик. Для стадии воплощения системы на практике важно уложиться в предписанные ограничения и выбрать параметры желаемых характеристик системы в форме, пригодной для реализации, которые отвечают ее параметрам качества и укладываются в предписанные ограничения.

Синтез систем является многокритериальной проблемой, которую трудно вместить в узкие рамки какого-то одного, пусть и удачно выбранного, критерия оптимизации. Применение в качестве координатного базиса при синтезе пространства состояний также не всегда приемлемо, поскольку предполагает наличие точной модели объекта управления. Синтез традиционными, классическими операторными методами, в пространстве изображений, в последнее время получает новое развитие, привлекает внимание исследователей [1,2]. Попытки выявить в нем новые возможности с учетом достижений классической алгебры, и особенно ее новой ветви - алгебры компьютерной, насколько известно, применительно к задачам ТАУ, пока еще не предпринимались. Ввиду этого очевидного и явного дефицита сегодня приемлемых для инженерной практики методов проектирования и соответствующих алгоритмов, способных обеспечить высокую эффективность и точность управляемых систем, существует насущная потребность в их разработке.

#### **Общее решение задачи**

В развитие известных алгебраических методов синтеза управляемых систем рассматриваются возможности численно-аналитического подхода на основе решения систем нелинейных алгебраических уравнений и неравенств. Математическим инструментарием нового подхода являются методы компьютерной алгебры и полиномиальных уравнений.

Стандартная постановка задачи синтеза регуляторов методом численного решения систем линейных полиномиальных уравнений относительно комплексной переменной  $p$ , для объекта с передаточной функцией  $W_0(p) = B(p)/A(p)$  и желаемого эталона (характеристического полинома) системы управления  $C(p)$ , заданных в численном виде, заключается в следующем [1,2]. Требуется найти численные значения неизвестных параметров регулятора  $W(p) = Y(p)/X(p)$ , доставляющего ту или иную степень приближения свойств замкнутой системы к желаемому эталону. Все желаемые полюсы системы, являющиеся корнями полинома  $C(p)$ , назначаются заранее. Полиномиальное уравнение синтеза (1) решается в численном виде относительно неизвестных полиномов  $X(p), Y(p)$ :

$$A(p)X(p) + B(p)Y(p) = C(p) \quad (1)$$

Новая постановка задачи численно-аналитического синтеза состоит в замене численных значений параметров объекта и эталона на аналитические эквиваленты. Для объекта и желаемого эталона системы управления  $Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j)$ , заданных в аналитическом либо в численно-аналитическом виде, найти численно-аналитические значения параметров регулятора  $W(p) = Y(p)/X(p)$ , а затем, в результате анализа полученных аналитических соотношений, можно определить те численные значения параметров, которые отвечают комплексу технических требований к управляемой системе при ее текущем состоянии в данный момент времени. Полиномиальное уравнение синтеза (2) решается в численно-аналитическом виде относительно неизвестных полиномов  $X(p), Y(p)$  и  $Z(p)$ :

$$\begin{aligned} A(p)X(p) + B(p)Y(p) &= Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j) \\ Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j) &= \prod_{i,j} (p + \alpha_i) * (p^2 + \beta_j p + \gamma_j) \end{aligned} \quad (2)$$

При этом параметры эталона  $\alpha_i, \beta_j, \gamma_j$ , определяющие величины желаемых полюсов

синтезируемой замкнутой системы, должны иметь вещественные положительные значения. С учетом этого, и приравнивая коэффициенты при различных степенях переменной  $p$  в уравнении синтеза (2), получаем систему нелинейных уравнений и неравенств. Решение последней позволяет определить, существует ли в пространстве варьируемых параметров эталона и регулятора заданного порядка, такая точка или область, которая удовлетворяет построенной системе нелинейных уравнений и неравенств.

Метод полиномиальных уравнений позволяет рассчитать регулятор для объекта сколь угодно высокого порядка и с любым порядком астатизма.

Особенность аналитически заданного эталона – области локализации корней характеристического полинома являются в общем случае неопределенными и рассредоточенными в комплексной полуплоскости. При необходимости обеспечения требуемых динамических свойств проектируемой системы, часть доминирующих корней эталона  $Z(p, \alpha_i, \beta_j, \gamma_j)$  может быть назначена в численном виде.

### **Решение задачи синтеза цифровых систем управления**

Современные системы управления обычно строятся на базе цифровых устройств. Методы синтеза цифровых регуляторов разнообразны и часто достаточно сложны. В инженерной практике во многих случаях сначала проектируется аналоговый регулятор, который затем переводится в цифровую форму (дискретизируется) при некотором интервале квантования  $T$ . Метод синтеза основан на использовании дискретной модели непрерывного объекта. Система считается чисто дискретной, межтактовое поведение не учитывается. Синтез алгоритмов осуществляется методами теории дискретных систем, одним из которых является метод полиномиальных уравнений [4] основанный на алгебраических операциях над характеристическими многочленами, отражающими свойства модели объекта управления и желаемой модели процесса. Выбор метода анализа и синтез линейных динамических систем, очевидно, должен соответствовать уровню сложности решаемых задач. Для объектов несложной структуры с одним управляющим входом и одним измеряемым выходом более целесообразно применять регуляторы входа-выхода, а не регуляторы состояния. При этом полиномиальные модели обладают тем преимуществом перед матричными моделями, что содержат меньшее число подлежащих определению параметров, основаны на выполнении только арифметических операций и потому требуют меньшее время на вычисления. При расчете и анализе систем управления используются только линейные алгебраические операции над полиномами и дробно-рациональными функциями от элементарного оператора (например, оператора задержки  $z^{-1}$ ). Метод полиномиальных уравнений, основанный на моделях входа-выхода, носит название метода размещения полюсов [5].

Алгебраический подход к синтезу регуляторов позволяет достаточно легко формализовать всю процедуру синтеза регулятора, свести ее к простому набору последовательных операций над алгебраическими многочленами от оператора запаздывания  $z^{-1}$ . Задача проектирования регулятора, как типичная задача аналитического конструирования, ставится следующим образом. Сначала определяется непрерывная модель объекта, каким либо способом идентификации, затем она заменяется эквивалентной цифровой моделью. Задается критерий качества и область допустимых управлений. Далее процесс решения сводится к конструированию полиномов регулятора с требуемыми свойствами, при которых полюса дискретной передаточной функции замкнутой системы расположены в заданной области комплексной плоскости. За критерий качества принимается желаемая передаточная функция замкнутой системы (эталонная модель), которая своими параметрами определяет основные требования к качеству системы.

Обычно процесс проектирования системы управления начинается с выбора эталонной модели в численном виде. Но зачастую выбираемый эталон никак не согласован ни со свойствами объекта управления, ни с возможной структурой регулятора. Поэтому предлагается эталонную модель назначать в комбинированной, численно-аналитической форме. Это дает возможность задавать только некоторые, критически важные параметры модели. Другие же

переменные модели, менее значимые для реализации, остаются свободными и вычисляются в процессе решения с привязкой к динамическим свойствам объекта управления.

Рассмотрим последовательность полиномиального синтеза цифрового регулятора методом размещения полюсов. Структура системы управления в общем случае содержит несколько регулирующих блоков (рис. 1.), представленных в виде полиномов  $D(z^{-1})$ ,  $R(z^{-1})$  и  $P(z^{-1})$ . Дискретная передаточная функция объекта равна

$$W_o(z^{-1}) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (3)$$

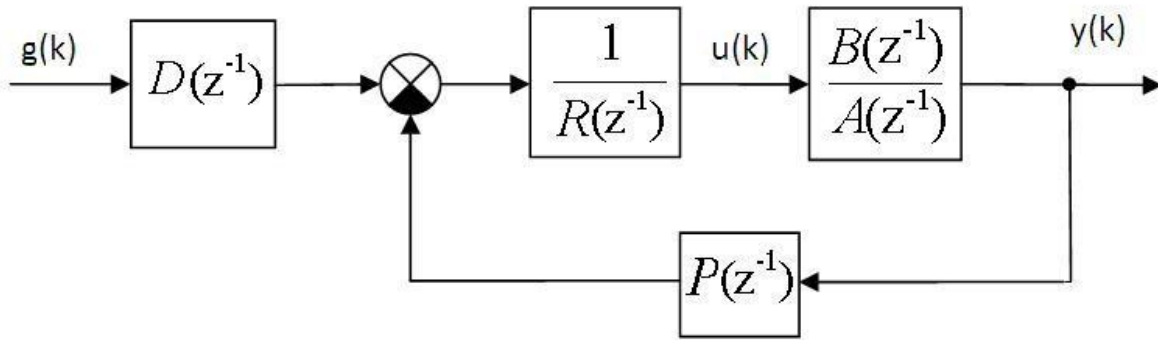


Рис. 1. Структура цифровой системы управления

Пусть задана некоторая желаемая устойчивая передаточная функция замкнутой системы (эталонная модель)  $W_{\text{эм}}(z^{-1}) = \frac{B_m(z^{-1})}{A_m(z^{-1})}$ . Требуется найти такие полиномы  $D$ ,  $R$  и  $P$ , которые обеспечат равенство  $W_o(z^{-1}) = W_{\text{эм}}(z^{-1})$  или

$$\frac{BD}{BP + AR} = \frac{B_m}{A_m} \quad (4)$$

Разложим полином  $B$  на устойчивый  $B^+$  и неустойчивый  $B^-$  сомножители:

$$B(z^{-1}) = B^+(z^{-1})B^-(z^{-1}) \quad (5)$$

Поскольку неустойчивые нули объекта  $B^-$  изменить невозможно их следует ввести в состав эталонной модели:  $B_m = B^-B'_m$ .

Устойчивые нули объекта  $B^+$  можно сократить, введя их в состав блока  $R$ :

$$R(z^{-1}) = B^+R' \quad (6)$$

Тогда из (2) после сокращения получим:  $\frac{D}{PB^- + R'A} = \frac{B'_m}{A_m}$ , что эквивалентно системе полиномиальных уравнений относительно  $D$ ,  $R$  и  $P$ :

$$D = B'_m; PB^- + R'A = A_m \quad (7)$$

Последнее уравнение всегда разрешимо относительно  $P$  и  $R'$ , если полиномы  $B^-$  и  $A$  не имеют общих множителей [5]. Характеристическое уравнение замкнутой системы принимает вид  $BP + AR = B^+A_m$ . Итак, полюса замкнутой системы размещены таким образом, что включают в себя компенсированные устойчивые нули объекта  $B^+$  и полюса эталонной модели  $A_m$ .

Алгоритм синтеза регулятора методом размещения полюсов можно записать в виде следующих последовательных операций.

1. Начало. Ввести исходные данные:
  - а) номинальную модель объекта  $B/A$ ;

б) желаемую модель замкнутой системы  $B_m/A_m$ .

2. Факторизовать полиномы  $B = B^- B^+$ ;  $B_m = B_m^- B_m^+$ .

3. Решить полиномиальное уравнение  $PB^- + R'A = A_m$  относительно полиномов  $P(z^{-1})$  и  $R'(z^{-1})$

4. Присвоить полиному  $D$  значение  $B_m'$ . Вычислить  $R = B^+ R^-$

5. Искомое управление имеет вид  $R(z^{-1})U = D(z^{-1})g - P(z^{-1})y$

### Пример синтеза цифрового регулятора

В качестве примера рассмотрим синтез полиномиального цифрового регулятора для приборного электропривода постоянного тока. Объект управления – двигатель постоянного тока имеет передаточную функцию вида:

$$W_o(s) = \frac{k}{T_m T_\pi s^2 + T_m s + 1}, \quad (8)$$

где  $T_m$  и  $T_\pi$  - постоянные времени (механическая и электромагнитная);

$k$  - коэффициент передачи двигателя по управлению.

Требуется построить цифровой регулятор с экстраполятором нулевого порядка  $H_o(s) = (1 - e^{-sT})/s$ , обеспечивающий переходные процессы, соответствующие непрерывной

эталонной модели  $W_{\text{эм}}(s) = \frac{\lambda}{s + \lambda}$ , соответствующей инерционному звену первого порядка.

Определим дискретную передаточную функцию объекта управления методом фиктивного квантования:

$$W_o(z^{-1}) = z\{W_o(s)H_o(s)\} = \frac{kz^{-1}(1 + az^{-1})}{(1 + bz^{-1})(1 + cz^{-1})} \quad (9)$$

Дискретную эталонную модель получим тем же методом:

$$W_{\text{эм}}(z^{-1}) = z\{W_{\text{эм}}(s)H_o(s)\} = \frac{(1 - e^{-\lambda T})z^{-1}}{1 - e^{-\lambda T}z^{-1}} \quad (10)$$

Исходные данные для синтеза:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= (1 + bz^{-1})(1 + cz^{-1}); \\ B^+(z^{-1}) &= k(1 + az^{-1}); \quad B^-(z^{-1}) = z^{-1}; \\ B_m(z^{-1}) &= (1 - e^{-\lambda T})z^{-1}; \quad A_m(z^{-1}) = 1 - e^{-\lambda T}z^{-1}; \end{aligned} \quad (11)$$

Для повышения точности и обеспечения астатизма включим в состав блока регулятора  $R(z^{-1})$  дискретное интегрирующее звено:

$$R(z^{-1}) = B^+(z^{-1})(1 - z^{-1})R'(z^{-1}) \quad (12)$$

Составляем полиномиальное уравнение:

$$PB^- + R'(1 - z^{-1})A = Pz^{-1} + R'(1 - z^{-1})(1 + bz^{-1})(1 + cz^{-1}) = 1 - e^{-\lambda T}z^{-1} \quad (13)$$

Представив в уравнении (13) некоторые из параметров  $\lambda, k, a, b, c$  и времени квантования  $T$  в численном виде, а другие – в символьном, находим минимальное решение полученного уравнения для полиномов  $P$  и  $R'$ , после чего определяем дискретные передаточные функции регулирующих блоков. Если удовлетворительного решения полиномиального уравнения (13) не существует, то в соответствии с алгоритмом синтеза корректируем эталонную модель (например, повышаем ее порядок) и повторяем процедуру решения до получения приемлемого результата.

Итак, задавая различные параметры эталонной модели  $W_{\text{эм}}(z^{-1})$ , и решая полиномиальные уравнения, можно получить для исследуемого объекта разнообразные алгоритмы цифрового регулирования.

Таким образом, возможность аналитического представления даже части параметров алгоритма регулирования дает неоспоримые преимущества такому методу синтеза и превосходит по эффективности параметрической оптимизации все другие, на основе только лишь численных алгоритмов. Алгебраизация задач синтеза регуляторов открывает новые возможности в повышении качественных показателей автоматических систем. Инженерная направленность методов синтеза составляет основу предлагаемого подхода.

### **Библиографический список**

1. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). – М.: Физматлит, 2012. – 360 с.
2. Ким Д.П. Алгебраические методы синтеза систем автоматического управления. – М.: Физматлит, 2014. – 164 с.
3. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.: Машиностроение, 1986, 448 с.
4. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами. – М.: Наука, 1986, 240 с.
5. Острем К., Виттенмарк Б., Системы управления с ЭВМ. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987, 480 с.

УДК 658.5.011; ГРНТИ 50.47

## **УПРАВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМ ПРОЦЕССОМ ВУЛКАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН**

**А.А. Митрохин, К.Ю. Гусев, В.Л. Бурковский**

*\* Воронежский государственный технический университет,  
Россия, Воронеж, bvl@vorstu.ru, Len4ikmitrohin@yandex.ru.*

*Аннотация.* Рассматривается система прогнозирования и управления потенциально опасным процессом вулканизации производства автомобильных шин. В данной статье для прогнозирования динамики показателей качества и безопасности производства продукции предлагается использовать аппарат, который позволяет получить наиболее адекватные результаты по сравнению с традиционными математическими моделями и алгоритмами управления. А также существенно упростит построение модели объекта управления и формализации алгоритмов управления процесса вулканизации потенциально опасного шинного производства.

*Ключевые слова:* прогноз, опасное производство, нечеткая логика.

## **MANAGEMENT OF POTENTIALLY HAZARDOUS CURING PROCESS THE PRODUCTION OF TIRES**

**A.A. Mitrokhin, K.Y. Gusev, V.L. Burkovsky**

*\* Voronezh technical University State,  
Russia, Voronezh, bvl@vorstu.ru, Len4ikmitrohin@yandex.ru.*

*Abstract.* We consider the system of forecasting and management of potentially hazardous curing process in production of tires. In this report for forecasting dynamics of indicators of the quality and safety of production it is proposed to use an apparatus which allows to obtain the most adequate results compared to traditional mathematical models and control algorithms. As well as significantly simplifies the model of the control object and formalization of algorithms to control the curing process of a potentially dangerous tire production.

*Keywords:* the forecast, the production of hazardous, fuzzy logic.

Среди множества производственных процессов следует особо выделить класс потенциально опасных объектов, например, таких как участок вулканизации шин, на шинном производстве, в котором вопросам безопасности и качества продукции необходимо уделять особое внимание. Под процессом вулканизации понимаем технологический (физико-химический) процесс, при котором пластичный каучук превращается в твердый материал, обладающий характерными свойствами резины: упругой деформацией. Процесс вулканизации, это процесс когда заключенная в металлические формы резиновая смесь подвергается воздействию температуры и давления, требуемая температура вулканизации создается путем подачи пара, воды или азота под высоким давлением.

В настоящее время в процессах вулканизации все чаще находят применение специальные средства защиты, но возникновение нештатной ситуации может быть вызвано нега-

тивными факторами, которые могут негативно отразиться на качестве и безопасности выпускаемой продукции, выходящими за рамки управления объектом[1].

В современных условиях в рамках систем управления потенциально опасных объектов, характер функционирования которых является сложно прогнозируемым, существенно повышаются требования к качеству и безопасности процессов.

Наличие большого числа неконтролируемых источников внешних и внутренних возмущений в процессе управления технологическим процессом вулканизации шин, высокая динамика изменения состояния объектов управления, существенно усложняет производственные процессы.

Специфика потенциально опасных объектов управления, оказывающих существенное влияние на качество, эффективность функционирования и безопасность технологических процессов.

Классу потенциально опасных объектов управления свойственны узкие границы функционирования технологических параметров, которые определяются в первую очередь требованиями безопасности ведения процесса и качества выпускаемой продукции, эффективного управления за счет экономии ресурсов и энергоносителей, строгим контролем допустимых значений физических параметров управления с целью недопущения их выхода за пределы критических значений, обуславливающих пожароопасные и взрывоопасные состояния. В связи со строгой взаимосвязью параметров управления и косвенных неконтролируемых факторов воздействия на последующее развитие процесса, качественное изменение регулирующих параметров требует включение в контур управления моделей, обеспечивающих прогноз динамики объекта, а также показателей качества и безопасности производимой продукции[2].

В этой связи к системам управления потенциально опасного процесса предъявляются повышенные требования надежности и безопасности.

Для прогнозирования динамики показателей качества и безопасности производства продукции предлагается использовать аппарат, который позволяет получить наиболее адекватные результаты по сравнению с традиционными математическими моделями и алгоритмами управления. Системы нечеткого моделирования позволяют описывать качественные, неточные понятия, осуществлять анализ этих данных с целью получения новых параметров.

Использование математических моделей и алгоритмов прогнозирования на основе реализации аппарата, нечеткой логики это современных подходов к постановке и решению задач управления который, обеспечит более критический взгляд на точность математических моделей.

Дело в том, что практически любая модель представляет собой идеализированное, упрощенное, описание реального объекта. Кроме того, некоторые характеристики объекта могут быть заранее неизвестными или значительно изменяться в процессе его функционирования[3].

Введем нечеткие переменные для исследуемого участка вулканизации потенциально опасного шинного производства. Для формирования нечетких переменных необходимо определить управляемые параметры, влияющие на качество и безопасность производства продукции, определить область определения и определить параметры (функции) нечеткого множества. В качестве функции множества возьмем функцию Гаусса представленную ниже:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\mu$  и  $\sigma$  вещественные параметры.

Внесем полученные нечеткие переменные в таблице 1.

Таблица 1 - Нечеткие переменные

Имя нечеткой переменной	Область определения	Параметры нечеткого множества
Давление 1 стадии формовки, бар	(0.1 до 0.3)	$\mu = 0.2 ; \sigma = 0.1$
Давление 2 стадии формовки, бар	(0.3 до 0.5)	$\mu = 0.4 ; \sigma = 0.1$
Давление греющего пара, бар	(13 до 15)	$\mu = 14 ; \sigma = 1$
Давление азота, бар	(23 до 25)	$\mu = 24 ; \sigma = 1$
Температура конусов пресс формы, °C	(172 до 176)	$\mu = 174 ; \sigma = 2$
Температура плит пресс формы, °C	(176 до 180)	$\mu = 178 ; \sigma = 2$

Полученная в ходе исследования участка вулканизации потенциально опасного шинного система нечетких переменных позволяет не только формально описать объект исследования, а также позволяет произвести моделирование и системный анализ производства для прогнозирования и управления потенциально опасным процессом производства автомобильных шин.

В традиционных системах управления процессом вулканизации отсутствуют модули прогнозирования, что зачастую приводит к нештатной остановке технологического процесса, простоя производства.

Кроме проблем в построении модели объекта, которая обусловленной сложностью производственных процессом существует ряд сложностей с формализацией алгоритмов управления, что подразумевает применение нечетких систем для описания данного технологического процесса [4].

Таким образом, предложенный аппарат прогнозирования динамики показателей качества и безопасности производства продукции позволит получить наиболее адекватные результаты, что позволит произвести моделирование и системный анализ потенциально опасного производства для прогнозирования и управления технологическим процессом и приведет к повышению показателей качества и безопасности производства продукции потенциально опасного объекта.

### Биографический список

1. Дворецкий С.И., Королев В.Н., Нагорнов С.А., Таров В.П. Процессы термообработки и вулканизации.-М.: «Издательство машиностроение-1», 2006.– 232 с.
2. Макаш И. С., Бурковский В.Л. Информационная система компьютерного управления потенциально опасным производством сушки.-Саратов: Издательство «Научная книга», 2015. - С. 213-216.
3. Рудковская Д., Пилиньский М., Рудковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского.-2-изд., стереотип.- М.: Горячая линия-Телеком, 2013.- 384 с.
4. Ткалич С.А., Бурковский В.Л., Таратынов О.Ю. Концепция безаварийного управления на основе моделей прогнозирования состояния потенциально опасных технологических процессов. Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2016. - Т. 12. - №6. - С. 79-86.

УДК 658.5; ГРНТИ 55.49.07

## РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С НЕОБХОДИМЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ЭЛЕРОН

А.А. Григоренко, П.Ю. Ломов

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
г.Рязань, [fynjyuhbujhtyrj@mail.ru](mailto:fynjyuhbujhtyrj@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе описана реализация разработки технологического процесса с необходимым обеспечением для изготовления детали элерон на вертикально-фрезерном 5 координатном Micron UCP 800 с мощностью двигателей главного привода N=39 кВт. Для обработки применяется универсальное приспособление с использованием магнитной плиты.

**Ключевые слова:** Micron UCP 800, магнитная плита, элерон.



# IMPLEMENTATION OF PROCESS DEVELOPMENT WITH THE NECESSARY SOFTWARE TO MANUFACTURE THE PART AILERON

A.A. Grigorenko, P.Yu. Lomov  
Ryazan state radio engineering university  
Ryazan, [fynjyuhbujhtyrj@mail.ru](mailto:fynjyuhbujhtyrj@mail.ru)

*Abstract.* This paper describes the implementation of process development with the necessary software to manufacture the part, the Aileron on vertical milling coordinate 5 Micron UCP 800 engine power main drive N=39 kW. For processing a flexible device using a magnetic plate.

*Keywords:* Micron UCP 800, magnetic plate, aileron

## 1. Введение

Элерон установлен на отсеке хвостовом и является одним из элементов корректировки полета изделия. Для детали применен материал – сплав титановый BT14. Титановый сплав BT14 имеет следующие преимущества: а) широко доступен и сравнительно дешев б) с увеличением содержания алюминия повышается жаропрочность д) алюминий повышает модуль упругости. BT14 характеризуется лучшей технологической пластичностью в отожженном состоянии, высокой прочностью, способностью к термическому упрочнению закалкой и старением. Характеристика технологичности включает в себя 1) конструкция детали не обладает достаточной жёсткостью, следовательно при обработке стоит избегать перегибов и деформирования детали, для этого стоит предусмотреть специальные механизмы для закрепления 2) в качестве основной технологической базы используются плоскости, благодаря чему соблюдается принцип единства баз, следовательно, повышается точность обработки 3) так как деталь не имеет полузакрытых и сложных форм поверхностей, то подвод и отвод инструментов осуществляется довольно просто 4) для обработки данной детали возможно применение прогрессивных и высокопроизводительных методов обработки и современного технологического оборудования

## 2. Принцип изготовления детали

В настоящее время в машиностроении одним из конкурентных факторов стала способность фирмы изготавливать уникальное, зачастую повышенной сложности деталей. Внедрение компьютеризации позволяет повысить гибкость производства и внести в мелкосерийное производство черты поточного производства.

Метод изготовления заготовки выбираем поковку 2 группы (рис. 1), что существенно позволяет повысить КИМ до 30% в сравнении с заготовками других типов.

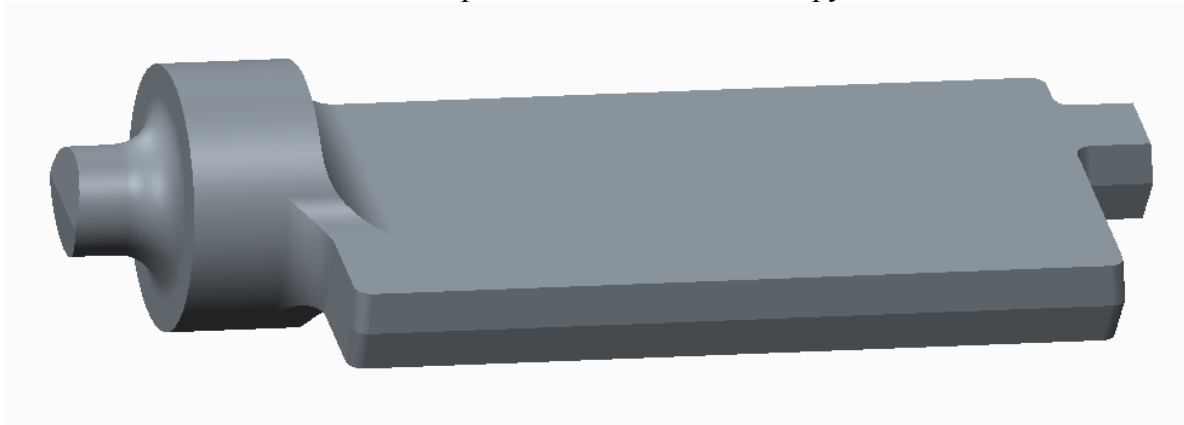


Рис. 1. Заготовка поковка 2 группы

Обработка всей детали происходит на вертикально-фрезерном 5 координатном Micron UCP 800 с большой подачей СОЖ. Станок осуществляет обработку с помощью числового программного управления. Была разработана имитация обработки в программной среде Vericut (рис. 2), которая дала четкое понимание и визуализацию процесса.

Проектирование многостаночного приспособления на основе магнитной плиты (рис. 3). Оно обеспечивает постоянную силу зажима и позволяет значительно сократить вспомогательное время и, следовательно, повысить производительность труда. Магнит-

ная плита дает усилие на одном прижиге равное 68,5 кг, что полностью удовлетворяет требованиям ко всем операциям с использованием приспособления.

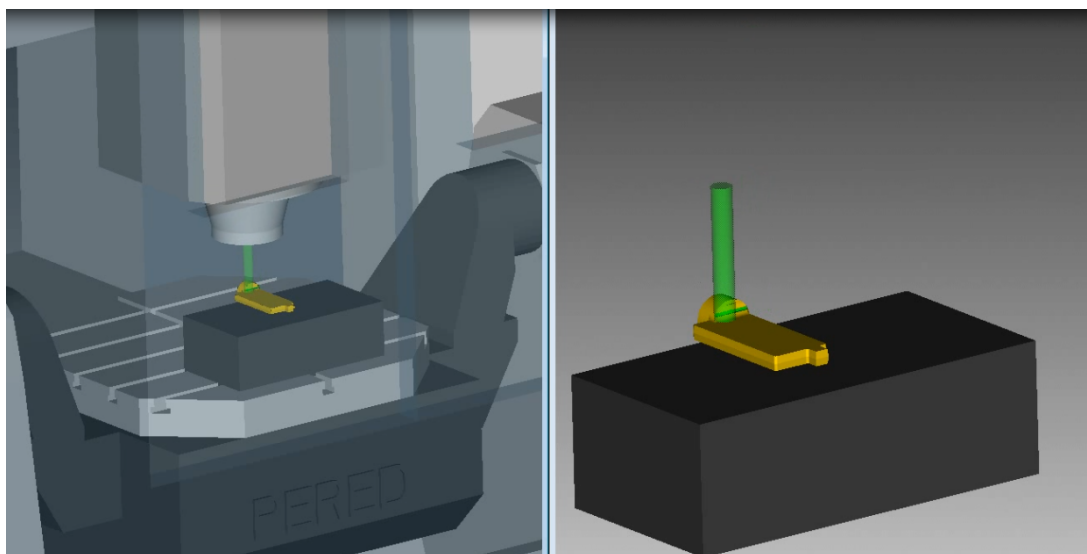


Рис. 2. Процесс обработки элерона в программной среде Vericut

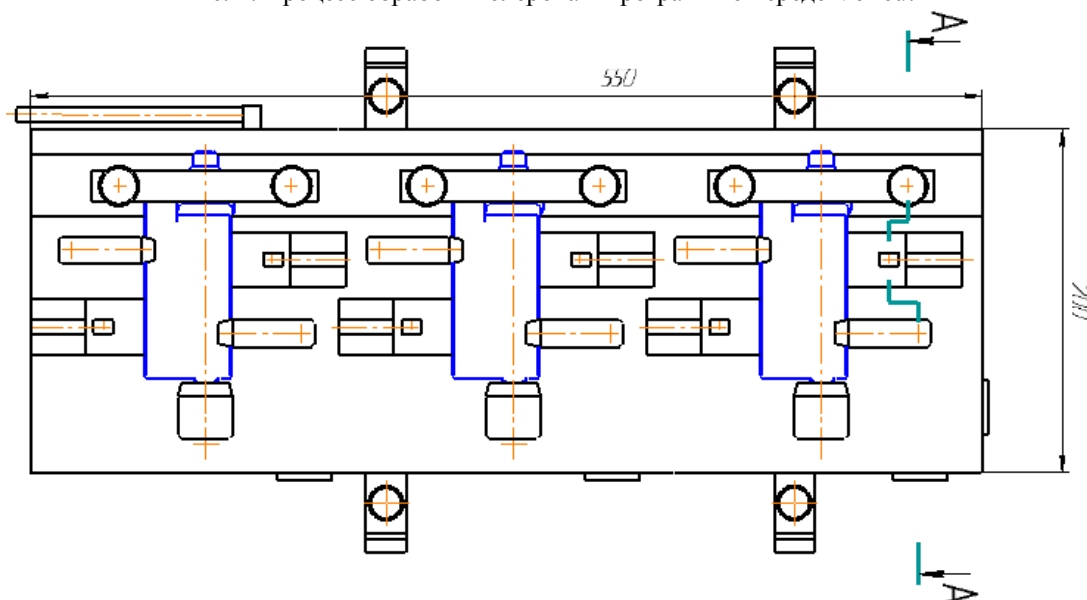


Рис. 3. Многоместное станочное приспособление на основе магнитной плиты

### Заключение

Данная разработка технологического процесса работ освещает основные задачи, принципы и методы, использующиеся для ускорения процесса подготовки производства на основе применения средств электронно-вычислительной техники и средств программного обеспечения, графических сред и сред программирования, что позволяет создать непрерывный автоматизированный цикл подготовки производства. Разработанный технологический процесс операции в котором преимущественно выполняются на одном станке, что позволило обрабатывать деталь более точно и экономно по времени и силе. При разработке технологического процесса был применен станок вида: 5 координатный Micron UCP 800. При использовании станка были применены специальные и универсальные приспособления. Было спроектировано станочное приспособления для обработки, оснащенное магнитной плитой.

### Библиографический список

1. Корсаков В.С. "Основы конструирования приспособлений", Москва, "Машиностроение", 1983 г.
2. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К., "Справочник технолога-машиностроителя" Том 2.- М.: Машиностроение, 1985 г.

3. Климов В. И., Лернер А. С., Пекарский М. Д., Смирнов Л. Н., Шлеймович М. А., “Справочник инструментальщика – конструктора”. Второе дополненное и переработанное издание.- М.: Свердловск, Машгиз, 1958 г.
4. Косилова А. Г., Мещерякова Р.К., “Справочник технолога-машиностроителя” Том 1.- М.: Машиностроение, 1985 г.
5. Терликова Т.Ф. “Основы конструирования приспособлений”, Москва, ”Машиностроение”, 1980 г.

УДК 658.5; ГРНТИ 55.49.07

## **РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С НЕОБХОДИМЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ОСНОВАНИЕ**

**П.Ю. Ломов, А.А. Григоренко**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
г.Рязань, [molpl@yandex.ru](mailto:molpl@yandex.ru)*

*Аннотация.* В данной работе описана реализация разработки технологического процесса с необходимым обеспечением для изготовления детали основание на вертикально-фрезерном 5 координатном Sprint MCV1000 с мощностью двигателей главного привода N=35 кВт. Для обработки применяется приспособление, которое обеспечивает постоянную силу зажима и позволяет значительно сократить вспомогательное время и, следовательно, повысить производительность труда.

*Ключевые слова:* Sprint MCV1000, основание.

## **IMPLEMENTATION OF PROCESS DEVELOPMENT WITH THE NECESSARY SOFTWARE TO MANUFACTURE THE PART BASE**

**Y. P. Lomov, A. A. Grigorenko**

*Ryazan state radio engineering University,  
Ryazan, [molpl@yandex.ru](mailto:molpl@yandex.ru)*

*Abstract.* This paper describes the implementation of process development with the necessary software to manufacture the part base is vertically-milling 5 Sprint MCV1000 coordinate with the engine power main drive N=35 kW. For is a device that provides constant clamping pressure and significantly reduces the auxiliary time and therefore increase productivity.

*Keywords:* Sprint MCV1000, base.

### **1. Введение**

Основание У.04.10.205 входит в состав узла рулевого управления. И в состав каркаса механизма рулевого управления. Тем самым являясь связующим элементом между корпусом и крылом. Во время эксплуатации деталь подвергается высоким термическим и динамическим нагрузкам.

Деталь изготовлена из сплава алюминиевого АМГ6 ГОСТ 4784-97. АМГ6 - это магналий высокой пластичности, но средней прочности. Он обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резанием и хорошо обрабатывается давлением. Однако, в ряду прочих широко известных магналиев этот сплав занимает первое место по прочности и твёрдости, но последнее место по коррозионной стойкости и последнее место по пластическим свойствам. Хотя он хорошо сваривается, но сварной шов АМГ6 более пористый чем у того же АМГ3 и часто требует дополнительной обработки. Это один из самых лёгких сплавов алюминия с плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup>. Характеристика технологичности включает в себя 1) конструкция детали не обладает достаточной жёсткостью, следовательно при обработке стоит избегать перегибов и деформирования детали, для этого стоит предусмотреть специальные механизмы для закрепления 2) в качестве основной технологической базы используются плоскости, благодаря чему соблюдается принцип единства баз, следовательно, повышается точность обработки 3) так как деталь не имеет полузакрытых и сложных форм поверхностей, то подвод и отвод инструментов осуществляется довольно просто 4) для обработки данной детали возможно применение прогрессивных и высокопроизводительных методов обработки и современного технологического оборудования

### **2. Принцип изготовления детали**

В настоящее время в машиностроении одним из конкурентных факторов стала способность фирмы изготавливать уникальное, зачастую повышенной сложности деталей. Вне-

дрение компьютеризации позволяет повысить гибкость производства и внести в мелкосерийное производство черты поточного производства.

Метод изготовления заготовки выбираем горячую штамповку (рис. 1), что существенно позволяет повысить КИМ до 35% в сравнении с заготовками других типов.

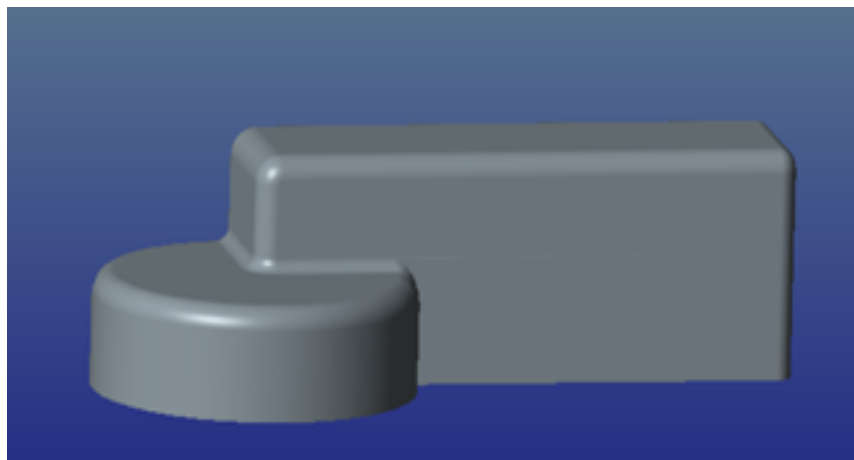


Рис.1. Заготовка горячая штамповка

Обработка всей детали происходит на вертикально-фрезерном 5 координатном Sprint MCV1000 с большой подачей СОЖ. Станок осуществляет обработку с помощью числового программного управления. Была разработана 3D модель данной детали в программной среде PTC Creo Parametric 3.0 (рис. 2).



Рис. 2. 3D модель детали

Было спроектировано станочное приспособление (рис. 3).

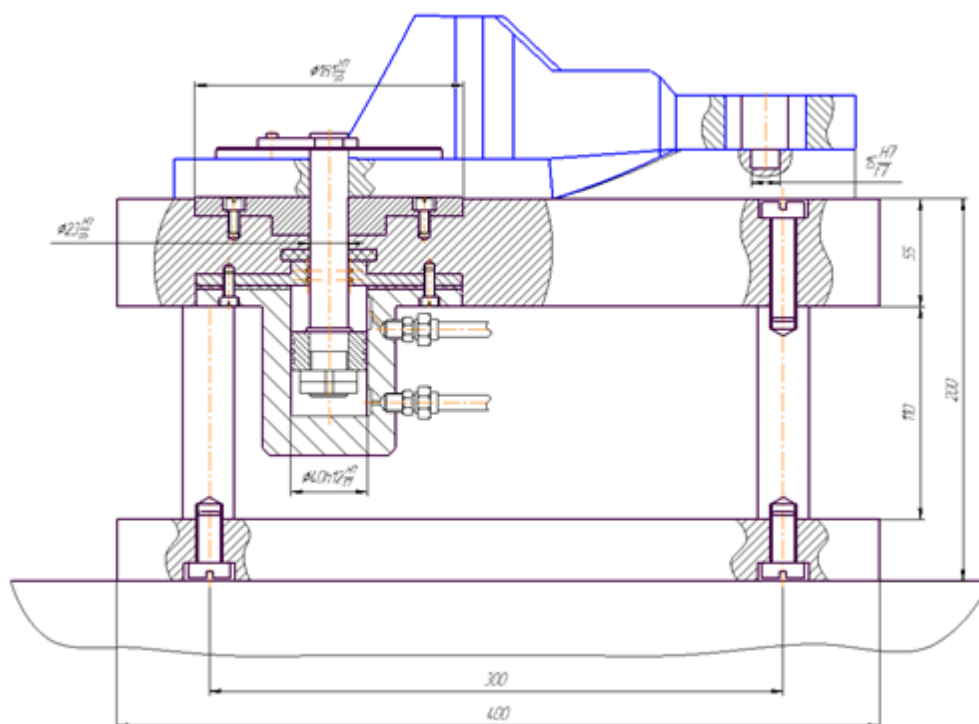


Рис. 3. Станочное приспособление с закрепленной деталью

### Заключение

Данная выпускная квалификационная работа освещает основные задачи, принципы и методы, используемые для ускорения процесса подготовки производства на основе применения средств электронно-вычислительной техники и средств программного обеспечения, графических сред и сред программирования, что позволяет создать непрерывный автоматизированный цикл подготовки производства, включающий в себя путь от конструкторского замысла до получения полного комплекта технологической документации на данную деталь.

Длительность такого цикла в десятки, а то и сотни раз меньше времени, затрачиваемого на процесс подготовки производства обычными средствами и методами, а следовательно снижаются и материальные затраты.

С целью достижения поставленных задач было разработано станочное приспособление; концевая фреза; произведен расчет технико-экономических показателей.

В данной работе был спроектирован ТП изготовления детали Основание. В технологическом процессе применяется станок с ЧПУ Sprint MCV1000, быстродействующие оснастки, что позволило обрабатывать деталь более точно и экономно по времени и силе, по сравнению с обычными станками

### Библиографический список

1. Климов В. И., Лернер А. С., Пекарский М. Д., Смирнов Л. Н., Шлеймович М. А., "Справочник инструментальщика – конструктора". Второе дополненное и переработанное издание.- М.: Свердловск, Машгиз, 1958 г.
2. Косилова А. Г., Мещерякова Р.К., "Справочник технолога-машиностроителя" Том 1.- М.: Машиностроение, 1985 г.
3. Макаровичина Т. С., "Экономика производства в дипломных проектах по специальности ТМС".- Коломна, 2006 г.
4. Косилова А. Г., Мещерякова Р. К., "Справочник технолога-машиностроителя" Том 2.- М.: Машиностроение, 1985 г.
5. Виноградов Б. В., "Безопасность труда и производственная санитария в машиностроении".- Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963г.
6. Корсаков В.С. "Основы конструирования приспособлений", Москва, "Машиностроение", 1983 г.

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОРРЕКЦИИ НА РАДИУС ДЛЯ ТОРЦЕВЫХ ФРЕЗ

Н.В. Грибов\*, О.В. Миловзоров\*\*

\*Рязанский институт (филиал), Университета машиностроения,  
Россия, Рязань

\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, milovzorov\_542@inbox.ru

*Аннотация.* Рассмотрены подходы к разработке управляющей программы для фрезерования плоскости торцевой фрезой на станках с ЧПУ, оснащенных системой Fanuc-0i.

*Ключевые слова:* фрезерование плоскости, торцевые фрезы, система ЧПУ Fanuc-0i, коррекция на радиус инструмента, управляющая программа

## CONCEPTUAL DESIGN OF MILLING OPERATIONS WITH APPLICATION OF CORRECTION ON RADIUS FOR FACE MILLS

N.V. Gribov\*, O.V. Milovzorov\*\*

\*Ryazan Affiliation Institute of Machinery University,  
Russia, Ryazan

\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, milovzorov\_542@inbox

*Abstract.* Approaches to development of the NC program for milling of the plane by a face mill on CNC machine tools with system Fanuc-0i are considered.

*Keywords:* milling of a plane, face mills, CNC system Fanuc-0i, correction on radius, NC program

Обработка на фрезерных станках плоских поверхностей осуществляется торцевыми фрезами. Номенклатура используемого инструмента, в процессе фрезерования деталей, имеет следующий стандартный ряд значений диаметров в миллиметрах 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 315 и т.д. Фрезерование, как правило, выполняется в несколько проходов, что обусловлено невозможностью применения инструмента, диаметр которого больше ширины фрезеруемой поверхности. Причина этого кроется в особенностях асинхронных двигателей с частотным регулированием (АДЧР), которые в последнее время стали широко использоваться в металлорежущих станках. Для обеспечения оптимальной скорости резания фрезами больших диаметров необходимо снижение частоты вращения. Так, например, для фрезы диаметром 200 мм для обеспечения скорости резания 125 м/мин уже необходима частота в 200 об/мин. При этом у двигателей АДЧР на низких частотах вращения, наблюдается участок, на котором мощность падает линейно вместе со снижением частоты вращения, начиная с частоты  $n_{\text{ном}}$  (рис. 1, участок 1).

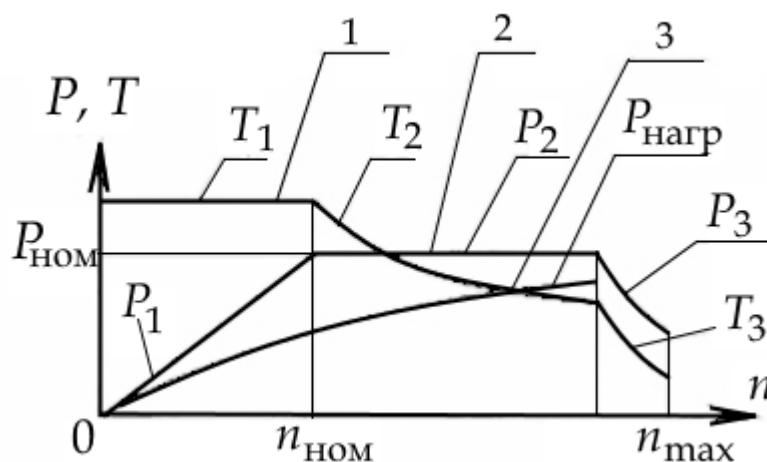


Рис. 1. Зависимости мощности  $P$  и вращающего момента  $T$  в зависимости от частоты вращения асинхронного двигателя с частотным регулированием: 1 – участок постоянного вращающего момента; 2- участок постоянной мощности; 3- участок снижения мощности и вращающего момента [1]

Данная проблема является общей практически для всех современных станков. Стремление повысить энергоэффективность металлорежущих станков привело к повсеместному применению двигателей АДЧР. Отметим, что данная проблема не существовала для станков с ЧПУ предыдущих поколений, где низкие частоты вращения обеспечивались ступенчатой коробкой скоростей. В современных же станках все чаще применяются двигатели АДЧР, которые обеспечивают необходимую мощность резания на средних частотах, и которой вполне достаточно для операций сверления, фрезерования и расточки инструментами малых и средних диаметров. Однако при использовании инструментов большого диаметра, таких, например, как резцовые головки и уже упомянутые торцевые фрезы, могут возникать проблемы.

Проектирование управляющей программы на основе современных САМ-систем осуществляется на основе типовых стратегий обработки типовых поверхностей таких, как «плоскость», «карман», «контур» и т.д. Типовой траекторией обработки плоскостей, реализованной практически во всех САМ-системах фрезерной обработки, является траектория «зигзаг». Данный вид траектории предназначен, главным образом, для обработки открытых плоских поверхностей с возможностью вывода инструмента за пределы обрабатываемой плоскости на том же уровне Z (рис. 2) на той же рабочей подаче и быстрым перемещением за пределами обрабатываемой плоскости.

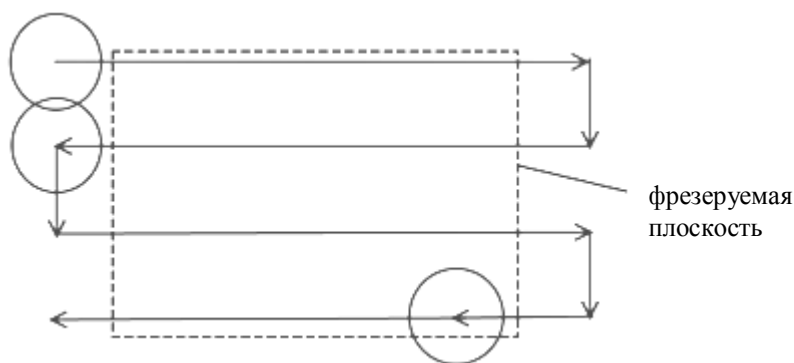


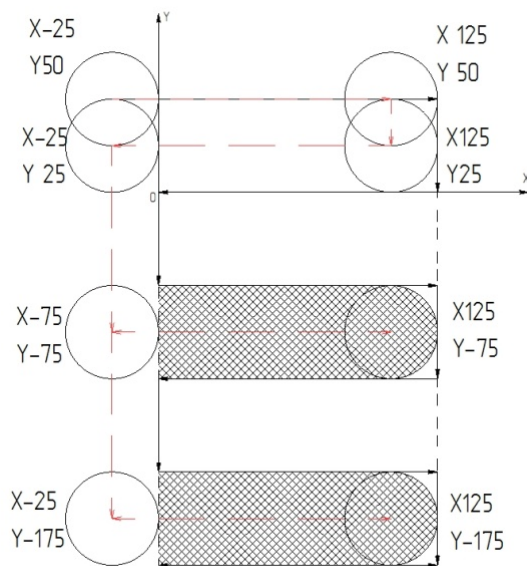
Рис.2. Типовая стратегия «зигзаг» обработки плоских открытых поверхностей

Этот вид траектории стал основой и для станков с ЧПУ, оснащенных 3D-системами ЧПУ. Чтобы не привязывать траекторию перемещения к конкретному диаметру инструмента, системы ЧПУ предусматривают использование коррекции на радиус инструмента, что позволяет повысить универсальность управляющей программы. Следовательно, необходимо учитывать особенности коррекции на радиус инструмента при смене направления траектории. Дополнительной сложностью при разработке управляющих программ для конкретных систем ЧПУ является скрытый от пользователя математический аппарат системы, реализующий механизмы интерполяции и экстраполяции, заключающийся в учете и соответствующей интерпретации кадров управляющей программы, следующих за рабочим. В [3-4] рассматривались вопросы обработки многогранников торцевыми фрезами на станках с ЧПУ, оснащенных системой Fanuc Series 0i – MC, и выявления особенностей интерпретации данной системой геометрической информации, содержащейся в последующих кадрах управляющей программы.

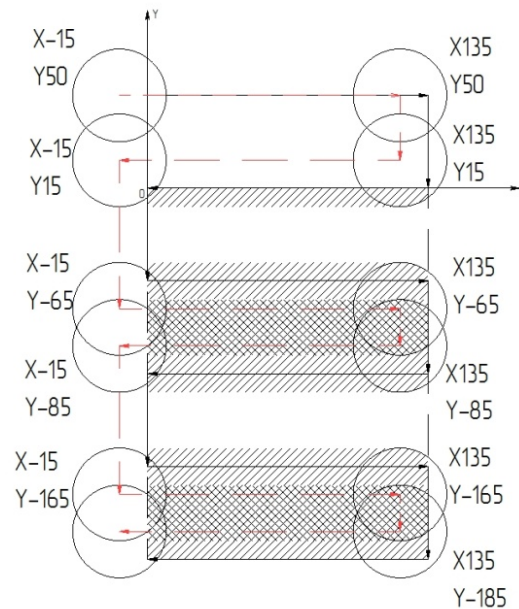
Рассмотрим реализацию обработки плоскости размером 200 мм на 150 мм на фрезерном станке с системой ЧПУ Fanuc Series 0i - MC. При разработке и реализации технологических процессов чрезвычайно важно формирование управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ с наименьшим количеством холостых перемещений, или их полным отсутствием. Рассмотрим зигзагообразную траекторию и покажем это на примере УП:

N010 G40 G49 G80 (Плоскость 150x200 – 150 по X, 200 по Y);  
 N020 T1M6 (Фреза торцевая);  
 N030 G0 G59 G90 X-50 Y50;

N040 G43 Z50 H52;  
 N050 Z0;  
 N060 X-45;  
 N070 G1 G42 X80 D52 F2000;  
 N080 Y0;  
 N090 X0;  
 N100 Y-50;  
 N110 X150;  
 N120 Y-100;  
 N130 X0;  
 N140 Y-150;  
 N150 X150;  
 N160 Y-200;  
 N170 X-50;  
 N180 G0 Z200;  
 N190 G40 X0 Y110;  
 N200 G28 X-10 Y120;  
 N210 M30;



a)



б)



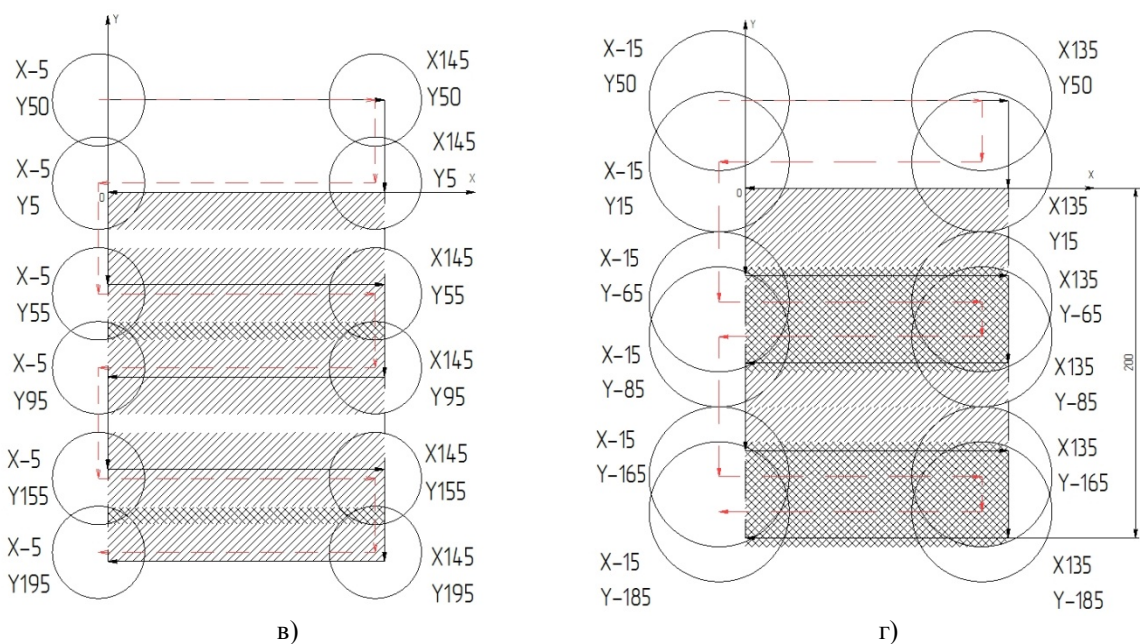


Рис. 3. Траектория перемещения инструмента

В управляющей программе перемещение по координате  $Y$  взято равным 50 мм, что позволяет использовать минимальный радиус фрезы 25 мм. Однако при введении в таблицу корректоров радиуса инструмента, равного  $Y/2$ , из-за особенностей математического обеспечения при включении коррекции G42 фреза будет располагаться всегда справа от детали. Следовательно, при изменении направления подачи по координате  $X$  с права на лево и наоборот инструмент будет занимать положение выше или ниже относительно оси  $X$ . Если уменьшить численное значение коррекции на радиус инструмента, оставив физический размер фрезы тот же, то возможно уменьшить ширину необработанных участков (рис. 3, б,в). При физическом значении  $R_f = Y/2$  добиться полной обработки не возможно.

Для исключения необработанных участков можно использовать фрезу диаметром больше  $Y/2$  (рис. 3, г). Например,  $\varnothing 63$  мм или  $\varnothing 80$  мм. Однако необходимо помнить, что величина коррекции на радиус инструмента, вводимая в таблицу корректоров, не должна превышать половину смещения по координате  $Y$ , а необработанные участки можно устранить эмпирическим подбором численного значения коррекции, вводимого в таблицу станка.

Покажем на рисунке 4 траекторию перемещения инструмента при его движении без смены положения относительно оси  $X$ . Такой подход применяют при написании управляющей программы для обработки контуров.

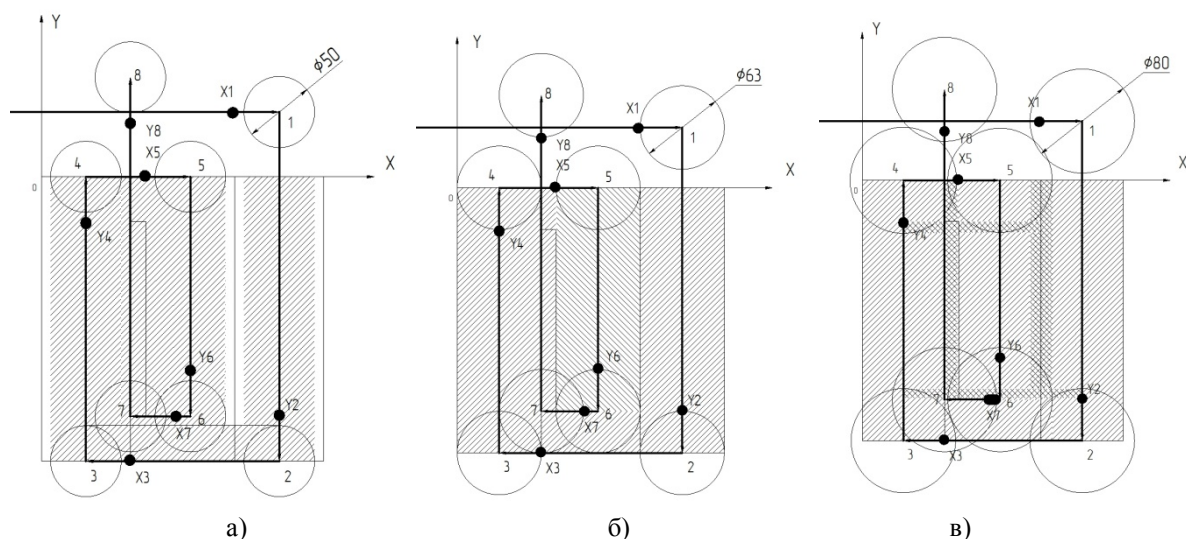


Рис. 4. Обработка контура

Из рисунка 4, а видно, что если для реализации рабочего хода смещение по оси Х (расстояние между точками 1 и 5) меньше диаметра фрезы, то остается необработанным участок поверхности детали. Если диаметр фрезы больше, чем смещение, то участки перекрываются (рис. 4, в), как было отмечено выше, смещения не привязывают к радиусу конкретного инструмента. Следовательно, необходимо ориентироваться на минимальный диаметр используемой торцевой фрезы. Тогда программа получится универсальной, т.к. появится возможность применения фрез большего радиуса.

**Выводы.** Разработаны практические рекомендации по проектированию высокопроизводительных операций фрезерования торцевыми фрезами с применением коррекции на радиус на станках с ЧПУ, оснащенных системой Fanuc-0i.

### **Библиографический список**

1. Скоростная и силовая характеристики двигателей. – Режим доступа: <http://vikidalka.ru/1-131563.html>.
2. Руководство по эксплуатации системы ЧПУ. Серия FANUC 0i Mate-MC.
3. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Седых А.В. Особенности программирования системы ЧПУ Fanuc- 0i при фрезеровании плоскостей торцевыми фрезами/ материалы XIV Межвузовской научно-технической конференции «Новые технологии в учебном процессе и производстве», посвященной 60-летию института. Под редакцией Платонова А.А., Бакулиной А.А.. 2016. С. 486-490.
4. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности работы системы ЧПУ FANUC-0I для фрезерных станков при обработке торцевыми фрезами/ Материалы международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании»: в 4 томах, том 1, Рязань, РГРТУ, 2 – 4 марта 2016 г., с. 283-287.

## СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УДК 547-3;54.084; ГРНТИ 61.51.31

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ

А.А. Гришина\*, А.В. Резников\* Я.В. Дёмочкина\*\*, М.В. Лызлова\*\*

\* РН-Смазочные материалы,

Россия, Рязань, aagrishina@rosneft.ru, AVReznikov@rosneft.ru

\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, dyomochkina.yana@bk.ru, mvlsid@rambler.ru

**Аннотация.** Рассматривается метод ИК-спектроскопии для определения группового состава индустриальных смазочных масел марки ИГП.

**Ключевые слова:** индустриальное масло, присадки, показатели качества, метод инфракрасной спектроскопии, ИК-Фурье спектрометр, ИК-спектры поглощения.

### THE STUDY OF THE STRUCTURAL FEATURES OF INDUSTRIAL OILS BY INFRARED SPECTROMETRY

A.A. Grishina\*, A.V. Reznikov\*, Y.V. Dyomochkina\*\*, M.V. Lyzlova\*\*

\* RN Lubricants,

Russia, Ryazan, aagrishina@rosneft.ru, AVReznikov@rosneft.ru

\*\* Ryazan State Radio Engineering University,

Ryazan, Russia, dyomochkina.yana@bk.ru, mvlsid@rambler.ru

**Abstract.** The IR-spectroscopy method for definition of group composition of industrial grease oils of the IGP brand is considered

**Keywords:** industrial oil, additives, quality indicators method infrared spectroscopy, Fourier infrared spectrometer, infrared absorption spectra.

В настоящее время инфракрасная (ИК) спектрометрия с успехом применяется в химико-технологических исследованиях при производстве смазочных материалов, так как является прекрасным экспресс-методом идентификации, качественного и количественного анализа органических соединений различной химической структуры и назначения.

Целью работы является изучение структурных особенностей соединений, входящих в состав индустриальных масел для гидравлических приводов (ИГП), с помощью ИК-спектроскопии. Индустриальные масла для гидравлических систем широко применяются в качестве рабочей жидкости в гидравлических системах автоматических линий, металлорежущих станков, прессового и другого промышленного оборудования. При этом, самым распространенным типом рабочих жидкостей являются масла на нефтяной (минеральной) основе. Известно, что минеральные смазочные масла представляют собой сложную смесь высококипящих углеводородов, высокомолекулярных (с числом углеродных атомов 20-60, молярной массы 300-750) нормальных и изопарафиновых, нафтеновых, ароматических и гетероциклических углеводородов, содержащих кислород, серу и азот. От группового состава зависят эксплуатационные свойства смазочных материалов [1,2].

Приготовление масел необходимого качества производится смешением базового масла, полученного очисткой прямогонных масляных фракций от нежелательных компонентов и имеющего определенную вязкость, и присадок, обеспечивающих выполнение основных требований к эксплуатационным свойствам индустриальных масел, таких как устойчивость против окисления молекулярным кислородом, вязкость и ее изменение в зависимости от температуры, подвижность при низких температурах. Осуществляют процесс в мешалках, оснащенных устройствами для нагрева компонентов и их перемешивания. В мешалку закачивается расчетное количество масляных компонентов, обычно средневязких и высоковязких базовых масел, температуру поднимают до 65-75 °С, добавляют присадки и продолжают перемешивание 2-3 часа до достижения однородности продукта. Отстоявшееся в течение 2-х часов масло отбирают на лабораторный анализ, при проведении которого определяют основные показатели качества масел, приведенные ниже в таблице 1 [1].

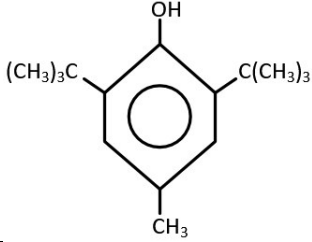
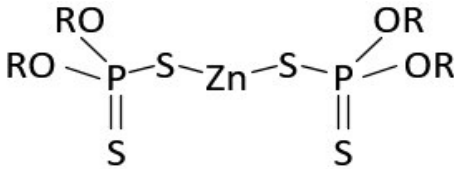
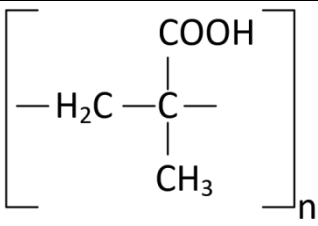
В смазочное масло марок ИГП в большинстве случаев добавляют не одну, а несколько присадок, каждая из которых имеет специфический химический состав и структуру и влияет на свойства получаемого масла. Характеристика присадок для приготовления масла

ИГП приведена ниже в таблице 2 [1,2]. Текущий контроль за процессом смешения осуществляют по определению кинематической вязкости и кислотного числа получаемого продукта. Изменение этих показателей по сравнению с исходным базовым маслом непосредственно связано с вводимыми присадками. Контролировать наличие в масле присадок также можно с помощью метода ИК-спектрометрии.

Таблица 1 - Физико-химические показатели качества масел ИГП

Показатели	ИГП-18	ИГП-30	ИГП-38	ИГП-49
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	880(885)	885	890	895
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	24-30	39-50	55-65	76-85
Индекс вязкости, не менее	90	90	90	90
Температура, °С				
- вспышки в открытом тигле, не ниже	180	200	210	215
- застывания, не выше	-15	-15	-15	-15
Массовая доля, %				
- цинка, не менее	0,04	0,04	0,04	0,04
- серы, не более	1,0	1,0	1,0	1,0
Цвет, ед. ЦНТ, не более	3,0	3,5	4,0	5,0
Склонность к пенообразованию, стабильность пены, см <sup>3</sup> , не более:				
при 24 °С	50/5	50/5	50/5	50/5
при 94 °С	50/5	50/5	50/5	50/5

Таблица 2 - Характеристика присадок для приготовления масла ИГП

АГИДОЛ-1 антиокислительная присадка	25 %-ный раствор в средневязком масляном компоненте 4-метил-2,6-дитретичного бутилфенола, полученного алкилированием фенола изобутиленом	
ДФ-11, А-22 противоизносная и антикоррозионная присадка	50 %-ный раствор в минеральном масле диалкилдитиофосфата цинка, полученного на основе изобутилового и 2-этилгексилового спиртов	
ПМА «Д» депрессорная присадка	30-40%-ный раствор в индустриальном масле полиметакрилата, полученного методом полимеризации эфиров метакриловой кислоты и высших жирных спиртов фракции C <sub>12</sub> - C <sub>18</sub>	

Метод ИК-спектрометрии основан на изучении молекулярных спектров, образующихся при воздействии инфракрасного излучения с длинами волн от 0,5 до 1000 мкм на образец и характеризующих колебательные и вращательные уровни энергии молекул. В результате колебательный (инфракрасный) спектр молекулы представляет собой ряд пиков (полос поглощения), отвечающих разным колебательным энергетическим переходам. Это поглощение носит селективный характер и происходит на тех частотах, которые совпадают с некоторыми собственными частотами колебаний атомов в молекулах вещества и с частотами вращения молекул как целого [3,4].

В настоящей работе исследование ИК-спектров поглощения проводилось для масел ИГП-18, ИГП-30, ИГП-38, ИГП-49 на ИК-Фурье спектрометре компании Perkin Elmer, оптическая схема которого приведена на рисунке 1. Инфракрасное излучение, испускаемое источником (например, SiC глобаром), направляется в интерферометр, состоящий из системы зеркал для создания узкого источника света. Затем свет проходит через кюветное отделение, в котором устанавливается жидкостная ИК-кювета с окном из ZnSe с примерно 5 мл масляного образца, и фокусируется на детекторе. Сигнал регистрируется на детекторе и отображается в виде интерферограммы или ИК-спектра. В современных приборах ИК спектр определяется сканированием по сдвигу фаз между двумя частями разделенного светового пучка (Фурье- спектрометрия). Этот метод дает значительный выигрыш в фотометрической точности и точности отсчета длины волны.

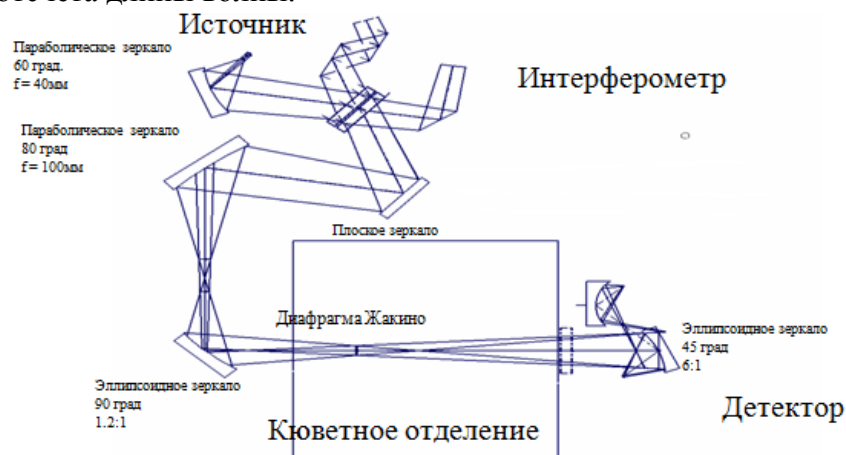


Рис. 1. Оптическая схема ИК-Фурье спектрометра компании Perkin Elmer

Полученные для промышленных масел ИК-спектры (ИГП-18 - на рисунке 2), представляют собой зависимость процентов поглощения от длин волн, выраженных в обратных сантиметрах. Характеристичность колебаний различных групп органических соединений позволяет их идентифицировать по пикам поглощения на спектре. Для этого рассматривают области валентных и деформационных колебаний простых и кратных связей. Полученные пики на ИК-спектре сравнивают с экспериментальными данными по ИК-спектрам поглощения органических соединений [5].

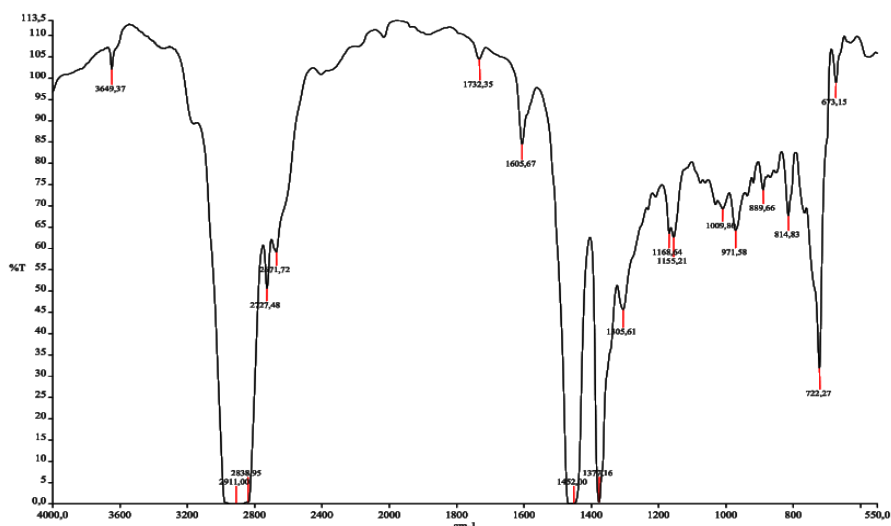


Рис. 2. ИК- спектр масла ИГП-18

Анализ полученных спектров поглощения промышленных масел ИГП, представленный в таблице 3, показал, что в анализируемых образцах присутствуют:

1) Гидроксильные группы в фенолах, в первичных, вторичных и третичных спиртах, причем, пик соединения ароматического кольца с гидроксильной группой говорит о наличии в масле антиокислительной присадки «Агидол-1»;

2) Карбоксильные группы, характеризующие содержание депрессорной присадки «ПМА «Д»», предназначенной для понижения температуры застывания, повышения вязкости и индекса вязкости;

3) Тиофосфатные группы в составе диалкилдитиофосфата цинка, входящие в присадку «ДФ-11», улучшающую антиокислительные, противоизносные и антикоррозионные свойства;

4) Алканы изомерного и нормального строения и циклоалканы, ароматические углеводороды с заместителями в 1,3-, 1,2,3-, 1,3,5-, 1,2-, и 1,2,4-положениях и азотсодержащие соединения в виде солей аминов, характеризующие углеводородный состав базового масла.

Таблица 3 - Спектральные диапазоны функциональных групп

Группа	Диапазон, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$	Пик, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$ ИГП -18	Пик, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$ ИГП- 30	Пик, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$ ИГП-38	Пик, $\nu$ , $\text{см}^{-1}$ ИГП-49	Примечание
Ароматические соединения	1625-1575	1605,67	1605,49	1605,53	1605,35	Базовое масло
Гидроксильная группа в фенолах	3670-3580	3649,37	3649,04	3649,22	3648,85	«Агидол-1»
Карбоновые кислоты	1760-1720	1732,35	-	1731,45	-	«ПМА «Д»»
Тиофосфаты -P=S	840-600	673,15	673,09	672,84	673,07	«ДФ-11»
Соли аминов $-\text{NH}_2^+$ или P-O-N	2700-2250	2671,72	2672,57	2672,53	2673,12	Базовое масло
Алканы $-\text{CH}_2-$	2940-2915 1480-1440	2911,00 1452,00	2911,00 1452,50	- -	- 1464,77	Базовое масло
Алканы, цикло-алканы - $(\text{CH}_2)_n-$	750-720	722,27	722,18	722,20	722,15	Базовое масло
$-\text{CH}_3$	1385-1370	1377,16	1377,10	1376,99	1377,10	Базовое масло
Спирты первичные, вторичные, третичные	1350-1260	1305,61	1305,82	1305,44	1305,86	Базовое масло
Соли жирных кислот	1420-1300	1305,61	1305,82	1305,44	1305,86	Базовое масло
Замещенные арены - 1,3-, 1,2,3- и 1,3,5- - 1,2-, 1,2,3- и 1,2,4- - 1,2,3- и 1,3,5- - 1,3,5-	1175-1125 1000-960 900-860 865-810	1168,64 971,58 889,66 814,83	- 972,26 889,38 814,85	- 972,61 889,85 814,94	- 972,70 889,29 814,83	Базовое масло

## Выводы

В заключении хочется отметить, что ИК-спектр, как «отпечаток пальца у человека», служит надежным средством для идентификации вещества. Рассмотренный подход при изучении методов определения структурных особенностей масел ИГП на примере ИК-спектроскопии позволяет определить групповой состав масла, так как положение полос поглощения и их взаимная интенсивность специфичны для каждого индивидуального вещества. А это, в свою очередь, дает возможность определить, какие и в каком количестве присадки добавлены в масло. Использование метода инфракрасной спектроскопии при анализе масел, в свою очередь, позволит прогнозировать свойства получаемых в процессе смешения масел и вносить необходимые изменения в технологию приготовления масла, не дожидаясь результатов лабораторного анализа.

## Библиографический список

1. Школьников В.М. Топливо. Смазочные материалы. Технические жидкости. – М.: Изд. центр «Техинформ» Международной академии информатизации, 1999. – 271 с.

2. Школьников В.М. Горючие смазочные материалы. Энциклопедический толковый словарь – справочник. – М.: Изд. центр «Техинформ» Международной академии информатизации, 2010. – 576 с.
3. Кросс А. Введение в практическую инфракрасную спектроскопию. – М.: Изд. Иностранной литературы, 1961. – 110 с.
4. Кендалл Д. Прикладная инфракрасная спектроскопия. – М.: Изд. Мир, 1970. – 376 с.
5. Казицына Л.А., Куплецкая Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. Учеб. пособие для вузов. – М.: «Высш. Школа», 1971. – 264 с.

УДК 665.6.7; ГРНТИ 61.51.21

## **РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ SMATH STUDIO**

**В.В. Коваленко, Н.Ю. Кулавина, Г.А. Шашкина, К.А. Булекова, Н.М. Рыжов**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, vikvaskov@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе на примере установки атмосферной перегонки нефти по схеме двукратного испарения описана реализация расчета материального баланса и потоков модели ХТС. Рассмотрено построение технологической и структурной схем, представлена математическая модель, выполнен расчет потоков и результаты представлены в виде таблиц и диаграмм с применением программ MS Visio, SMath Studio и OO Calc.

*Ключевые слова:* ХТС, СЛАУ, матричный метод, материальный баланс, материальные потоки, технологическая схема, структурная схема

## **THE CALCULATION OF MATERIAL BALANCE OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL SYSTEMS USING THE PROGRAM SMATH STUDIO**

**V.V. Kovalenko, N.U. Kulavina, G.A. Shashkina, K.A. Bulekova, N.M. Ryzhov**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Ryazan, Russia, vikvaskov@mail.ru*

*Abstract.* In this paper, on the example of installation atmospheric distillation of crude oil according to the scheme of double evaporation describes the implementation of calculation of material balance and flows of the model CTS. We consider the construction of technological and structural schemes, the mathematical model, the calculation flow and the results are presented in tables and charts using MS Visio, SMath Studio and OO Calc.

*Keywords:* CTS, SLAE, matrix method, material balance, material flows, technological diagram, block diagram

При проектировании и анализе работы действующего производства возникает необходимость расчета материального баланса. Материальный баланс отражает закон сохранения массы вещества: во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате реакции. Применительно к материальному балансу химико-технологической системы (ХТС) это означает, что масса веществ, поступивших в технологическую систему (приход), равна массе веществ, вышедших из нее (расход) [1].

В данной работе предложено выполнить расчет материального баланса ХТС в программе SMath Studio на примере установки атмосферной перегонки нефти по схеме двукратного испарения [2,3].

Возможность быстро создать технологическую (рис. 1) и структурную (рис. 2) схемы установки дает использование фигур библиотек «Технология» и «Простая блок-схема» программы MS Visio. Технологическая схема установки состоит из двух колонных аппаратов К1 и К2 с холодильниками и сепараторами и печи.

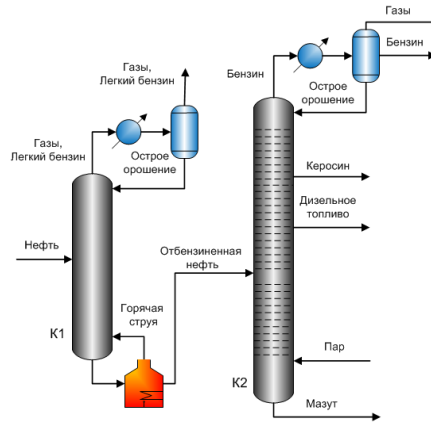


Рис. 1. Технологическая схема установки

Входными потоками установки являются сырье (нефть) и водяной пар, выходными – смесь газов с легким бензином, бензин, керосин, дизельное топливо и мазут. В качестве исходных данных для расчета материального баланса используются расходы входных потоков и процентные соотношения между расходами некоторых потоков.

Для математической постановки задачи разработана структурная схема (рис. 2). Элементы установки, необходимые для расчета материального баланса, представлены в виде блоков, соединенных линиями со стрелками, показывающими направление движения материальных потоков ( $G_1 - G_{15}$ ). Потери системы обозначены буквой Р.

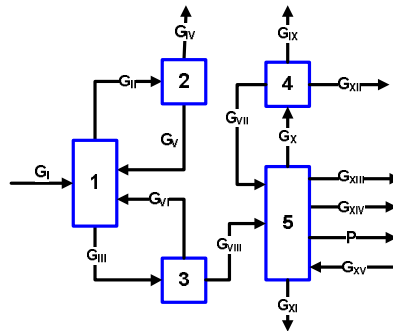


Рис. 2. Структурная схема установки

С учетом связей элементов ХТС составлено математическое описание установки в виде системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} G1:=1470 \\ G1-G2-G3+G5+G6:=0 \\ G2-G4-G5:=0 \\ G3-G6-G8:=0 \\ G7-G9+G10-G12:=0 \\ G7+G8-G10-G11-G13-G14+G15-G16:=0 \\ G2-0,3G1:=0 \\ G5-0,7G2:=0 \\ G6-0,5G3:=0 \\ G7-0,2G10:=0 \\ G12-0,4G10:=0 \\ G10-0,2G8:=0 \\ G13-0,5G8:=0 \\ G14-0,2G8:=0 \\ G15:=100 \\ G16-0,001G1:=0 \end{array} \right.$$

В матричном виде система записывается следующим образом:



где  $A$  – матрица коэффициентов при неизвестных,  $X$  – вектор переменных,  $B$  – матрица свободных членов (рис. 3).

[illegible]

Полученная система линейных алгебраических уравнений решена матричным методом в SmathStudio. Система имеет единственное решение, т.к. определитель матрицы  $|A| \neq 0$ .

$$G_I + G_{I5} = G_4 + G_9 + G_{I1} + G_{I2} + G_{I3} + G_{I4} + P$$

Результаты расчета материального баланса представлены в виде таблицы (таблица 1). Для удобства пользования результаты расчета выражены в процентах, тоннах в год, тоннах в сутки, килограммах в час, килограммах в секунду.

Приход	%	т/год	т/сут	кг/ч	кг/с
G1	93,63	12885,745	35,280	1470,000	0,408
G15	6,37	876,581	2,400	100,000	0,028
Всего приход	100,00	13762,326	37,680	1570,000	0,436
Расход					
G4	8,43	1159,717	3,175	132,300	0,037
G9	6,82	938,082	2,568	107,016	0,030
G11	18,20	2505,339	6,859	285,808	0,079
G12	6,82	938,082	2,568	107,016	0,030
G13	42,60	5863,014	16,052	668,850	0,186
G14	17,04	2345,206	6,421	267,540	0,074
Потери	0,09	12,886	0,035	1,470	0,0004
Всего расход	100,00	13762,326	37,680	1570,000	0,436

Материальный баланс представлен в виде диаграммы, построенной в Open Office Calc (рис. 4).

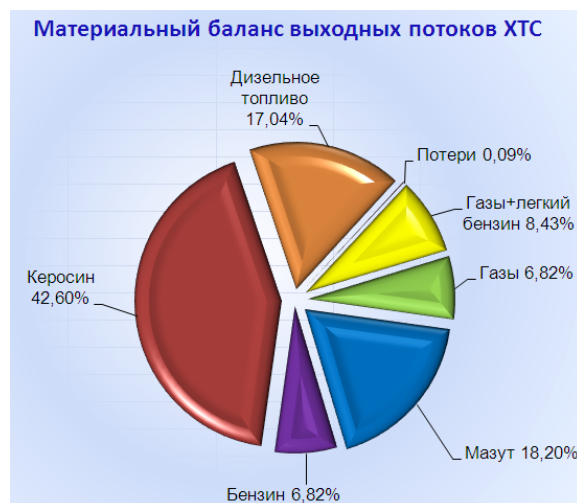


Рис. 4. Диаграмма материального баланса

Предложенная методика расчета позволяет автоматизировать расчет материального баланса и используется в учебном процессе при выполнении лабораторных работ, курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

### Библиографический список

1. Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке. - М.: Химия, 1981.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Уч. пособие для вузов. – Уфа:Гилем, 2002.
3. Глаголева О.Ф., Капустин В.М. Технология переработки нефти. Первичная переработка нефти. Том(часть) 1: учебник. – М.: КолосС, Химия, 2007.

УДК 66-5

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОГРАММЕ SMATH STUDIO

Д.А. Жижнов\*, В.И. Матвей\*\*, М.В. Лызлова\*\*\*, В.В. Коваленко\*\*\*\*

\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [denis.zhizhnov@gmail.com](mailto:denis.zhizhnov@gmail.com),

\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [matvei.nika@yandex.ru](mailto:matvei.nika@yandex.ru),

\*\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [mvlsid@rambler.ru](mailto:mvlsid@rambler.ru),

\*\*\*\*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [vikvaskov@mail.ru](mailto:vikvaskov@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматривается последовательность теплового расчета в программе в SMATH Studio, выбор стандартизованного теплообменника по каталогам теплообменного оборудования на основе расчета поверхности теплообмена.

*Ключевые слова:* теплообменные аппараты, поверхность теплообмена, коэффициенты теплопередачи, теплоотдачи.

## METHOD OF CALCULATION OF THE HEAT TRANSFER SURFACE IN SMATH STUDIO

D.A. Zhizhnov\*, V.I. Matvey\*\*, M.B. Lyzlova\*\*\*, V.V. Kovalenko\*\*\*\*

\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, [denis.zhizhnov@gmail.com](mailto:denis.zhizhnov@gmail.com),

\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, [matvei.nika@yandex.ru](mailto:matvei.nika@yandex.ru),

\*\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, [mvlsid@rambler.ru](mailto:mvlsid@rambler.ru),

\*\*\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, [vikvaskov@mail.ru](mailto:vikvaskov@mail.ru)

*Abstract.* Consider a sequence of thermal calculation in SMATH Studio. Selection of standardized heat exchanger by catalogs of heat exchanger equipment in the basis of calculation of the heat transfer surface

*Keywords:* heat exchange surface, thermal transport and thermal transfer coefficients.

В химической технологии и нефтепереработке широко применяются различные поверхностные теплообменные аппараты. В настоящее время отечественными и зарубежными производителями предлагается широкий спектр теплообменников. Основными характеристиками их являются геометрические размеры и конструктивные особенности, определяемые из значений поверхности теплообмена. От ее величины зависят стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации теплообменных аппаратов. Поэтому тепловой расчет является основным необходимым элементом, как при проектировании, так и при выборе теплообменника. Несмотря на имеющиеся в широком пользовании методик расчета процесса теплопередачи, у каждого производителя теплообменного оборудования имеются свои приемы и эксклюзивные программы по расчету теплообменников, учитывающие индивидуальные особенности, как их аппаратов, так и применяемых теплоносителей. В целом ряде случаев эти методики с использованием программных продуктов либо закрыты, либо не доступны [1].

Задачей, на решение которой направлена настоящая работа, является рассмотрение методики расчета поверхности теплообмена с изменяющимися теплофизическими свойствами теплоносителей и геометрическими характеристиками теплообменных аппаратов, и выбора на основании этого расчета стандартного нормативного теплообменника с использованием доступной программы в SMath Studio.

Актуальность работы заключается в том, что данная разработка позволяет значительно сократить время на проведение итерационных операций, а также дает возможность освоить методику расчета в привычной для человека форме записи алгоритма решения задачи.

В данной работе рассматривается задача определения поверхности теплообмена и выбора конкретного аппарата при охлаждении керосинового дистиллята, нагревающего нефть. Из уравнения теплового баланса для известных расходов теплоносителей, температур их нагрева и охлаждения и энтальпий потоков определяется количество тепла, выделяемого керосиновым дистиллятом ( $Q_1$ ) и воспринимаемого нефтью ( $Q_2$ ). Из уравнения теплопередачи по коэффициенту теплопередачи ( $K$ ) и температурному напору ( $\Delta T_{cp}$ ) рассчитывается ориентировочная поверхность теплообмена ( $F$ ). При этом температурный напор определяется как среднелогарифмический, а значение коэффициента теплопередачи - на основании материалов обследования аналогичных теплообменных аппаратов [1].

Используемые формулы в непосредственной последовательности расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Последовательность расчета поверхности теплообмена

Энтальпия потоков $H_1, H_2, H_3, H_4$	$H_1 = (1/\sqrt{\rho_{15}^{15K}}) * (0,0017 * T_1^2 + 0,762 * T_1 - 334,25)$
Количество тепла	$Q_1 = G_1 * (H_1 - H_2) \quad Q_2 = G_2 * (H_4 - H_3)$
Средний температурный напор	$\Delta T_6 = T_1 - T_4 \quad \Delta T_m = T_2 - T_3$ $\Delta T_{cp} = (\Delta T_6 - \Delta T_m) / \ln(\frac{\Delta T_6}{\Delta T_m})$
Поверхность теплообмена	$F = \frac{Q_2 * kvt}{K} * \Delta T_{cp}$

Физико-химические свойства нефти и керосина при стандартных условиях приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Физико-химические свойства нефти и керосина

	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость, $\nu$ , Ст	Динамическая вязкость, $\mu$ , П
Нефть	800-950	0,25-1,4	0,178-1,284
Керосин	700-780	0,027	0,0217

Затем по каталогам на теплообменные аппараты заводов ОАО «ТАТНЕФТЬ» и ООО «Зенит-Химмаш» (рис. 1) для полученного ориентировочного значения поверхности теплообмена выбирается теплообменник стандартной конструкции с основными геометрическими размерами (площади трубного и межтрубного пространства, количества труб, их размеров и расположения в трубном пучке, числа ходов в теплообменнике и др.) [3,4].

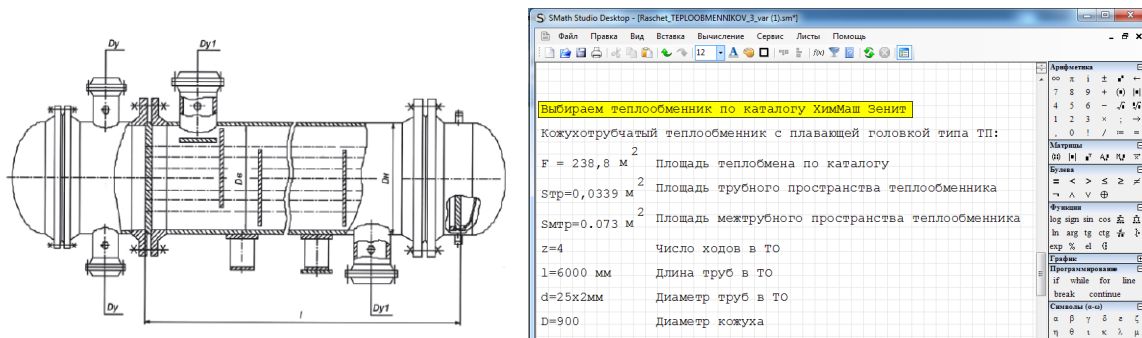


Рис. 1. Конструкция и характеристика теплообменника типа ТП

В нефтепереработке принято использовать теплообменники с плавающей головкой типа ТП, конструктивное исполнение которых обеспечивает компенсацию температурных деформаций его элементов. Внешний вид такого теплообменника представлен на рисунке 1.

Далее выполняется уточненный расчет поверхности теплообмена. Для проверки полученных результатов определяются физико-химические параметры (молекулярная масса, плотность, вязкость, теплоемкость) теплоносителей при их среднеарифметической температуре (таблица 3), на основании которых рассчитываются критерии Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта, определяются коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи (таблица 4) и выполняется поверочный расчет поверхности теплообмена.

Таблица 3 - Последовательность расчета теплофизических свойств нефти и керосина

Среднеарифметическая температура керосина и нефти	$T_{н.ср} = (T_4 + T_3)/2$ $T_{к.ср} = T_{н.ср} + \Delta T_{ср}$
Относительная плотность при 30 °С	$\rho^{30} = \rho_4^{20} - \alpha * (t_{30} - 20)$
Теплопроводность $\lambda$ керосина нефти при 30 °С $A_i = 4,22 \cdot 10^{-8}$	$\lambda_{30K} = \frac{0,1346}{\rho_{15K}^{15}} * (1 - 0,00047 * T_{к.ср})$ $\lambda_n^{30} = A_i * C_n * \rho_2^{30} * \sqrt{\left(\frac{\rho_2^{30}}{M_h^H}\right)}$
Теплопроводность $\lambda$ при среднеарифметической температуре керосина и нефти $\varepsilon = 1,8 \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{T_{к.ср}} = \lambda_{30} * (1 - \varepsilon * (T_{к.ср} - (t_{30} + 273)))$ $\lambda_{T_{н.ср}} = \lambda_n^{30} * (1 - \varepsilon * (T_{н.ср} - (t_{30} + 273)))$
Относительная плотность при среднеарифметической температуре керосина и нефти	$\rho_{T_{к.ср}} = \rho_4^{20K} - \alpha * (T_{к.ср} - (t_{20} + 273))$ $\rho_{T_{н.ср}} = \rho_4^{20H} - \alpha * (T_{н.ср} - (20 + 273))$
Молярная масса по формуле Крэга	$M = (44,29 * \rho_{15K}^{15}) / (1,03 - \rho_{15K}^{15})$ $M_h^H = (44,29 * \rho_{15H}^{15}) / (1,03 - \rho_{15H}^{15})$
Кинематическая вязкость по формуле Гросса	$n = \log_{10}\left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}\right) / \log_{10}\left(\frac{25}{20}\right)$ $\vartheta_{T_{к.ср}} = \vartheta_1 / 10^{n - \log_{10}(T_{к.ср} - 273) / 20}$
Теплоемкость нефти	$C_n = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15H}^{15}}} * (0,762 + 0,004 * T_{н.ср})$

Таблица 4 - Последовательность расчета критериев подобия теплопередачи, определения коэффициентов теплоотдачи, расчетного коэффициента теплопередачи и поверхности теплообмена

Площадь трубного пространства теплообменника $S_{тр} м^2$	$S_{тр} = \frac{\pi}{4} * z_{тр} * d_{нтр}^2$
Скорость потока в трубном пространстве	$\omega_{тр} = G_2 / (3600 * \rho_{Тн.ср} * S_{тр})$
Критерий Рейнольдса	$Re_{тр} = (\omega_{тр} * d * z) / \vartheta_{Тн.ср}$
Критерий Прандтля	$Pr_{тр} = (C_n * \rho_{Тн.ср} * \vartheta_{Тн.ср}) / \lambda_{Тн.ср}$
Критерий Нуссельта	$Nu_{тр} = 0,021 * Re_{тр}^{0,8} * Pr_{тр}^{0,43}$
Диаметр межтрубного пространства	$d_{мтр} = \sqrt{4 * S_{тр} / \pi}$
Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{тр} \alpha_{мтр}$	$\alpha_{тр} = Nu_{тр} * \lambda_{Тн.ср} / d$ $\alpha_{мтр} = Nu_{мтр} * \lambda_{Тн.ср} / d_{мтр}$
Расчетный коэффициент теплопередачи	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{мтр}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{тр}}}$
Расчетная поверхность теплообмена	$F_{расч} = Q_2 / (K * \Delta T_{ср})$
Площадь теплообмена $F м^2$	по каталогу «Зенит-Химмаш»
Процент запаса поверхности теплообмена	$\Delta = \frac{F - F_{расч}}{F} * 100\%$

Полученную расчетную поверхность теплообмена (данные расчета представлены на рисунке 2) сравниваем с поверхностью выбранного теплообменника и при значительном отклонении расчетной поверхности теплообмена от табличной расчет должен быть повторен.

На рисунке 2 представлен фрагмент итерационных вычислений поверхности теплообмена в зависимости от теплофизических свойств потоков теплоносителей.

Плотность керосина, г/см <sup>3</sup>	Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	Скорость потока в трубном пространстве, м/с	Критерий Рейнольдса(тр)	Критерий Прандтля(тр)	Критерий Нуссельта(тр)	Коэффициент теплоотдачи(тр), Вт/м <sup>2</sup> К
0,825	0,91	0,43	2926,62	191,16	119,21	725,26
0,78	0,91	0,43	2926,62	191,16	119,21	725,26
0,85	0,91	0,43	2926,62	191,16	119,21	725,26
0,825	0,82	0,49	3285,02	142,82	115,35	881,08
0,825	0,95	0,41	2791,19	235,96	125,65	635,68
Плотность керосина, г/см <sup>3</sup>	Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	Скорость потока в межтрубном пространстве, м/с	Критерий Рейнольдса(мтр)	Критерий Прандтля(мтр)	Критерий Нуссельта(мтр)	Коэффициент теплоотдачи(мтр), Вт/м <sup>2</sup> К
0,825	0,91	0,14	1,038*10 <sup>5</sup>	5,15	437,80	223,14
0,78	0,91	0,15	1,116*10 <sup>5</sup>	4,59	441,63	241,37
0,85	0,91	0,13	99774,92	5,55	437,92	212,44
0,825	0,82	0,14	1,038*10 <sup>5</sup>	5,15	437,80	223,14
0,825	0,95	1,14	1,038*10 <sup>6</sup>	5,15	437,80	223,14
Плотность керосина, г/см <sup>3</sup>	Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент теплопередачи, Вт/м <sup>2</sup> *°С	Расчетная поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Процент запаса, %		
0,825	0,91	169,38	219,47	8,09		
0,78	0,91	179,69	206,89	13,36		
0,85	0,91	163,15	227,86	4,58		
0,825	0,82	176,68	221,53	7,23		
0,825	0,95	163,98	221,92	7,07		

Рис. 2. Окончательные результаты вычисления в программе SMath Studio

Сопоставление расчетной поверхности теплообмена с табличной поверхностью выбранного теплообменника позволил сделать вывод о пригодности (вариант 2) выбранной конструкции аппарата для выполнения данной технологической задачи. По полученным результатам видно, что при втором варианте выбранный теплообменник имеет больший запас поверхности теплообмена и, следовательно, сможет работать более длительное время. В трех

других вариантах необходимо выбрать теплообменник с большей поверхностью теплообмена по каталогу и провести заново поверочный расчет коэффициента теплопередачи.

Использование программы SMath Studio, учитывая громоздкость и трудоемкость расчетов (для следующих расчетов теплообменников и выбора их конструкций, а также при изменении физико-химических свойств теплоносителей, процедуру расчета необходимо повторять), позволяет применять вышеизложенную методику в качестве математической модели для составления алгоритма проведения расчетов в программе с удобным для пользователя интерфейсом.

### **Библиографический список**

1. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен: учебник. - М.: ИНФРА-М, 2013.-464 с.
2. Каталог. Теплообменное оборудование.: ООО «Зенит-Химмаш» Завод нефтяного и химического машиностроения г.Дмитровград, 2014.- 136 с.

УДК 665.6.7; ГРНТИ 61.51.17

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ЦЕХА ГАЗОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**А.С. Земских**

*Рязанская нефтеперерабатывающая компания,  
г. Рязань, aszemsikh@rosneft.ru*

*Аннотация.* В данной работе предложена модернизация схемы межцеховых коммуникаций цеха №3, а именно взаимосвязь установок низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 и каталитического риформинга 35/6-300. Проведен сравнительный анализ компонентных составов материальных потоков и сделан вывод об экономической эффективности предложенного решения.

### **EFFICIENT REDISTRIBUTION OF THE MATERIAL STREAMS OF THE SHOP OF GAS-CATALYTIC PRODUCTION**

**A.S. Zemskikh**

*Ryazan Oil Refinery Company,  
Ryazan, aszemsikh@rosneft.ru*

*Annotation.* This project describes a modernized scheme interplant communication department №3, namely the interconnection Isomalk-2-LIN-800 low-temperature isomerization and catalytic reforming 35/6-300. A comparative analysis of the component composition of the material flow and concluded that the cost-effectiveness of the proposed solutions.

### **Введение**

В современных условиях нефтеперерабатывающие заводы для выпуска продукции требуемого качества вынуждены постоянно производить модернизацию оборудования, вводить в эксплуатацию новые мощности и новые установки. При запуске таковых, не всегда максимально эффективно просчитаны оптимальные схемы их взаимосвязей с уже существующими объектами. Установка низкотемпературной изомеризации (НТИ) ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 была введена в эксплуатацию на РНПК в 2015 году, что и стало причиной рассмотрения её межцеховых связей с другими установками. Результатом подробного анализа работы объектов цеха газокаталитического производства стала разработка схемы, которая позволит задействовать производимые на данный момент углеводороды в качестве компонентов более ценной продукции.

### **Идея реализации проекта**

В рамках данного проекта рассматривается возможность частичного вывода бокового погона колонны деизогексанизации (ДИГ) установки НТИ в блок растворителей установки 35/6-300 для производства Нефраса П1-63/75, а также вывод фракции НК-62 установки 35/6-300 в сырьевой парк установки НТИ для производства изопентана. Для того, чтобы сделать вывод о целесообразности проекта рассмотрим работу соответствующих блоков установок.

### **Анализ работы блока ДИГ установки НТИ**

Блок ДИГ входит в состав секции изомеризации установки НТИ. Колонна 02-К-4 (рис. 1) предназначена для отделения фракции С5, 2,2 диметилбутана и 2,3 диметилбутана с при-

месями метилпентана (изогексановая фракция) от других изомеров С6 и более тяжелых компонентов С7+ (тяжелый изомеризат), содержащихся в изомеризате. Также предусмотрен вывод в сырье реакторного блока изомеризации рециркулята (боковой погон) – фракция, состоящая из н-гексана, метилпентана с примесями метилциклопентана и диметилзамещенных гексанов.

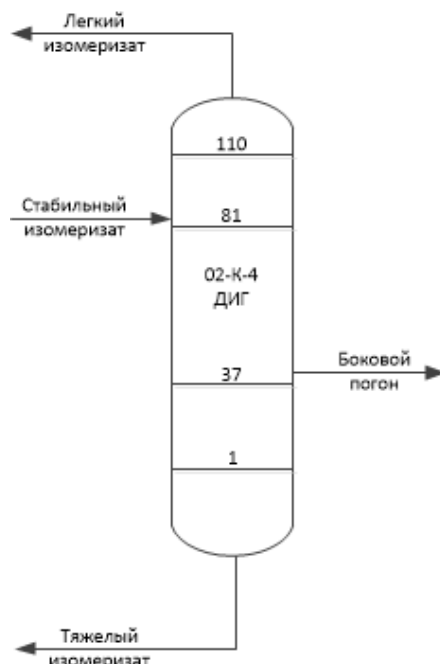


Рис. 1. Колонна деизогексанизации 02-К-4

В таблице 1 представлены результаты анализов лаборатории на компонентный состав бокового погона за 2016 год.

Таблица 1 - Компонентный состав бокового погона

Компонент	%, масс.
iC4	0
nC4	0
iC5	0,13
nC5	0,11
	0,25
ЦП	0,02
2,3 ДМБ	8,81
2 МП	41,51
3 МП	27,73
nC6	17,73
МПЦ	2,8
Бензол	0
ЦГ	0,78
С7+	0,14

Исходя из имеющихся данных, можно отметить, что ~96% бокового погона составляют такие компоненты, как (таблица 2).

Таблица 2 - Температуры кипения основных компонентов бокового погона

Компонент	Содержание в БП, %	Температура кипения, °С
2,3 ДМБ	8,81	58
2 МП	41,51	60,3
3 МП	27,73	63,3
nC6	17,73	68,7

Сопоставив таблицей 2 с СТП продукции Нефрас П1-63/75 (таблица 3), делаем вывод о том, что 3 МП и пС6 могут являться компонентами Нефраса П1-63/75. Следует отметить, что процесс низкотемпературной изомеризации исключает возможность наличия в боковом погоне серы, воды, бензола, а так же механических примесей и водорастворимых кислот и щелочей.

Таблица 3 - Стандарты предприятия по продукту Нефрас П1-63/75

№ п/п	Наименование показателей	Нормы ТУ 38.1011228-90
1	Плотность при 20 °С	Не более 0,685
2	Фракционный состав: -температура начала перегонки, °С -температура, при которой перегоняется 98%, °С	Не ниже 63 Не выше 75
3	Массовая доля бензола, %	Не более 0,1
4	Массовая доля серы, %	Не более 0,00020
5	Наличие водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие
6	Содержание механических примесей и воды	Отсутствие

Таким образом, прокладка трубопровода от УНТИ до 35/6-300 обеспечит возможность значительно увеличить производство Нефраса П1-63/75, который применяется в химической промышленности для производства полиолефинов и синтетических каучуков, в легкой промышленности - в процессе первичной обработки шерсти, в микробиологической промышленности - в процессе экстрактивной очистки белково-витаминного концентрата, в пищевой промышленности - для экстракции пищевых жиров, а также для экстракции эфирных масел из эфиромасличного сырья.

При данной схеме загрузка реакторного блока изомеризации понизится на 100% от количества выведенного бокового погона, 46% из которого станут фракцией Нефраса П1-63/75, а оставшиеся изомеры с температурой кипения ниже 63 °С, будучи верхним продуктом колонны К-1 блока растворителей 35/6-300, в составе фракции НК-62 будут выведены в товарно-сырьевой цех как компонент продукта БГС.

#### Анализ работы блока растворителей установки 35/6-300

Блок получения бензиновых растворителей предназначен для получения из рафината установок Л-35-6/300 и ЛГ-35-8/300Б растворителей для пищевой промышленности П1-63/75, для резинотехнической промышленности С2-80/120 и фр.100-140 °С ректификацией последовательно в двух колоннах К-1 и К-7 (рис. 2).

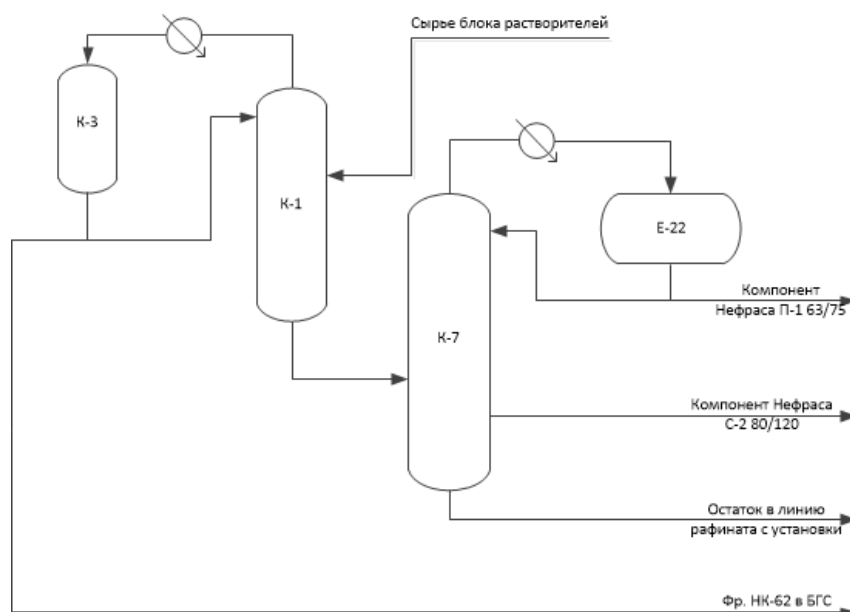


Рис. 2. Блок растворителей



Исходя из того, что БГС не является ценным продуктом, а ИОЧ 2,3 ДМБ составляет 104 пункта, делаем вывод о том, что недостаточно выгодно выводить изомеры, как компоненты данной продукции. Наиболее эффективным решением стала бы рециркуляция 2,3 ДМБ и 2 МП обратно на НТИ (при этом загрузку реакторного блока изомеризации необходимо будет снизить всего на 46% от выведенного бокового погона). Так как данные компоненты станут частью смеси НК-62, рассмотрим химический состав фракции (таблица 4).

Таблица 4 - Компонентный состав фракции НК-62

i-C <sub>4</sub>	n-C <sub>4</sub>	i-C <sub>5</sub>	n-C <sub>5</sub>	ЦП	2МП
0	0,41	19,44	22,56	3,61	26,78
3МП	n-C <sub>6</sub>	МЦП	Бензол	C <sub>7+</sub>	
10,15	2,03	0,36	0,01	0,01	

Опираясь на предоставленные лабораторией данные, делаем вывод о том, что фракция НК-62 на ~20% состоит из i-C<sub>5</sub>, который является компонентом изопентановой фракции (выделяется в колонне деизопентанизатора секции изомеризации установки НТИ) и на 80% из компонентов изогексановой фракции (верхний продукт деизогексанизатора). Таким образом, смонтировав трубопровод от блока растворителей 35/6-300 до сырьевого парка УНТИ (рис. 3) появится возможность:

- 1) увеличить выход изопентановой фракции;
- 2) увеличить выход изогексановой фракции;
- 3) минимизировать сокращение загрузки реакторного блока изомеризации от вывода части бокового погона.

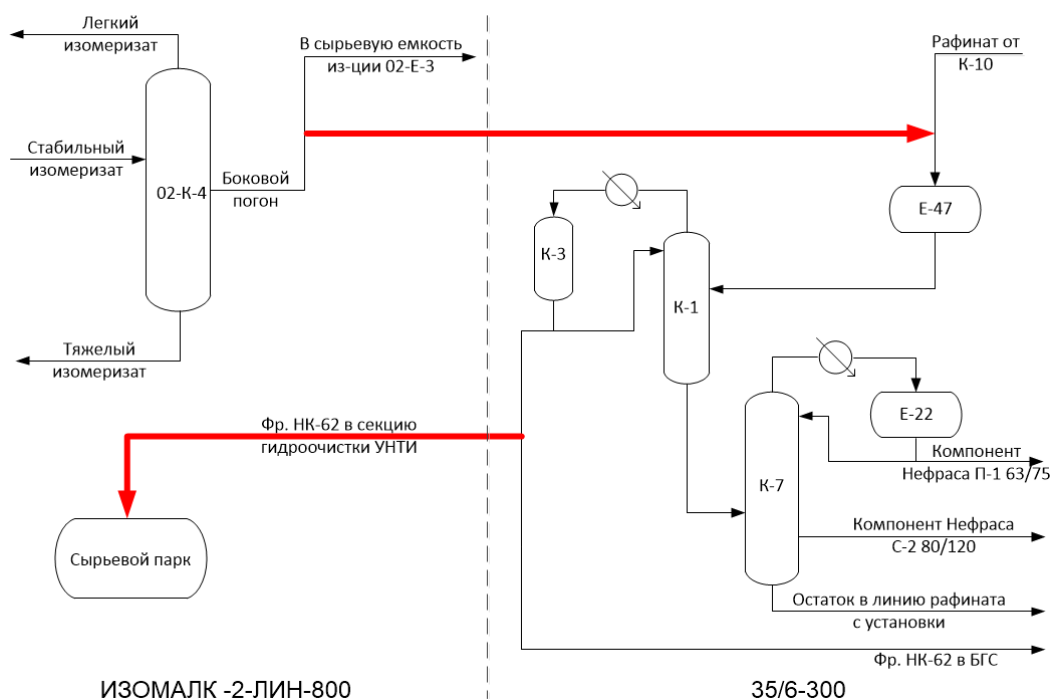


Рис. 3. Предлагаемая схема

## Выводы

Современная нефтепереработка требует значительных капиталовложений в производственные объекты с целью повышения качества, глубины переработки, объемов выпускаемой продукции, снижения энергопотребления и, конечно же, вредных выбросов в окружающую среду. Однако существует множество вариантов, при которых достичь желаемого результата возможно при минимальных затратах. Так в рамках данной работы с помощью аналитического подхода к проблеме удалось значительно увеличить производство ценных фракций углеводородов путем разработки новой технологической схемы.

## Библиографический список

1. Технологический регламент ЗАО «РНПК» «Установки каталитического риформинга углеводородов Л-35-6/300 цеха №3»
2. Технологический регламент АО «РНПК» «Объекта 360-10 – установки низкотемпературной изомеризации ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 и объекта 360-11 – промежуточного парка установки ИЗОМАЛК-2-ЛИН-800 цеха №3»
3. Нефтяные продукты. Растворители. Продукты пиролиза. Прочие нефтепродукты. Технические условия. — Москва: ИПК "Издательство стандартов". — 2000.

УДК 665.658.62 ГРНТИ 61.51.19

## ИОННЫЕ ЖИДКОСТИ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СРЕД

Е.Р. Иванова\*, В.А. Синельникова\*\*, А.А. Ширяев\*\*\*

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, \*[kati9396@yandex.ru](mailto:kati9396@yandex.ru), \*\*[wikasinel@icloud.com](mailto:wikasinel@icloud.com), \*\*\*[shaa78@mail.ru](mailto:shaa78@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются условия использования ионных жидкостей в качестве катализаторов для нефтепереработки, а также их свойства, достоинства и недостатки. Целью работы является изучение эффективности метода очистки углеводородного сырья от сернистых соединений ионными жидкостями.

*Ключевые слова:* ионные жидкости, нефтепереработка, углеводородное сырье, сернистые соединения.

## IONIC LIQUIDS AS A CATALYST MEDIUM

E. R. Ivanova\*, V. A. Sinelnikova\*\*, A. A. Shiryayev\*\*\*

*Ryazan State Radio Engineering University*

*Russia, Ryazan \*[kati9396@yandex.ru](mailto:kati9396@yandex.ru), \*\*[wikasinel@icloud.com](mailto:wikasinel@icloud.com), \*\*\*[shaa78@mail.ru](mailto:shaa78@mail.ru)*

*Annotation.* There are conditions of use of ionic liquids as catalysts for petroleum refining in this work, as well as their properties, advantages and disadvantages. The aim is to study the effectiveness of the method of purification of hydrocarbons from sulfur connections of ionic liquids.

*Keywords:* ionic liquids, refining, hydrocarbon feed, sulfur compounds.

### 1. Введение

Промышленные процессы нефтехимии и нефтепереработки постоянно требуют усовершенствования используемых в настоящее время каталитических систем. Несмотря на огромное количество известных катализаторов, ощущается острая нужда в новых, более эффективных и экологически чистых процессах, катализаторах, каталитических средах и растворителях. Одним из решений для «озеленения» промышленных процессов – применения ионных жидкостей в качестве каталитических сред.

Ионная жидкость — это соль, с температурой плавления ниже 100°C, имеющая практически нулевое парциальное давление при повышенных температурах [1]. Ионные жидкости относятся к так называемым «зелёным растворителям». Сейчас в литературе описано около 500 ионных жидкостей. Это и хорошо известные еще с 80-х [2] (пиридиниевые, имидазолиевые, полиалкиламмониевые), и синтезированные относительно недавно (гуанидиниевые, пиперидиниевые, пирролиевые, пирролидиниевые, морфолиниевые, холиниевые, пиперазиниевые, тиазолиевые и др). Есть полициклические ионные жидкости, с мостиковыми структурами, биядерные или полиядерные, цвиттерионные, гидрофобные (фторированные), хиральные.

### 2. Ионные жидкости: свойства и применение.

Ионные жидкости обладают рядом специфических свойств, обуславливающих повышенное внимание к ним [3]:

1. Низкие температуры плавления (меньше 100 °C), но при этом широкий интервал жидкого состояния (> 300 °C)
2. Удельная электропроводность ионных жидкостей достаточно высока.
3. По отношению к разнообразным неорганическим, металлоорганическим и органическим соединениям, полимерам природного и синтетического происхождения хорошая растворяющая способность.
4. Каталитическая активность, обуславливает относительно высокую селективность органических реакций и повышенный выход целевого продукта.

5. Возможность использовать ионную жидкость неоднократно.
6. Нелетучесть, негорючесть, невзрывоопасность и нетоксичность
7. Возможность создания ионных жидкостей с заданными свойствами

Большинство ионных жидкостей — довольно плотные (обычно 1,1—1,3 г/см<sup>3</sup>) и вязкие (более 30–40 сГ): ведь фактически это расплавы.

Ионные жидкости взаимодействуют с водой по-разному [4]. Те, что содержат  $\text{AlCl}_3$ , — гидролизуются, хотя гораздо медленнее, чем сам  $\text{AlCl}_3$ , а ионные жидкости с анионами  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CF}_3\text{COO}^-$  или  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$  образуют с водой гомогенные смеси. Ионные жидкости с тем же катионом, но с анионом  $\text{PF}_6^-$  или  $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$  почти не смешиваются с водой и обладают сильными гидрофобными свойствами (а значит, их можно использовать в двухфазных системах с водой). Фосфатные ионные жидкости также имеют ярко выраженные гидрофобные свойства. А вот если анионом будет  $\text{BF}_4^-$ , то такая ионная жидкость смешивается с водой в любых пропорциях.

Газы же почти не растворяются в ионных жидкостях, поскольку это полярные среды. Но если газ необходим для какой-либо конкретной реакции, то, чтобы растворить водород, кислород или оксид углерода, можно добавить перфторированные углеводороды.

Но широкому практическому использованию ИЖ препятствует их высокая стоимость, обусловленная сравнительно небольшим спросом на эти растворители. Поэтому в последние годы в гетерогенном катализе весьма успешно начал развиваться новый подход к использованию ИЖ в виде их ультратонких слоев, адсорбционно или ковалентно иммобилизованных на пористых матрицах-носителях и содержащих растворенные активные компоненты — соли или комплексы переходных металлов. Помимо существенной экономии собственно ИЖ, такие системы позволяют проводить каталитические процессы не только в периодическом, но и в более технологичном непрерывном режиме.

### **3. Очистка нефтепродуктов ионными жидкостями**

Более подробно мы хотели бы рассмотреть очистку нефтепродуктов от сернистых соединений. В настоящее время для промышленной очистки жидких углеводородов нефти чаще всего применяется гидроочистка. Этот метод обеспечивает практически полное удаление меркаптанов, сульфидов и дисульфидов из жидких углеводородов. Недостатком этого способа является высокое остаточное содержание тиофенов и высокая стоимость процесса.

Один из методов (использованный в патенте US 6274026 B1 [5]) — электрохимическое окисление в ионной жидкости S-содержащих соединений с последующим удалением продуктов окисления центрифугированием и/или отгонкой УВ фракции. Способ применим к серосодержащим соединениям (в т.ч. меркаптановым), присутствующим в нефти в виде тиофенов и бензотиофенов и способным при электрохимическом окислении образовывать димеры или олигомеры, осаждающиеся на аноде или образующие в ионной жидкости нерастворимый осадок. В качестве ионных жидкостей используются 1-бутил-3-метилимидазолий гексафторфосфат, 1-этил-3-метилимидазолий тетрафторборат и их смеси. Окисление проводят в электрохимическом реакторе при потенциале 1,0–2,5 В по хлорсеребряному электроду сравнения при плотности тока 1–10 мА/см<sup>2</sup> на платиновых, никелевых, графитовых электродах в интервале температур 0–100°C. Недостаток данного метода — ограничение по применению: только для S-содержащих соединений, способных к окислительной электрополимеризации.

Но имеются и российские разработки в этой области, в том числе патент, полученный коллективом учёных химического факультета МГУ [6].

Предлагаемый ими способ снижения содержания серосодержащих соединений в углеводородном сырье основан на более высокой растворимости серосодержащих соединений в ионной жидкости по сравнению с углеводородами. Процесс экстракции соединений серы включает в себя смешивание углеводородной фазы с ионной жидкостью с последующим её отделением и регенерацией катализатора. Он может быть реализован в относительно мягких условиях с использованием стандартных операций, что приводит к значительному снижению капитальных затрат.

Метод применим для удаления серосодержащих органических соединений, в том числе и труднокрекингующих (тиофенов, бензо- и дибензотиофенов), из любых типов нефти без ограничений.

Лучше всего для очистки подходят ионные жидкости на основе замещенного катиона имидазолия с анионом тетрафторбората. На экстракционную способность имидазолиевой ионной жидкости также оказывает влияние длина углеводородной цепи заместителя. В предлагаемом способе использованы ионные жидкости 1-метил-3-бутилимидазолий тетрафторборат (MBImBF<sub>4</sub>) и 1-метил-3-октилимидазолий тетрафторборат (MOImBF<sub>4</sub>). Увеличение экстракционной ёмкости может быть достигнуто также добавлением катионов различных металлов, что обеспечивает дополнительное комплексообразование с соединениями серы, которые находятся в УВ сырье.

Модельную смесь бензол - октан (объемное соотношение 1:5) (I) или гептан (II) с концентрацией бензотиофена (БТ) или дибензотиофена (ДБТ) 1500 ppm (для I) или 500 ppm (для II) объемом 1 мл смешивают с 1 мл рабочего реагента - ионной жидкостью. Экстракцию проводят при перемешивании в течение 15-60 минут при температуре 25°C. После перемешивания смесь разделяется на две фазы: ионная жидкость находится снизу, углеводородная фаза сверху. Углеводородную фазу отделяют и анализируют на остаточное содержание серосодержащих соединений.

Данные экспериментов сведены в таблицу:

Пример	ИЖ	Сероорганическое соединение	Комплекс	С <sub>б</sub> , ppm концентрация веществ в углеводородной фазе	D, Коэффициент распределения	R, % Степень извлечения
6	MBIm	БТ	-	340±10	0,50±0,05	33±3
7	MOIm	БТ	-	160±10	2,0±0,1	66±3
8	MOIm	БТ	Е	85±5	4,9±0,1	83±4
9	MBIm	ДБТ	-	420±10	0,20±0,05	17±3
10	MOIm	ДБТ	-	360±10	0,39±0,05	28±3
11	MOIm	ДБТ	Е	200±10	1,5±0,1	60±3
12	MOIm	ДБТ	F	160±10	2,2±0,1	68±3

Как видно из неё, использование ионных жидкостей обеспечивает достаточно высокое снижение концентрации серосодержащих соединений в исходном углеводородном сырье. Увеличение экстракционной емкости ионной жидкости по отношению к БТ так и ДБТ достигается использованием ионной жидкости с катионом имидазолия, замещенным на алкильный радикал, особенно в случае октильного радикала. Добавление к ионной жидкости ионов металла, выбранных из группы, включающей Co, Ni, Fe, Fe, в том числе различные комплексы Co (II), также увеличивает коэффициент распределения и степень извлечения S-содержащих соединений. Наиболее существенное улучшение качества очистки показали добавки 4,5-дикарбоксифталоцианинового и N,N-бис (салицилиден) этилендиаминового комплексов кобальта (II).

### Выводы

Итак, ионные жидкости на данный момент не получили широкого распространения в массовом производстве ввиду высокой стоимости, но они имеют ряд преимуществ рециклизуемы, негорючи и имеют низкое давление насыщенных паров, делает их полноправными участниками «зеленой» химии, даже без учета тех выигрышей в производительности и селективности. Металлокомплексный катализ, может оказаться благодатной областью их использования, также как и электрохимия в целом и электрокатализ в частности.

### Библиографический список

1. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионная\\_жидкость](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ионная_жидкость) Дата обращения: 11.02.2017
2. Кустов Л. М., Васина Т. В., Ксенофонов В. А. Ионные жидкости как каталитические среды // Российский химический журнал общества им. Д. И. Менделеева, 2004, том XLVIII, № 6 URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/jvho/2004-6/13.pdf> (дата обращения: 10.02.2017).
3. Логинов Д. Г., Никешин В. В. Применение ионных жидкостей в химической промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №22. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-ionnyh-zhidkostey-v-himicheskoy-promyshlennosti> (дата обращения: 10.02.2017).
4. Кустов Л. М. Ионные жидкости – прорыв в новое измерение? // «Химия и жизнь», 2007, №11 URL: [http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1fd85727-0e57-f009-219a-60ba3e68dabb/36-41\\_11\\_2007.pdf](http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/1fd85727-0e57-f009-219a-60ba3e68dabb/36-41_11_2007.pdf) (дата обращения: 11.02.2017).
5. Robert Charles Schucker, William Chalmers Baird, Jr. Патент US 6274026 B1 URL: <https://www.google.ch/patents/US6274026> (дата обращения: 12.02.2017).
6. Борисенкова Светлана Анатольевна, Культин Дмитрий Юрьевич, Кустов Леонид Модестович, Лебедева Ольга Константиновна, Нефедьева Мария Владимировна Патент RU 2408657 URL: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2408657.html> (дата обращения: 12.02.2017).

УДК 547-3;54.084; ГРНТИ 61.51.29

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ПОМОЩЬЮ ПРИСАДОК

**А.С. Татарникова, М.И. Ерошина, Т.П. Шуварилова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, galaxowa.anastasia@yandex.ru, margarita5888@mail.ru, tatpans@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются способы улучшения качества дизельного топлива с целью повышения эксплуатационных свойств.

*Ключевые слова:* депрессорные присадки, диспергирующие присадки, показатели качества, цетановое число, коэффициент фильтруемости, дизельное топливо.

## MODES OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF DIESEL FUEL BY MEANS OF ADDITIVE COMPOUNDS

**A.S. Tatarnikova, M.I. Eroshina, T.P. Shuvarikova**

*Ryazan state radio engineering university,*

*Russia, Ryazan, galaxowa.anastasia@yandex.ru, margarita5888@mail.ru, tatpans@mail.ru*

*Abstract.* Modes of improvement of quality of diesel fuel for the purpose of increase in operational properties are considered.

*Keywords:* depressor additives, the dispersing additives, quality indicators, cetane number, filterability coefficient, diesel fuel.

Дизельное топливо – это нефтяная фракция, основу которой составляют углеводороды (УВ) с температурой кипения равной 200-350 °С. Это прозрачная и более вязкая, чем бензин, жидкость от желтого до светло-коричневого цвета (в зависимости от содержания в ней смол). Цвет дизельного топлива ( ДТ) в единицах ЦНТ находится в интервале от 0,5 до 1,0 единиц.

Целью представленной работы была произведена разработка методик по улучшению качеств, товарных и эксплуатационных свойств к дизельным топливам с помощью присадок различного назначения.

Были произведены испытания процесса депарафинизации в лабораторных условиях.

В процессе охлаждения дизельного топлива до -12 °С и выдерживания в такой температуре в течение 16 часов топливо, находясь в делительной воронке в течение 16 часов , было подвержено седиментации, то есть расслоению. В воронке представлено три слоя: верхний, средний и нижний. Более тяжелые молекулы углеводородов перешли в твердое состояние и в виде кристаллов опустились в нижний слой. В верхнем слое остался продукт с меньшим содержанием тяжелых парафиновых углеводородов . Верхний слой отобрали пипеткой Мора. Затем слили нижний слой. Средний слой оставили для возможных нерешенных вопросов.

В дальнейшем проводились сравнительные испытания. Были взяты три образца: исходное дизельное топливо, верхний слой и нижний слой после седиментации. Этим образцам были выполнены следующие испытания: определение плотности, определение фракции-

онного состава, определение температуры застывания, определение температуры помутнения, определение температуры вспышки, определение содержания серы и анилиновой точки, определение дизельного индекса.

Полученные результаты представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 - Испытания дизельного топлива

Показатели	Исходное ДТ	Верхний слой ДТ	Нижний слой ДТ
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при 20 °С	839	835	840
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при 15 °С	842,64	838,665	839,661
Температура, °С - вспышки в закрытом тигле	59	78	59
Температура, °С - помутнения - застывания	-4 -13	-5 -18	-3 -11
Содержание серы, ppm %	0,0042	0,0041	0,043
Анилиновая точка, °С	72,5	71,3	70,8
Дизельный индекс	58,5	59,33	58,99

Таблица 2 - Фракционный состав образцов дизельного топлива

Определение фракционного состава	°С	°С	°С
Начало кипения	203	203	120
10%	240	235	197
30%	253	255	203
50%	270	272	273
90%	335	327	335
Конец кипения	365	355	347
Выход	97,5 %	98%	94%

Из полученных результатов можно сделать вывод, что процесс депарафинизации может приводить к снижению плотности дизельного топлива, увеличению температуры вспышки, снижению температуры застывания и температуры помутнения и снижения содержания серы, уменьшения значения анилиновой точки и повышение дизельного индекса. Также наблюдалось по фракционному составу понижение температуры выкипания до 90% и температуры конца кипения.

В настоящее время время дизельное топливо участвует в процессе глубокой гидроочистки, так как требуемое содержание серы составляет не более 10 ppm. В результате глубокой гидроочистки происходит разрушение высокомолекулярных серосодержащих полициклических структур, которые обеспечивали стабильность дистиллятных фракций. Поэтому топливо претерпевает некоторые изменения помимо многократного уменьшения содержания серы. Результаты сравнительных испытаний занесены в таблицу 3.

Таблица 3 - Сравнительное испытание

Наименование показателя	Дизельное топливо до гидроочистки	Дизельное топливо после гидроочистки
1. Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	847,5	839
2. Температура вспышки, °С	76	85
3. Сера общая, %	0,82	0,0044
4. Азот общий, %	0,00664	0,002
5. Фракционный состав, °С температура начала кипения	197	199
Температура выкипания 10 %	243	232
Температура выкипания 50 %	285	275
Температура выкипания 90 %	336	328
Температура выкипания °С	355	345
6. Выход %	97	96
7. Температура застывания	-17	-15
8. Цетановое число	50	52
9. Содержание ароматических углеводородов %, масс.	26	19,5

В процессе гидроочистки понижается плотность. Снижается температура выкипания 90% и конца кипения, увеличивается значение цетанового числа.

В результате глубокой гидроочистки происходит разрушение высокомолекулярных серосодержащих полициклических структур, которые обеспечивали стабильность дистиллятных фракций. Поэтому топливо претерпевает некоторые изменения помимо многократного уменьшения содержания серы.

В процессе глубокой гидроочистки наблюдается ухудшение электростатической безопасности, происходит накопление статического электричества, которое увеличивает пожароопасность и взрывоопасность продукта. Поэтому для улучшения качества гидроочищенного дизельного топлива необходимо вводить антистатические присадки.

Данные электростатической безопасности приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Электростатическая безопасность

Наименование испытуемой пробы	Количество присадки, г/т	Фактическая электропроводность, псм/м	Предельное значение электропроводности по нормам, псм/м
Базовое дизельное топливо		10	10
Базовое дизельное топливо+электростатическая присадка Сигбол	200 г/т	5	10

Дизельное топливо является смазочным материалом движущихся деталей двигателя внутреннего сгорания. Удаление высокомолекулярных серосодержащих молекул уменьшают смазывающую способность двигателей, что приводит к истиранию и разрушению трущихся поверхностей деталей двигателей и других подвижных механизмов. Для устранения такого отрицательного явления вводится противоизносная присадка. Противоизносная присадка улучшает смазывающие свойства, она создает на поверхности трущихся пар прочные абсорбционные пленки. Характеристикой смазывающей способности является показатель - диаметр пятна износа при 60° С, мкм. результаты испытания представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Смазывающая способность противоизносной присадки

Продукт	Присадка	Дозировка присадки, г/т	Смазывающая способность, диаметр пятна износа при 60°C, мкм, ГОСТ Р ISO 12156-1
Гидроочищенное ДТ 24/6	HFA 7025	200	402
		250	364

Для улучшения качества товарного дизельного топлива и снижения температур застывания, предельной температуры фильтруемости вводятся депрессорные присадки. При охлаждении дизельное топливо подвергается седиментации. Поэтому наряду с депрессорной присадкой вводят еще и диспергирующую присадку, препятствующую расслоению топлива в холодное время. Часто вводят бифункциональную присадку двойного назначения, депрессорно-диспергирующую. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Испытание депрессорно-диспергирующей присадки

Продукт	Присадка	Дозировка присадки г/т	Температура помутнения °С	ПТФ °С ГОСТ 2254	Седиментационная устойчивость				
					20 % верхняя		20 % нижняя		Оценка топлива
ГО ДТ 24/6	HFA 4845	100	-8	-16	—	—	—	—	—
		150	-8	-19	-10	-19	-2	-14	Топливо не ста- бильно
		250	-8	-20	-8	-20	-7	-18	Топливо стабильно

В тех случаях, когда цетановое число меньше требуемого нормированного значения вводится цетаноповышающая присадка. Для испытания присадки был взят образец дизельного топлива летнего с цетановым числом 50. Так как по нормам ЕВРО стандарта цетановое число должно быть не меньше 51 пункта, необходимо в топливо ввести цетаноповышающую присадку результаты выполненных испытаний в таблице 7.

Таблица 7 - Испытание цетаноповышающей присадки ЭКОЦИТАН

Продукт	Присадка	Дозировка присадки, г/т	Цетановое число, ГОСТ Р 52709		Прирост цетанового числа
			До гидрооч-ки	После гидрооч-ки	
Гидроочищенное ДТ 24/6	Экоцетан	100	50	51,5	0,5
		200	50	52,1	1,1

Таким образом для улучшения показателя качества топлива вводится пакет присадок. Необходимо помнить, что не все присадки полностью растворяются в дизельном топливе. поэтому большое количество присадок в топливе может вызывать снижение качества по следующим показателям: увеличение коэффициента фильтруемости выше предельного значения, увеличение отложений на стенках цетанового двигателя внутреннего сгорания.

Влияние присадок на значение коэффициента фильтруемости представлено в таблице 8.



Таблица 8 - Влияние присадок на значение коэффициента фильтруемости

№ п/п	Наименование испытуемой пробы	Концентрация присадки	Коэффициент фильтруемости	Предельное значение коэффициента фильтруемости
1	Базовое дизельное топливо		1,04	3,0
2	Базовое дизельное топливо+противоизносная присадка HFA 7025	200 г/т	1,15	3,0
3	Базовое дизельное топливо+депрессорно-диспергирующая присадка HFA 4845	250 г/т	1,11	3,0
4	Базовое дизельное топливо+цетаноповышающая присадка Экоцетан	150 г/т	1,9	3,0
5	Базовое дизельное топливо+электростатическая присадка Сигбол	200 г/т	1,08	3,0
6	Базовое дизельное топливо+противоизносная присадка HFA 7025	200 г/т	2,32	3,0
	+депрессорно-диспергирующая присадка HFA 4845	250 г/т		
	+цетаноповышающая присадка Экоцетан	150 г/т		
	+электростатическая присадка Сигбол	200 г/т		

**Вывод:**

Для повышения качества дизельного топлива по отдельным показателям возможно вовлечение присадок специального назначения. При определении количества вводимых присадок необходимо вести контроль за их дозировкой. Концентрация каждой из присадок должна быть:

- а) эффективной для достижения нужного значения показателя качества;
- б) суммарное содержание пакета присадок не должно повысить коэффициент фильтруемости дизельного топлива выше предельного значения.

**Библиографический список**

1. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1986.
2. Кириченко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебное пособие. – М.: Академия. 2003 г.
3. Джерихов В.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы. Часть I. Топлива. Учебное пособие. – СПб.: ГАСУ. 2008.
4. Современные дизельные топлива и присадки к ним. Т.Н. Митусова, Е.В. Полина, М.В. Калинина. Москва 2002.
5. Моторные топлива. Е.Р. Магарил, Р.З. Магарил
6. 6.Химия нефти. И.Н Дияров, Р.Ф. Хамидулин, Н.Л. Соловова. Казань издательство КНИТУ 2013
7. Технологии и экономика нефтепереработки Дж. Х. Гэри, Г.Е.Хэндверк, М.Дж.Кайзер. Санкт-Петербург 2013

## **ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ МАЗУТА ОТ КАЧЕСТВА И УСЛОВИЙ ВОВЛЕЧЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОВАРНОГО МАЗУТА ТОПОЧНОГО**

**Ю.С. Пушкина, Т.П. Шуварикина, В.В. Коваленко**

*Россия, Рязань, pushkina.jill@yandex.ru*

*Рязанский государственный радиотехнический университет*

*Аннотация.* Определение оптимальных условий для создания однородности топочного мазута.

*Ключевые слова:* топочный мазут, присадки, показатели качества, теплота сгорания, вязкость.

## **THE DEPENDENCE OF THE VISCOSITY OF FUEL OIL QUALITY AND CONDITIONS IN THE INVOLVEMENT OF THE COMPONENTS USED IN THE PRODUCTION OF COMMODITY FUEL OIL**

**Y.S Pushkina, T.P. Shuvarikova, V.V. Kovalenko**

*Russia, Ryazan, pushkina.jill@yandex.ru,*

*Ryazan State Radio Engineering University*

*Abstract.* Determination of the optimal conditions for the establishment of uniformity of furnace fuel oil.

*Keywords:* heating oil, additives, quality indicators, the heat of combustion, viscosity

Мазут - это смесь углеводородов, нефтяных смол, асфальтенов, карбонов, карбоидов и других тяжелых нефтяных остаточных соединений, с возможным содержанием металлов (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca). Свойства мазута зависят от химического состава исходной нефти и степени отгона дистиллятных фракций. В настоящее время известны следующие виды мазута: топочные, прямогонные, крекинг-мазут, флотский. Существует большое число населенных пунктов, где мазут и на сегодняшний день является незаменимым топливом. Например, отдаленные труднодоступные районы Крайнего Севера, Дальнего Востока, острова, где отсутствуют газопроводные линии.

Российская нефтепереработка выпускает следующие марки топочного мазута (ГОСТ 10585-99): М-40, М-100 и флотский мазут марок Ф-5 и Ф-12.

Оценка качества топочного мазута производится по следующим показателям:

Зольность мазута - этот параметр является важной характеристикой топлива. Он показывает количество несгоревшего остатка в топливной системе. Повышение зольности мазута ведет к снижению его теплоотдачи при сгорании. В результате:

- повышается расход топлива, необходимого для сжигания;
- увеличивается степень загрязнения окружающей среды.
- содержащаяся в мазуте зола, помимо всего прочего, забивает форсунки котлов, значительно снижая, таким образом, срок их службы.

По существующим на сегодняшний день нормативам содержание золы не должно превышать 0.1 %.

Температура застывания - этот показатель в основном зависит от содержания в материале парафина. Чем выше температура застывания мазута, тем сложнее транспортировать его по трубопроводам и осуществлять операции слива-налива. Для улучшения подвижности мазута при низких температурах применяют

- Для материала марки М40 этот показатель должен составлять 10 °С.
- Для флотского мазута температура не должна превышать 5 °С.

Для мазутов с повышенными требованиями по температуре застывания используют вовлечение дипрессорных присадок.

Теплота сгорания - одна из важнейших характеристик топлива, от которого зависит его расход, экономичность и эффективность. Это количество тепла, выделяемого при полном сгорании всех горючих составляющих. В настоящей работе теплоту сгорания определяли расчетным методом (по формуле Д.И. Менделеева) и методом калориметрии. При расчете теплоты сгорания использовали данные по составу рабочего топлива, приведенному в табли-

це 1. Расчетная теплота сгорания составила:  $Q_n^p = 339 C^p + 1030 H^p - 108,9 (O^p - S_p) - 25 W^p = 40146$  кДж/к.

Таблица 1 - Состав рабочего топлива, % по массе

$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$	$S_p$	$A_p$	$W^p$	Сумма
83,1	11,4	0,3	0,2	2,8	0,2	2,0	100,0

При проведении лабораторных испытаний в калориметрической бомбе в атмосфере кислорода было получено значение теплоты сгорания 42116 кДж/к.

**Вязкость** — основной показатель, входящий в обозначение марок. Вязкостью определяются распыление топлива, т.е. полнота его сгорания, и условия слива и налива при транспортировке топлива. От вязкости в значительной мере зависят скорость осаждения механических примесей при хранении, а также способность топлива отстаиваться от воды. Как известно, вязкости мазутов, как и прочих нефтепродуктов, зависят от температуры: с повышением температуры вязкость понижается, и наоборот. Представленные в работе вязкостно-температурные кривые (рис. 1.) позволяют определять вязкость получаемых марок мазутов, при различных температурах.

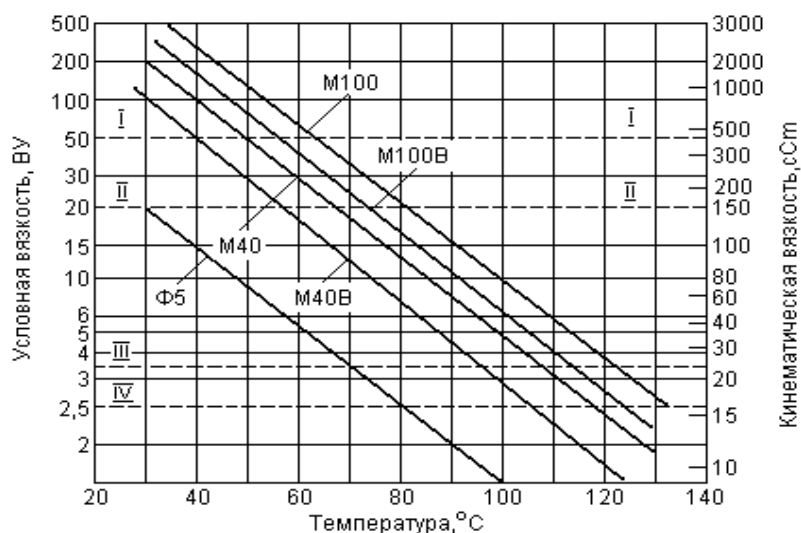


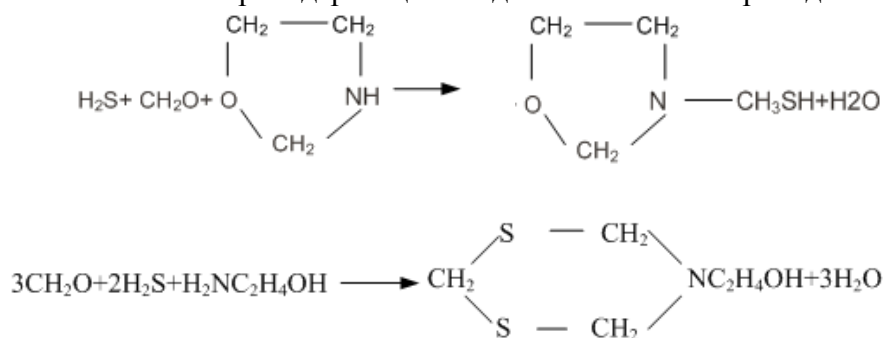
Рис. 1. Вязкостно-температурные кривые

**Содержание серы**, сернистость материала, зависит в первую очередь от содержания серы в тяжелых компонентах, используемых при изготовлении. Диапазон содержания серы в мазуте составляет 0.5-3.5 %. Поэтому при составлении рецептуры продукта, зная содержание серы в составляющих компонентах, просчитывают содержание общей серы в топочном мазуте с учетом установленных норм  $S_A \cdot A\% + S_B \cdot B\% + S_C \cdot C\% = S_{CM} \cdot 100\%$ , где  $S_{CM}$ ,  $S_A$ ,  $S_B$ ,  $S_C$  — содержание серы в смеси, в компонентах А, В, С, %.

При значении серы превышающей нормы, пересматривают рецептуру и уменьшают содержание высокосернистого компонента.

Появление сероводорода в нефтепродуктах объясняется частичным разложением органических сернистых соединений при термических воздействиях в процессах переработки нефти. Присутствие сернистых соединений в товарных нефтепродуктах крайне нежелательно, особенно активных соединений — таких как сероводород поскольку эти вещества крайне негативно влияют на машины и механизмы, трубопроводы, котельные емкости в процессе их использования, т.к. обладают высокой коррозионной активностью даже при низких температурах эксплуатации. Современные требования по содержанию сероводорода в товарных топочных мазутах чрезвычайно жесткие. Известны многочисленные способы удаления сероводорода из нефти и различных нефтяных фракций путем введения реагентов-нейтрализаторов сероводорода и различных сероводородпоглощающих добавок (присадок).

В настоящей работе были проведены исследования, в которых в мазут, содержащий сероводород, вводили формалиновую присадку. Присадка связывает сероводород в высокомолекулярные неактивные серосодержащие соединения по нижеприведенным уравнениям.



Используя разные составы и физико-химические свойства исходного материала, имеется возможность получать мазут, обладающий различными свойствами. В зависимости от плотности, вязкости и содержания в составе мазута серы производится оценка его качества.

Так, в мазут марки 40 для снижения температуры застывания до 10 °С добавляют 8-15 % среднестиллятных фракций, в мазут марки 100 дизельные фракции не добавляют. Флотские мазуты марок Ф-5 и Ф-12 предназначены для сжигания в судовых энергетических установках. По сравнению с топочными мазутами марок 40 и 100 они обладают лучшими характеристиками: меньшими вязкостью, содержанием механических примесей и воды, зольностью и более низкой температурой застывания. Флотский мазут марки Ф-5 получают смешением продуктов прямой перегонки нефти: в большинстве случаев 60-70 % мазута прямогонного и 30-40 % дизельного топлива с добавлением присадки.

Следует также отметить что при изготовлении мазутов нельзя вводить в них отработанные масла, так как они содержат большое количество присадок, отрицательно действующих на оборудование и окружающую среду при сгорании.

В настоящей работе исследовался мазут, для приготовления которого использовались следующие компоненты: прямогонный мазут, мазут вибрекинга, тяжёлый газойль, гудрон, тяжёлое дизельное топливо. Компоненты поступают на станцию смешивания мазутов, где для достижения однородности проводят его рециркуляцию, затем смесь перекачивают в товарный резервуар. Продукт анализируется содержание сероводорода и на ВУ.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Дизельное топливо имеет характеристики по вязкости, плотности значительно отличающиеся от основных составляющих мазута-тяжелых компонентов, поэтому достичь однородности облегченного дизельного топлива с мазутом представляется проблемой.

На стадии составления рецептуры приготовления мазута необходим анализ всех компонентов топлива и на основе показателей качества составление рецепта приготовления с включением присадок на  $\text{H}_2\text{S}$  и дизельное топливо. При этом вовлекать все компоненты необходимо через лопастные перемешивающие устройства. Все дизельное топливо будет равномерно перемешиваться с компонентами, что значительно сократит вовлечение дополнительных компонентов ДТ.

Выполнение мероприятий позволит уменьшить расход дизельного топлива для разбавления мазута и направить ДТ для приготовления другого, более дорогого продукта, сократить потребление электроэнергии, которая связана с дополнительными затратами на перекачку, а также рационально использовать время и предотвращение возможных простоев оборудования.

### Библиографический список

1. Справочник под редакцией В.М. Школьников «Топлива. Смазочные материалы. Технические жидкости. Ассортимент и применение» М., 1999 г.
2. Справочник под редакцией Б.В. Лосикова «нефтепродукты. Свойства, качества, применение» М., 1966г.
3. «Физико-химические и эксплуатационные свойства сернистых котельных и дизельных топлив» М., 1958г.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИЗВЕСТНОГО ВЕЩЕСТВА

В.Д. Михов, Е.А. Зайцев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [lidiakachanova30@gmail.com](mailto:lidiakachanova30@gmail.com)*

*Аннотация.* В данной работе мы проводим опыты, чтобы определить, какое неизвестное вещество содержится в исследуемом растворе (органическое или неорганическое).

*Ключевые слова:* неизвестное вещество, аналитическая химия, сульфат кальция.

## IDENTIFICATION OF AN UNKNOWN SUBSTANCE

V.D. Mihov, E.A. Zaitsev

*Ryazan state University of Radio engineering,  
Russia, Ryazan, [lidiakachanova30@gmail.com](mailto:lidiakachanova30@gmail.com)*

*Abstract.* In this work we conduct experiments to determine what an unknown substance contained in the examined solution (organic or inorganic).

*Keywords:* unknown substance, analytical chemistry, calcium sulfate.

### 1. Введение

Часто в химии появляется необходимость определить вещество. По правилам анализа сперва начинают определять класс исследуемого вещества, в нашем случае, неизвестного раствора. По физическим свойствам это сделать достаточно трудно. Мы поджигали раствор, и при его сгорании черной копоти не образовалось – это значит, что он неорганический. Для получения правильных результатов необходимы реакции, выполнению которых не мешают другие присутствующие ионы. Для этого нужны специфические (взаимодействующие только с определяемым ионом) или хотя бы селективные (избирательные) реагенты. К сожалению, селективных, тем более специфических реагентов очень мало, поэтому при анализе сложной смеси приходится прибегать к маскированию мешающих ионов, переводя их в реакционно-инертную форму, или, чаще, к разделению смеси катионов или анионов на составные части, называемые аналитическими группами. Делали мы это с помощью специальных (групповых) реагентов, которые с рядом ионов, реагируя в одних и тех же условиях, образуют соединения с близкими свойствами – малорастворимые осадки или устойчивые растворимые комплексы. Это и позволило разделить сложную смесь на более простые составные части. Качественный анализ состоит из следующих этапов: предварительные наблюдения; предварительные испытания; действие кислот на сухой образец; переводение анализируемой пробы в раствор; систематический (или дробный) качественный анализ катионов и анионов.

### 2. Теоретические сведения по качественному анализу

Качественный анализ – раздел аналитической химии, посвященный установлению качественного состава веществ, то есть обнаружению элементов и образуемых ими ионов, входящих в состав и простых, и сложных веществ. Делают это с помощью химических реакций, характерных для данного катиона или аниона, позволяющих обнаружить их как в индивидуальных веществах, так и в смесях.

Химические реакции, пригодные для качественного анализа, должны сопровождаться заметным внешним эффектом. Это может быть: выделение газа, изменение окраски раствора, выпадение осадка, растворение осадка, образование кристаллов характерной формы.

В первых четырех случаях за протеканием реакции наблюдали визуально, кристаллы рассматривают под микроскопом.

Для получения правильных результатов необходимы реакции, выполнению которых не мешают другие присутствующие ионы. Для этого нужны специфические (взаимодействующие только с определяемым ионом) или хотя бы селективные (избирательные) реагенты.

### 3. Основные приемы и методы анализа неизвестного образца

Приступая к исследованию химического состава данного вещества, мы внимательно его рассмотрели, определили его внешний вид, цвет, запах, степень измельчения (порошок, крупнозернистая или мелкозернистая смесь, сплошная масса и т. д.), наличие кристаллических или аморфных фаз и подготовили соответствующим образом к анализу и лишь после этого приступили к установлению его химического состава.

Предварительные испытания позволили установить присутствие некоторых элемен-

тов, обнаружение которых затруднено при систематическом ходе анализа.

Окрашивание пламени

Карминово-красный.....	$\text{Sr}^{2+}, \text{Li}^{2+}$
Кирпично-красный.....	$\text{Ca}^{2+}$
Желтый.....	$\text{Na}^{+}$
Желто-зеленый.....	$\text{Ba}^{2+}$
Сине-зеленый.....	$\text{Te}$
Светло-голубой.....	$\text{As}, \text{Sb}, \text{Pb}^{2+}$
Ярко-голубой.....	$\text{Cu}^{2+}, \text{Se}$
Фиолетовый .....	$\text{K}^{+}, \text{Rb}^{+}$ или $\text{Cs}^{+}$

#### **Испытание на продукты термического разложения**

При проведении этого теста небольшую порцию анализируемого вещества поместили на дно тугоплавкой пробирки (длиной ~7 см) и нагрели пробу, закрепив пробирку в горизонтальном положении, в пламени газовой горелки. Окрас – кирпично-красный. Возможно в состав вещества входят ионы кальция.

#### **Действие разбавленной (~1 моль/л) серной кислоты**

Разбавленная серная кислота вытесняет слабые кислоты из их солей — карбонатов, сульфитов, тиосульфатов, сульфидов, цианидов, нитритов, ацетатов. Выделяющиеся слабые кислоты, неустойчивые в кислой среде, либо улетучиваются, либо разлагаются с образованием газообразных продуктов. Не наблюдали выделения газообразных продуктов, возможно в состав анализируемого вещества входит ион  $\text{SO}_4^{2-}$ .

#### **Действие концентрированной серной кислоты**

Концентрированная серная кислота при взаимодействии с анализируемым веществом может выделять газообразные продукты реакций также из фторидов, хлоридов, бромидов, иодидов, тиоцианатов, оксалатов, нитратов. Не наблюдали выделения газообразных продуктов, возможно в состав анализируемого вещества входит ион  $\text{SO}_4^{2-}$ .

#### **Растворение в воде**

Небольшое количество анализируемого вещества внесли в пробирку, прибавили несколько миллилитров дистиллированной воды и перемешали смесь некоторое время. Если вещество при этом полностью растворилось в воде, то большую часть вещества, отобранную для анализа, растворяют в возможно минимальном объеме дистиллированной воды и полученный раствор анализируем далее. Небольшую часть исходной твердой анализируемой пробы оставили для проведения повторных или проверочных тестов, если это окажется необходимым.

#### **Анализ на катионы**

По внешним признакам вещество белого цвета, по предварительным испытаниям — похоже на ион кальция  $\text{Ca}^{2+}$ . Провели реакцию с групповым реактивом — карбонатом аммония, наблюдаем осадок белого цвета, что характерно для карбоната кальция. Провели опыт с хроматом калия, осадка нет, что характерно для иона кальция. Провели реакцию с сульфатом аммония. Насыщенный раствор не осаждает ионы кальция, что мы и наблюдаем — осадка нет. Провели реакцию с оксалатом аммония, наблюдали осадок белого цвета, что характерно для оксалата кальция. Провели опыт с гипсовой водой, осадка не обнаружили, что характерно для иона кальция.

#### **Анализ анионов**

К раствору анализируемого вещества добавили нитрат серебра — осадка нет, следовательно, исключили всю первую группу анионов. Добавили к раствору анализируемого вещества дифениламин — фиолетового окрашивания не наблюдали, следовательно, исключили третью группу анионов. Анализируем вторую группу анионов. Добавляя ранее серную кислоту, выделения газов не наблюдали, следовательно, анионов  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$  нет. Добавили молибденовую жидкость — желтого кристаллического осадка не наблюдали. Вывод:  $\text{PO}_4^{3-}$  нет. Остаётся ион  $\text{SO}_4^{2-}$ , добавили серную кислоту — наблюдали осадок белого цвета, что подтверждает, что ион существует в растворе.

## Вывод

Анализируемое вещество – сульфат кальция.

## Библиографический список

1. Аналитическая химия. Качественный анализ: методические указания к лабораторным работам/ Рязан. гос. Радитехн. ун-т; сост. Л.П. Качанова. Рязань, 2013. 40 с.
2. Аналитическая химия: Учебник для учащихся техникумов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. Школа, 1979-384с., ил.
3. Коваленко Н.А. Количественный химический анализ: учеб. Пособие / Н.А.Коваленко, Е.В.Радион. – Минск: БГТУ, 2004.-67С.
4. Крешков А.П. Основы аналитической химии: в 3 кн. – М.: Химия, 1976. Кн.1. – 472 с.
5. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии / Ю.Ю.Лурье. – М.: Химия, 1989 - 448 с.

УДК 547-3;54.084; ГРНТИ 61.51.31

## ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХРОМАТОГРАФИИ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**А.И. Ярославцева\*, Н.А. Барнаковский\* Т.П. Шуварилова\*\***

*\* МБОУ «Школа № 3 «Центр развития образования»,  
Россия, Рязань, 79065445680@yandex.ru, nbarnakovskiy@yandex.ru*

*\*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, tatpans@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматриваются возможности применения хроматографии от исследования химического состава нефтепродуктов до качества продуктов пищевой промышленности.

*Ключевые слова:* хроматография, нефтепродукты, метод бумажной хроматографии, показатели качества, ингибирующие вещества.

## THE POSSIBILITY OF APPLYING CHROMATOGRAPHY IN THE QUALITY CONTROL FOOD INDUSTRY

**A.I. Yaroslavtseva\*, N.A. Barnakovskiy\*, T.P. Shuvarikova \*\***

*\* MBOU "School № 3 "education development Center",  
Russia, Ryazan, 79065445680@yandex.ru, nbarnakovskiy@yandex.ru*

*\*\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Ryazan, Russia, tatpans@mail.ru*

*Abstract.* Discusses the possibility of using chromatography from studies of the chemical composition of petroleum products to the quality of food products.

*Keywords:* chromatography, petroleum products, method of paper chromatography, quality indicators, inhibitory substances.

Темой представленной работы является изучение возможностей хроматографии в самых различных сферах деятельности человека.

**Хроматография** – это физико-химический метод разделения и анализа смесей веществ, основанный на различном распределении веществ между двумя фазами: подвижной и неподвижной.

Подвижная фаза представляет собой поток жидкости или газа, проходящий через неподвижную фазу и переносящий вещество. Неподвижная фаза - как правило, твердое вещество с развитой поверхностью или, реже, жидкость, способные обратимо взаимодействовать с веществом.

Метод основан на различии в скоростях движения исследуемых компонентов, которые перемещаются в потоке подвижной фазы (элюента) вдоль слоя неподвижной фазы. При этом исследуемые составляющие соединения распределены между обеими фазами.

В зависимости от агрегатного состояния подвижной фазы различают несколько видов хроматографии.

Хроматография получила широкое применение в различных областях.

Часто хроматографию используют при анализе смесей углеводородов. Хроматографические методы разделения и анализа нефти и нефтепродуктов основаны на явлении избирательной сорбции.

Также хроматографию применяют в пищевой промышленности для определения состава продуктов и проверки наличия тех или иных веществ в них. Для этого использую бумажную хроматографию.

В основе метода лежит разница в скорости передвижения составных элементов исследуемой смеси по бумаге в потоке элюента. Одним из преимуществ данного вида хроматографии является то, что он является менее затратным по сравнению с остальными видами. Поэтому бумажная хроматография применяется для определения наличия веществ, в том числе и вредных в продуктах питания.

Именно метод определения антибиотиков в молоке, работающий по принципу бумажной хроматографии был применен в исследовании.

Мы часто слышим о пользе молока. Молоко играет важную роль в жизни человека. Но, цельное молоко как продукт, имеет свойство быстро портиться, поэтому хранится оно недолго. Однако можно наблюдать, что молоко в магазине в пакете имеет длительный срок годности.

Интерес вызвало именно то, чем пакетированное молоко отличается от цельного, как эти отличия влияют на качество молока и его пользу для здоровья человека. Большинство людей пьют молоко и считают его необходимым для здоровья. Но многие не задумываются о составе, покупая молоко того или иного производителя. Следует выбирать наиболее качественные продукты, чтобы не нанести вред своему здоровью.

### **Цель работы**

Целью выполненной работы стало изучение физико-химических свойств пастеризованного и ультра-пастеризованного молока и выполнение ряда испытаний по определению его качества. Большую услугу в этом направлении дают возможности хроматографии. Для этого важно изучение хроматографии как вида исследования состава продуктов питания.

*Для исследования необходимо было решить следующие задачи:*

- изучить методику определения компонентов молока, химического состава и основные физико-химические свойства молока;
- узнать, что такое хроматография, ее виды и применение;
- выполнить испытания методом хроматографии;
- сравнить молоко различных производителей по химическому составу и показателям качества молока;
- сделать соответствующие выводы.

*Практическая значимость исследования:* результаты исследования можно применять на практике. Полученные данные помогают понять, молоко каких производителей является наиболее качественным, а какое может нанести вред здоровью.

### **Основная часть**

Для этого исследования было выбрано молоко «Амка», ООО Агромолкомбинат «Рязанский»; «Продукты из Старожилово», ОАО «Старожиловский молочный комбинат»; «Ясный луг», ОАО «Мечта» (Республика Мордовия).

Исследование было начато с изучения состава молока. Работа была проведена в лаборатории, расположенной на базе санитарно-эпидемиологической службы города Рязани. Анализ молока в санитарно-эпидемиологической службе Рязани производится на лабораторном приборе «Лактан 1-4 М». С его помощью в молоке определили следующие показатели: плотность, количество белка, жира, СОМА (сухого обезжиренного молочного остатка) и массовую долю воды. Принцип действия анализатора основан на измерении скорости и степени затухания ультразвуковых колебаний при прохождении их в молоке при двух различных температурах.

Результаты исследования представлены в таблице 1:



Таблица 1 - Физико-химические показатели молока

				Нормативы
Содержание жира(%)	3,26	3, 63	3,31	0.1 – 9.9
Содержание белка(%)	3,28	3,98	3,07	>2.8
СОМО(%)	8,42	9,36	8,53	8
Содержание воды	0	0	0	0
Плотность (кг/м3)	1029,53	1032,84	1029,93	-

Таким образом, было выяснено, что физико-химические показатели молока разных производителей отличаются. Все результаты находятся в пределах допустимых значений. Но некоторые из них не соответствуют заявленным цифрам на упаковке.

Затем в лаборатории была определена кислотность молока, чтобы выяснить, насколько долго его можно хранить. Получились следующие результаты:

Таблица 2 - Кислотность молока

			
Кислотность (°T)	19	20, 5	18

Все результаты соответствуют нормам ГОСТ.

Было проведено исследование образцов молока на наличие в них консерванты, роль которых в данном случае выполняют антибиотики. Такой анализ занимает несколько суток, но также существуют экспресс-методы. Одним из таких тестов является «Дельвотест SP NT», который занимает 3 часа. С помощью него можно определить качественное содержание тетрациклиновых и пенициллиновых антибиотиков в молоке.

Проведение опыта. Молоко с помощью пипетки помещается в агаровую питательную среду, содержащую споры микроорганизмов *Bacillus Stearothermophilus*. Ампулы с образцами ставят в инкубатор. Проведение этого опыта представлено на рисунке 1.

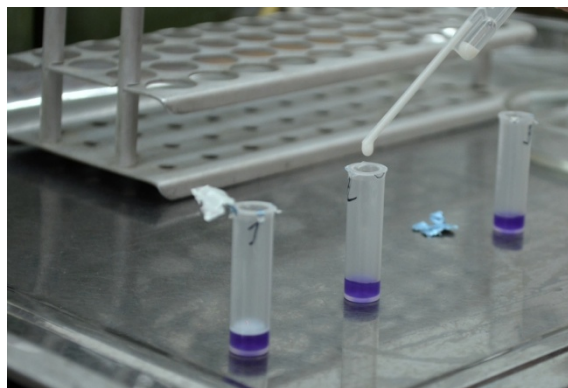


Рис. 1

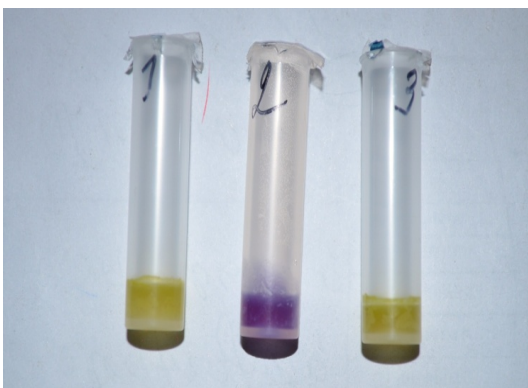


Рис. 2

Если в молоке отсутствуют антибиотики, то при повышении температуры споры размножаются, и образуется кислота. Из-за этого индикаторная среда меняет цвет с фиолетового на желтый.

В результате этого теста, удалось выяснить, что в одном из образцов молока антибиотики совсем отсутствуют, в другом – присутствуют в большом количестве, в третьем – в небольшом количестве. Сказанное выше подтверждает рис. 2.

Далее был проведен опыт по определению качественно наличия антибиотиков в молоке. Для проведения данного исследования в лаборатории используют бумажную хроматографию. Для этого был использован «4-sensor» экспресс метод определения качественно наличия четырёх антибиотиков: тетрациклина, левомицетина, пенициллина и стрептомицина.

Процесс испытания протекает в определённой среде связанной с микрочастицами золота. Данная среда имеет сиреневый цвет. Её структура представлена в виде микрогранул, размещённых в микролунке. Второй компонент для испытания – тест с линиями связывания. В одноразовую пробирку помещают содержимое микролунки и добавляют 0,2 мл молока (около 4 капель). Затем на песочной бане нагревают пробирку при 40 градусах в течение 5 минут. После этого в среду опускают тест-полоску и нагреваем ещё 5 минут. Если реагент из микролунки связался с предполагаемым антибиотиком в течение первых 5 минут инкубации, то после погружения тест - полоски во вторые 5 минут будет отсутствовать зона поглощения в соответствующих линиях. Если антибиотиков нет, то происходит проявление тестовых полосок.

Верхняя полоска – контрольная. Её проявление говорит о пригодности теста.

Все остальные полоски показывают наличие соответствующих антибиотиков: 2 – тетрациклин; 3 – левомицетин; 4 – стрептомицин; 5 – пенициллин

Тестирование по данному методу подтвердило результаты прошлого опыта. Удалось выяснить, что в образце молока (показавшего положительный результат в тесте «Дельвотест SP NT»), содержатся такие антибиотики, как: левомицетин и пенициллин. Сказанное выше подтверждает рисунок 3.

Данное исследование показало, что не все производители молочных продуктов строго следуют нормам качества молока и добавляют в свои продукты ингибирующие вещества. Такое молоко несёт людям не пользу, а, наоборот, вред. Полученные данные помогли понять, молоко каких производителей, продаваемое в городе Рязани, наиболее качественно, а значит и полезно для здоровья. А также проведенные исследования дают возможность сделать вывод, что технические возможности, методики и испытательное оснащение дают возможность контролировать качество пищевой продукции при предъявлении более жестких требований как к производителям, так и к контролирующим органам.

### **Заключение**

В ходе выполненной работы была изучена методика определения компонентов молока, химического состава и его основных физико-химических свойств. Изучен метод хроматографических исследований, его виды и возможности применения на практике. Главной частью работы стало исследование состава молока трёх производителей молочной продукции Рязани и определение физико-химических свойств пастеризованного и ультра пастеризованного молока в лаборатории. Основным лабораторным исследованием было определение качественно наличия антибиотиков в молоке методом бумажной хроматографии. Вместе с этим было проведено сравнение молока различных производителей по химическому составу и показателям качества.



### Библиографический список

1. Жуховицкий А.А., Туркельтауб Н.М. Газовая хроматография. М.: Гостоптехиздат, 1962, 240 с.;
2. Сакодынский К.И., Киселев А.В., Иогансен А.В. и др. Физико-химическое применение газовой хроматографии. М.: Химия, 1973, 254 с.;
3. Морозов А.А. Хроматография в неорганическом анализе. М.: Высш. шк., 1972, 233 с.;
4. Лабораторное руководство по хроматографическим и смежным методам. В 2 т. Под ред. О.Микеш. М.: Мир, 1982, т. 1–2, 783 с.;
5. Хроматографический анализ окружающей среды. Под ред. Р.Гроба. М.: Мир, 1979, 606 с.;
6. <http://www.znaytovar.ru/new635.html>
7. <http://standartgost.ru/>
8. Горбатова К. К. Химия и физика молока / изд. Гиорд, 2004.

УДК 665.6.7; ГРНТИ 61.51.13

## РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА СЕРНИСТЫХ СОЛЕЙ В ОЧИЩЕННОЙ НЕФТИ

**А.А. Кормилицына, Вик. В. Коваленко**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [vikvaskov@mail.ru](mailto:vikvaskov@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе описана разработка виртуального анализатора для оперативного управления технологическим процессом электрообессоливающей установки.

*Ключевые слова:* виртуальный анализатор, управление, модель, регрессионный анализ

## DEVELOPMENT OF THE VIRTUAL ANALYZER OF SULPHUROUS SALTS IN THE CLEARED OIL

**A.A. Kormilitsyna, V.V. Kovalenko**

*Ryazan State Radiotechnical University,  
Russia, Ryazan, [vikvaskov@mail.ru](mailto:vikvaskov@mail.ru)*

*Abstract.* In this work development of the virtual analyzer for operational management of technological process of the electrodesalinating installation is described.

*Keywords:* virtual analyzer, management, model, regression analysis

Одной из тенденций в развитии промышленности является снижение вариабельности технологических процессов. Этому способствует внедрение систем улучшенного управления технологическими процессами [1], применение ситуационного моделирования технологических процессов при оперативном управлении по показателям качества продуктов [2]. Центральную роль при этом играют виртуальные анализаторы качества продукции, представляющие собой математическую модель связи показателя качества с параметрами технологического процесса.

Параметрами виртуального анализатора могут быть коэффициенты полинома, которые определяются по значениям показателя качества продукции, отбираемой на технологической установке в заданное время, с учетом синхронно регистрируемых параметров технологического процесса. В данной работе на примере электрообессоливающей установки (ЭЛОУ) выполнена разработка виртуального анализатора сернистых солей в обессоленной нефти.

В лаборатории определение концентрации сернистых солей в обессоленной нефти производится методом, основанным на десорбции сероводорода из известной массы нефти азотом, не содержащим кислород, в щелочную суспензию гидроокиси кадмия. Полученный сульфид определяют, используя спектрофотометр. При этом проводят два параллельных определения. Испытания проводятся на установке Quickfit N MF 15/2B/SC. Результаты лабораторного анализа параметров обессоленной нефти (плотность, массовая доля воды (2 раз в сутки), массовая доля хлористых солей (1 раз в сутки)), регистрируются в «Режимном листе» ЭЛОУ. Параметры технологического процесса (49 наименований) регистрируются каждые 2 часа.

Объем выборки параметров технологического процесса (49 наименований) с анализом обессоленной нефти по показателю качества «Массовая доля хлористых солей» ( $H_{0\_соля}$ ), равен 84. Гипотеза о нормальном распределении параметра  $H_{0\_соля}$  подтвердилась (рис. 1).

Отбор наиболее информативных относительно показателя качества  $H_{0\_соля}$  производился по уровню их корреляции. При этом для нормально распределенных параметров технологического процесса корреляция с показателем качества оценивалась по параметрическому методу Пирсона, в противоположном случае - по непараметрическому методу Спирмана [3].

Для отбора переменных для линейной регрессии используются различные методы:

- *Ввод (регрессия).* Все переменные в блоке вводятся на одном шаге.
- *Пошагово.* На каждом шаге в уравнение включается новая независимая переменная с наименьшей вероятностью. Переменные исключаются, если их вероятность становится достаточно большой.
- *Отбор исключением.* Все переменные вводятся в уравнение, а затем последовательно исключаются из него по мере увеличения частной корреляции с показателем качества.

Поэтому можно построить целый ряд регрессионных моделей для одного и того же набора переменных.

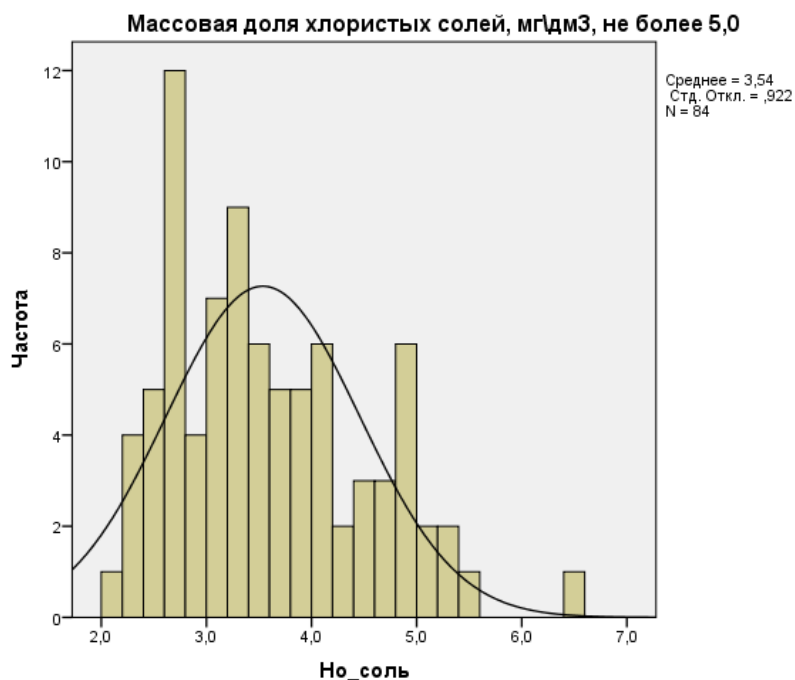


Рис.1. Гистограмма распределения показателя качества  $H_{0\_соля}$

В таблице 1 представлен один из вариантов решения линейной регрессии, которую можно записать в следующем виде:

$$H_{0\_соля\_мод} = 15,302 - 0,025 \cdot \text{Пр\_нф} + 8,18 \cdot \text{ЭН2\_Амп2} - 1,091 \cdot \text{Пр2\_вода\%},$$

где Пр\_нф – производительность: нефть; ЭН2\_Амп2 – ток 2 электродегидратора 2; Пр2\_вода% - производительность ЭД-2: расход воды.

Таблица 1 - Параметры регрессионной модели

Наименование параметры модели	Значения параметров модели	Значимость
(Константа)	15,302	,006
Пр_нф	-,025	,147
ЭН2_Амп2	8,180	,039
Пр2_вода%	-1,091	,001

В таблице 2 выполнено сравнение лабораторных анализов  $H_{o\_сопь}$  (столбец Анализ) и значения  $H_{o\_сопь\_мод}$  (столбец Модель), рассчитанных по модели для случайно выбранных десяти строк в «Режимном листе». Графически это сравнение представлено на рисунке 2.

Наибольшая погрешность модели составила 37,8%, половина рассмотренных примеров имеет погрешность менее 13%. Среднее значение погрешности модели не превышает 20%.

По построенной модели показателя качества  $H_{o\_сопь\_мод}$  в любой момент времени можно вычислить содержание хлористых солей в обессоленной нефти. Модель позволяет оперативно управлять показателем качества путем подбора управляемых параметров технологического процесса, обеспечивая при этом его заданное значение.

Таблица 2 – Анализ точности модели

№ стр. в журнале	Анализ	Пр_нф	Эн2_Амп2	Пр_вод2	Модель	Погрешность модели %
74	3,4	370	0,34	4,9	3,4873	2,5
77	2,5	371	0,33	4,9	3,3805	35,2
81	2,6	367	0,33	4,9	3,4805	33,8
3	6,5	350	0,28	4,4	4,042	37,8
4	4,7	352	0,34	4,2	4,701	0,02
7	4,1	353	0,33	4,1	4,7033	14,7
8	4,1	351	0,33	4,8	3,9896	2,69
48	2,8	368	0,32	5,1	3,1555	12,6
16	5,2	373	0,36	5	3,4668	33,3
19	4,3	373	0,34	5	3,3032	23,1
Среднее значение						19,6

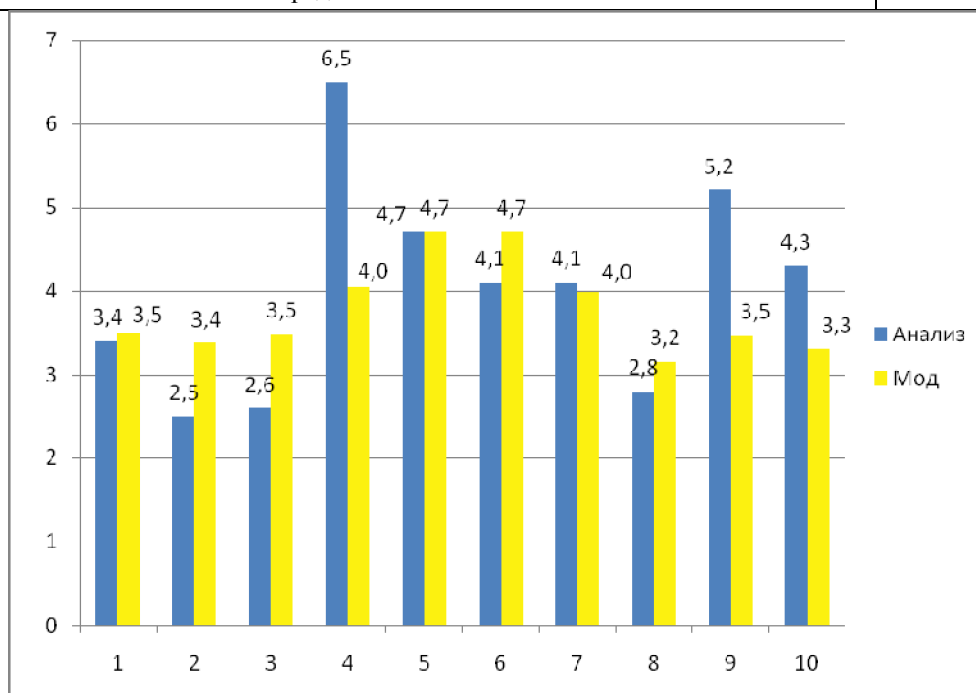


Рис. 2. Диаграмма оценки качества модели

## Выводы

Дефицит средств метрологического контроля показателей качества переработки нефти на потоке приводит к необходимости управления технологическими процессами путем отбора проб и проведения лабораторных анализов на дорогостоящем и перегруженном оборудовании. Поэтому применение виртуальных анализаторов является целесообразным для эффективного управления показателями качества технологических процессов.

### Библиографический список

1. Шумихин А.Г., Мусатов Д.А., Власов С.С., Немтин А.М., Плехов В.Г. Опыт разработки и внедрения систем усовершенствованного управления технологическими процессами нефтепереработки на базе виртуальных анализаторов качества //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета, Химическая технология и биотехнология. 2016. №2. – С. 39-53.
2. Муртазин Т. М. Ситуационное моделирование технологических процессов нефтепереработки при оперативном управлении по показателям качества продуктов: диссертация. кандидата технических наук : 05.17.07, 05.13.06.- Уфа, 2000.- 197 с.:
3. Ермолаев О. Ю. Математическая статистика для психологов. Учебник / О Ю Ермолаев - 2 е изд. Испр. - М.: Московским психолого-социальный институт Флинта. 2003. - 336 с.

## ИМИТИРОВАННАЯ ДИСТИЛЛЯЦИЯ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ

Т. Боева

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, tihoniy2010@yandex.ru*

*Аннотация.* Одной из основных задач российской нефтеперерабатывающей промышленности является улучшение качества товарных топлив. Физические свойства бензина напрямую зависят от фракционного состава. Способность к испарению – основной показатель, который учитывается при эксплуатации топлива в тех или иных климатических условиях. При производстве должно быть достигнуто оптимальное соотношение тяжелых и легких фракций. Фракционный состав является определяющей характеристикой при установлении области применения нефтепродуктов. Пределы выкипания гарантируют качество продуктов с соответствующими характеристиками испаряемости. В работе описаны проблемы анализа фракционного состава бензинов при помощи классической перегонки. А также был предложен альтернативный метод определения фракционного состава бензинов – метод имитированной дистиляции. Представленные в работе атрибуты и характеристики сопоставляемых методов показывают основные недостатки устаревшего стандартизованного метода и преимущества предложенного.

*Ключевые слова:* имитированная дистиляция, ASTM D 7096, фракционный состав, бензиновые фракции, хроматография

## SIMULATED DISTILLATION OF GASOLINE FRACTIONS

T. Boeva

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Ryazan oblast, Ryazan, tihoniy2010@yandex.ru*

*Abstract.* One of the main tasks of the Russian petrochemical industry is to improve the quality of commercial fuels. Physical properties of gasoline are directly dependent on the fractional composition. Volatilization is the main factor taken into account when fuel operation in various climatic conditions. When production is to be achieved the optimal ratio of heavy and light fractions. Fractional composition is the determining factor in establishing the scope of the petroleum products. The outside of the boil-off guarantee the quality of products with the corresponding characteristics of volatility. The paper describes the problem analysis of the fractional composition of gasoline by means of a classical distillation. And also proposed an alternative method of determining the fractional composition of gasoline – a method of simulated distillation. The attributes and characteristics of the compared methods show major disadvantages of outdated standardized method and the advantages offered.

*Keywords:* simulated distillation, ASTM D 7096, fractional composition of gasoline fraction, chromatography

### Введение

В РФ и странах СНГ самым распространенным жидким топливом для двигателей внутреннего сгорания является бензин — легкая жидкая фракция нефти, выкипающая при температуре до 200 °С.

В АО «РНПК» выпускаются неэтилированные автомобильные бензины по ГОСТ 32513 марок АИ-92, АИ-95, АИ-98 экологического класса 5.

Фракционный состав топлива в нашей лаборатории определяется по ГОСТ 2177 и ГОСТ ISO 3405 является одной из характеристик качества согласно ГОСТ 32513.

Фракционный состав бензинов характеризует испаряемость топлива. Испаряемость определяется температурой перегонки 10, 50 и 90 % выкипания фракций бензина.

Температура выкипания 10 % бензина характеризует пусковые свойства.



При температуре ниже предельных значений в системе питания двигателя могут образовываться паровые пробки, а при более высоких температурах запуск двигателя затруднен.

Температура выкипания 50 % бензина характеризует скорость перехода двигателя с одного режима работы на другой и равномерность распределения бензиновых фракций по цилиндрам.

Температура выкипания 90 % бензина влияет на полноту сгорания топлива и его расход, а также на нагарообразование в камере сгорания в цилиндре двигателя.

## 2. Определение фракционного состава по ГОСТ 2177 и ГОСТ ISO 3405

На картинке представлены примеры оборудования, которые находятся сейчас в лаборатории и на них проводятся испытания по определению фракционного состава бензинов.

Образцы оборудования представлены ниже на рисунке 1.



Рис. 1. Приборы для определения фракционного состава

За время работы по данным нормативных документам, выявлены следующие недостатки этих методов:

- 1) Ограничения на размер колбы, место расположения термометра, температуру загрузки нефтепродукта, динамические параметры процесса
- 2) Измерение не истинных температур кипения, а температур пара возле пароотводной трубки, что дает существенную погрешность измерения
- 3) Опасности: работа с горячими поверхностями, использование ртутных термометров и стеклянной посуды
- 4) Длительность проведения анализа - 60 минут
- 5) Значительный объем пробы – 200 см<sup>3</sup>
- 6) Поломки лабораторного оборудования
- 7) Трудоёмкость испытания

## 3. Реализации проекта и обоснование выбора метода

Целью данного проекта является поиск альтернативного метода определения фракционного состава бензиновых фракций получаемых с установок АО «РНПК», и получением достоверных результатов в короткие сроки с минимальными затратами физического труда.

Возможность провести анализ в короткий промежуток времени и получить результат для контроля параметров получаемой продукции в процессе переработки является большим подспорьем для регулировки работы режима установки.

И предлагаемым альтернативным методом является метод имитированной дистилляции – широко распространенный газохроматографический метод определения фракционного состава бензиновых фракций по АСТМ Д 7096.

Настоящий стандарт распространяется на бензиновые фракции с температурой кипения до 280 °С и устанавливает метод построения кривой ИТК исследуемого продукта на основании газохроматографического анализа.

Сущность метода заключается в следующем: проба бензина вводится в хроматограф, оснащенный капиллярной колонкой с неполярной неподвижной фазой. Под действием газоносителя – гелия образец проходит через колонку, в которой его компоненты разделяются на

углеводороды в порядке увеличения температур их кипения. И затем количественно регистрируются ПИД.

Определение фракционного состава и распределение содержания углеводов по температурам кипения происходит по калибровочной кривой.

Калибровочная кривая зависимости времени выхода углеводородов от температуры кипения строится по смеси углеводородов с известными температурами кипения представлена на рисунке 2.

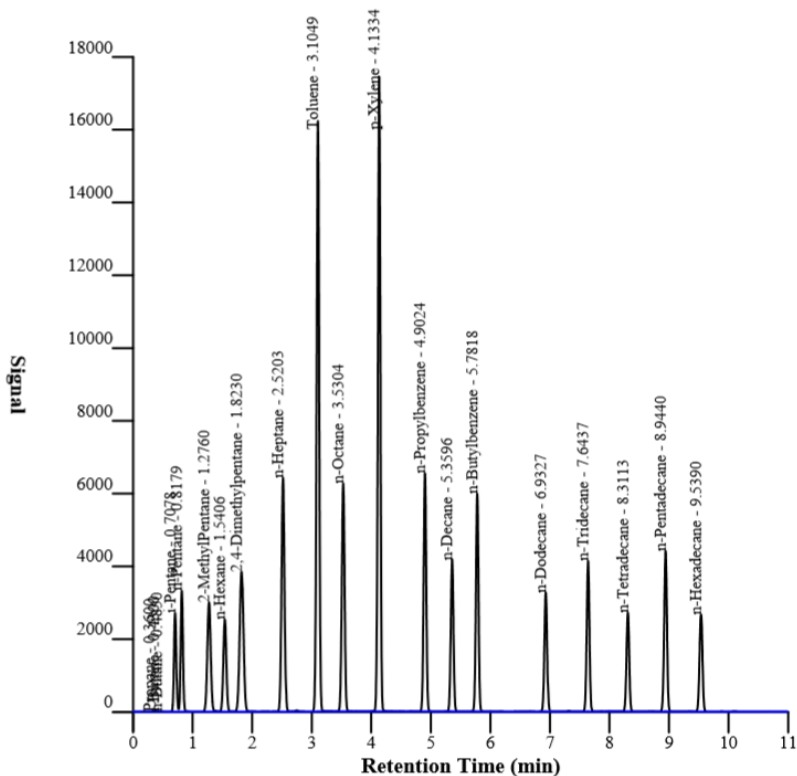


Рис. 2. Хроматограмма эталонной смеси углеводов

На рисунке 3 представлена хроматограмма эталонной смеси углеводородов, по которой строится калибровочная кривая.



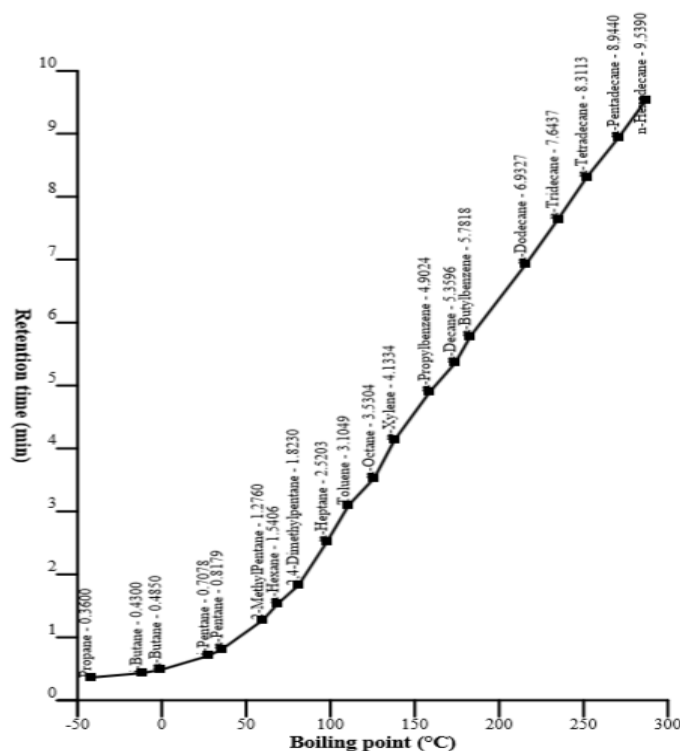


Рис. 3. Кривая зависимости времени выхода от температуры кипения

В таблице 1 представлена сравнительная таблица 2-х методов, согласно которой мы можем оценить преимущества ИД.

Из этой таблицы мы видим, что точность результатов анализа - качество, отражающее близость результатов к истинному значению измеряемой величины, на один градус выше у метода ИД, чем у используемого метода.

Также при использовании ИД в 4 раза сокращается время испытания, и данный метод позволяет работать с небольшими объемами образца – 2 см<sup>3</sup>.

Также сокращает количество нп выливаемого ежедневно в промышленную канализацию.

И так как для регистрации компонентов используется ПИД, и утилизация производится непосредственно во время проведения анализа.

Также преимуществом является высокая воспроизводимость результатов, так как процесс проведения анализа полностью автоматизирован, что позволяет исключить:

- зависимость от индивидуальных особенностей оператора;
- опасности присутствующие в используемом методе;
- снизить время участия оператора, так как можно будет задать очередность анализов

в планировщике, и без активного участия оператора провести до 16 анализов, и оператор подключится для обработки результатов.

Таблица 1 - Сравнение характеристик методов испытания

	ГОСТ 2177 ГОСТ ISO 3405	ASTM D 7096
Точность анализа:		
НК	2.82	1.83
10%	2.82	1.97
50%	2.82	1.83
90%	2.82	2.54
КК	4.23	6.06
Время выполнения испытания	60 минут	15 минут
Количество нефтепродукта для выполнения одного анализа	200 см <sup>3</sup>	2 см <sup>3</sup>
Количество нефтепродукта на утилизацию в сутки	7,2 дм <sup>3</sup>	отсутствует
Человеческий фактор влияния на процесс проведения испытания	присутствует	отсутствует
Опасности: работа с горячими поверхностями, использование ртутных термометров и стеклянной посуды	присутствует	отсутствует

### Выводы

Реализация проекта позволит:

- 1) повысить безопасность труда при проведении испытаний
- 2) уменьшить количество утилизируемого нефтепродукта
- 3) повысить эффективность работы лаборанта химического анализа
- 4) повысить оперативность предоставления результатов испытаний
- 5) исключить человеческий фактор при фиксации результатов испытания

### Библиографический список

1. Столяров Б.В., Савинов И.М., Витенберг А.Г. Практическая газовая и жидкостная хроматография. — М.: СПбГУ, 2002. — 611 с.
2. AC SimDis – полный спектр анализаторов имитированной перегонки для определения истинных температур кипения углеводородов до C120 [Электронный ресурс], URL: <http://www.neolabllc.ru/product/ac-simdis> (дата обращения 16.02.17).
3. Автоматический аппарат для определения фракционного состава нефтепродуктов OptiDist [Электронный ресурс], URL: <http://www.neolabllc.ru/product/optidisttm> (дата обращения 16.02.17).

# СЕКЦИЯ «АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ»

УДК 004.021; ГРНТИ 50.51.03

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА MODEL CHECKING ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

А.В. Калачев, А.В. Дурин, И.В. Сенокосов

Пензенский государственный университет,

andrei.kalachev@gmail.com

*Аннотация.* В данной работе описан метод для верификации нелинейных аналоговых систем с использованием метода Model Checking, на примере аналого-цифровых фильтров. Исследование основано на цифровых моделях верификации гибридных и CTL моделей. Была представлена возможность применения данных алгоритмов для верификации аналоговых систем. Метод подразделения автомата пространства, был применен для непрерывного пространства состояний, преобразованного в дискретную модель.

*Ключевые слова:* Model Checking, аналого-цифровые фильтры, CTL, verification

## USING OF MODEL CHECKING TO VERIFY TO APPLICATION ANALOG-TO-DIGITAL FILTERS

A. V. Kalachev, A. V. Durin, I. V. Senokosov

Пензенский государственный университет,

andrei.kalachev@gmail.com

*Abstract.* In this paper we describe a method to verify the non-linear analogue systems using the method of Model Checking, an example analog-to-digital filters. The investigation is based on digital models of verification and CTL hybrid models. It was presented the possibility of using these algorithms for verification of analog systems. Method division automata space, was used for the states of continuous space, transformed into a discrete model.

*Keywords:* Model Checking, analog-to-digital filters, CTL, verification

### 1. Введение

В последние годы формальные методы, такие как проверка эквивалентности и Model Checking, были успешно внедрены в области проектирования цифровых устройств, свидетельством этого является резкое увеличение числа коммерческих проектов. Тем не менее, эти методы по-прежнему мало применяются для аналоговой верификации.

Символьный анализ является перспективным методом, но он уступает формальным методам, применяющимся при верификации цифровых устройств. Известно, что, был опубликован подход эквивалентной проверки аналоговых цепей [1]. С другой стороны, инструменты цифровой верификации уже широко применяются для специальных гибридных систем [2], где цифровые компоненты системы подключены к некоторым аналоговым блокам или к аналоговой среде. Существующие методы в основном ориентированы на цифровую часть системы, где аналоговое поведение, как правило ограничено, и верификация результатов не подходит для оценки работоспособности аналоговой части системы. Такой подход не содержит полезной информации для разработчиков, занимающихся верификацией аналоговых устройств. Таким образом, количество формальных методов для аналоговых систем по-прежнему значительно меньше, чем для цифровых. В данной работе представлены алгоритмы Model Checking применимые для верификации аналоговых систем [2].

### 2. Описание системы

Наиболее общий класс систем рассматривается в контексте позиций и переходов. Большинство цифровых и гибридных средств верификации на основе метода Model Checking основаны на подобных системах. Типичная система состояний переходов описывается в виде предиката  $T = (Q, Q_0, \Sigma, R)$ , где  $Q$  - множество позиций системы,  $Q_0$  - множество начальных позиций системы,  $\Sigma$  - множество генераторов,  $R$  - переходное состояние, описываемое отношением  $R \subseteq Q \times \Sigma \times Q$  [3].

Система состояний переходов хорошо подходит для описания как цифровых, так и аналоговых систем. Для аналоговых систем множество состояний  $Q$  может быть представлено как пространство Евклида (пространство состояний) ассоциированное с переменными состояний системы. Начальное состояние  $Q_0$  - это точка в пространстве состояний, как правило

являющаяся рабочей точкой DC. Причиной переходов является два генератора  $\Sigma$ , первый из них отвечает за время  $t$ , а второй за входные значения  $u(t)$ . Состояние перехода отношения  $R$ , является непрерывной функцией времени.

### 3. Аналоговые системы

Аналоговые системы описываются нелинейной последовательностью дифференциальных алгебраических систем уравнений.

$$f(x(t), \dot{x}(t), u(t)) = 0, \text{ где} \quad (1)$$

входной переменной является вектор  $u(t)$  и вектор  $x(t)$   $n$ -ных систем переменных. В общем функция  $f$  является произвольно-нелинейной. Есть несколько способов построения таких уравнений из списка сетевых переходов или модели поведения, например, метод модифицированного узлового анализа (МУА).

Для получения дискретного и конечного описания числа состояний, непрерывные и неопределенные пространства состояний необходимо ограничить и подразделить. Ограничение определенной области осуществляется заданием пользователем начальной границы, содержащей рассматриваемое поведение системы [1]. Далее осуществляется преобразование полученного пространства состояний в дискретную модель [3], после чего становятся доступными цифровые средства верификации на основе метода Model Checking.

### 4. Расширение языка цифровых CTL моделей

Модифицированные алгоритмы разработаны на основе описанных CTL алгоритмов [2] и адаптированы для преобразованных аналоговых моделей. Язык был расширен минимальным набором операций, позволяющим работать с аналоговыми моделями. Значения CTL операторов сходно с верификаторами для цифровых моделей. Расширенный формат CTL языка имеет следующий вид (2).

$$\phi := b * v \mid \phi \circ \phi \mid \neg \phi \mid \triangleright \phi \mid \triangleright \phi \cup \phi, \quad (2)$$

где  $b$  – непрерывная переменная,  $v$  – действительное значение,  $*$  – аналоговые операторы ( $>$  – больше или  $<$  – меньше),  $\circ$  – логические операторы ( $\vee$  – ИЛИ,  $\wedge$  – И,  $\neg$  – отрицание),  $\triangleright$  – квантификаторы пути ( $E$  – на некоторых путях,  $A$  – на всех путях),  $\Diamond$  – операторы временной логики ( $X$  – в след. раз,  $F$  – в результате,  $G$  – всегда,  $U$  – до того, как). Например, формула  $\Theta = AF(\text{state1})$  может быть интерпретирована как: все пути в результате будут достигнуты, у которых  $\text{state1} = \text{true}$ , начинающиеся в состоянии  $\Theta$ .

### 5. Применение на примере аналоговых-цифровых фильтров

Возможность применения предложенного подхода представлена на примере биквадратного низкочастотного фильтра (рис. 1).

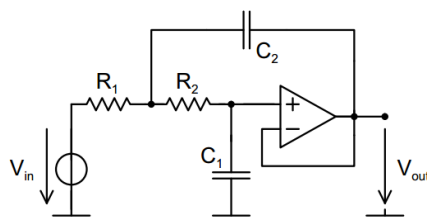


Рис. 1. Схема биквадратного низкочастотного фильтра

Модель на операционных усилителях аналогична триггеру Шмидта, но его особенность заключается в том, что максимальное выходное напряжение ограничено  $\pm 1.5$  в. Эта схема имеет 2 переменных напряжения на конденсаторах  $V_{c1}$  и  $V_{c2}$  [4]. Использование модели на заряжаемых конденсаторах, как правило, приводит к использованию двух зарядов в качестве переменных состояния. Наиболее удобно выполнять расчеты в вольтах, чем в зарядах. Граница чистоты  $\omega_c$  и фактор затухания  $d$  определяются формулами (3) и (4).

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3)$$

$$d = 0.5 C_1 \omega_c (R_1 + R_2) \quad (4)$$

В схеме используются резисторы разных номиналов, один с частотой  $\omega_c = 100 \text{ s}^{-1}$   $d = 0.5$ , второй с аналогичной частотой, но  $d = 2$ . В примере проверяется возможность превышения максимального порога в обоих фильтрах [5]. Поскольку эти параметры должны быть проверены для произвольных входных сигналов, была выбрана подходящая модель [6] входных значений. Входные значения сигналов находятся в диапазоне  $V_{in} = [-2, 2]$ , таким образом, что нелинейное поведение системы ограничено выходным значением напряжения. Ограниченное пространство состояний  $V_{c1} = [-4, 4]$  и  $V_{c2} = [-2, 5]$ . Начальное состояние в этом примере предполагается равным рабочей точке DC как  $V_{in}=0$ . Для того, чтобы определить какое состояние будет достигнуто от этой точки до произвольных выходных сигналов из заданного диапазона выполним преобразование в CTL выражение [7] (5).

$$\Phi_3 = iv(EF((V_{c2} < 0.5) \& (V_{c2} > -0.5) \& (V_{c1} < 0.5) \& (V_{c1} > -0.5) \& (V_{in} < 0.5) \& (V_{in} > -0.5))) \quad (5)$$

Вместо начальной точки было использовано начальное пространство состояний. Операция EF применяется для проверки того, какая позиция в конце концов достигнет начального пространства состояний и т.к. она имеет неверное направление, применяется инверсия времени (iv).

### Выводы

В результате, для того, что применять методы Model Checking для аналоговых систем, необходимо сначала её преобразовать в дискретную модель системы. Были разработаны алгоритмы преобразования модели в ходе, которого нелинейные и динамические свойства аналоговой системы сохранялись. Это осуществляется с использованием автоматического метода пространственного подразделения и алгоритмов построения связей между позициями и переходами. Внедренная CTL модель верификации цифровых моделей, основанная на цифровых алгоритмах, была несколько расширена, что позволяет её использовать для верификации аналоговых систем.

### Библиографический список

1. Hedrich L. and Hartong W. Approaches to formal verification of analog circuits. — Netherlands.: Kluwer Academic Publishers, 2001. — 191 p.
2. Alur R., Henzinger T., Lafferriere G., Pappas G. Discrete abstractions of hybrid systems [Текст] / R. Alur, T. Henzinger, G. Lafferriere, G. Pappas // Proceedings 7th International DEXA Workshop IEEE. - 2000. - V.1. - №3-1. - P. 971-984.
3. Vijayakumar A. P., Ramakrishnandevi N. Investigations on Forward Converters using LC, PI and Biquad HF Filters: High efficiency low noise SMPS system DC-to-DC converter side. — Germany.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. — 148 p.
4. Burch, E. Clarke, D. Long, K. McMillan, and D. Dill. Symbolic model checking for sequential circuit verification. [Текст] / J. Burch, E. Clarke, D. Long, K. McMillan, and D. Dill. // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. — Pennsylvania: IEEE publishing, 1994. — V. 1. — №1. — P. 324-335.
5. Baier C., Katoen J. P., Larsen K. G. Principles of Model Checking. — USA.: The MIT Press, 2008. — 984 p.
6. Berger C., Mousavi M. R., Wisniewski R. Cyber Physical Systems. Design, Modeling, and Evaluation: 6th International Workshop. — Germany.: Springer, 2016. — 127 p.
7. Hartong W., Hedrich L., Barke E. [Текст] Model Checking Algorithms for Analog Verification / W. Hartong, L. Hedrich, E. Barke // DAC New Orleans. - 2002. - V.1. - №4-1. - P.315-321.

УДК 004.9; ГРНТИ 82.33.13

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА НА БАЗЕ ВРМ СИСТЕМ ДЛЯ СТРАХОВЫХ АГЕНТСТВ

Д.С. Фёдоров, В.В. Коваленко

Сочинский государственный университет,  
Россия, г. Сочи, den9816@yandex.ru

*Аннотация.* В данной работе предложен способ автоматизации бизнес-процессов отдела урегулирования убытков через создание ВРМ-системы, описаны его преимущества по сравнению с разработкой и внедрением традиционной информационной системы. Для решения данной проблемы выделены цели и проблемные бизнес-процессы. В итоге был построен новый сквозной бизнес-процесс, на основе которого запущена ВРМ-система. Разработка

проекта выполнена на базе российских пакетов бизнес-моделирования Business Studio и ELMA.

*Ключевые слова:* бизнес-процесс, BPM-система, процессный подход, урегулирование убытков, страховая компания, ELMA, Business Studio.

## **IMPLEMENTATION PROCESS APPROACH BASED BPM-SYSTEMS FOR INSURANCE AGENCY**

**D.S. Fedorov, V.V. Kovalenko**

*Sochi State University,*

*Russia, Sochi, den9816@yandex.ru*

*Abstract.* This article provides a method for business process automation of department of claims settlement through the creation of the BPM-system, its advantages are described in comparison with the development of traditional information systems. The objectives and problematic business processes were highlighted to solve this problem. As result, the new workflow has been constructed on which BPM-system launched. The project was carried out on the basis of Russian software usiness modeling Business Studio and ELMA.

*Keywords:* business-process, BPM-system, process approach, claims settlement, workflow, underwriter, ELMA, Business Studio.

### **1. Введение**

Страхование является старейшей формой защиты человека от непредвиденных ситуаций и различных опасностей. Сегодня страхование является незаменимым спутником общественного производства, представляя собой универсальное всеобщее средство страхования доходов, собственности, имущественных интересов, безопасности и стабильности предпринимательства. Страховой бизнес требует развития и адаптации к внешним условиям, поэтому информационная система должна быть очень гибкой, позволяя максимально быстро привести работу компании и работу системы к новым реалиям.

В связи с этим, в данной работе рассматривается разработка BPM-системы (Business Process Management System – система управления бизнес-процессами), полностью ориентированной на процессный подход в управлении. Важная особенность BPMS в сравнении с классической информационной системой – постоянная адаптация, развитие и совершенствование бизнес-процессов по циклу Деминга.

Говоря об оригинальности данного проекта, стоит отметить, что в России рынок систем управления бизнес-процессами лишь начинает формироваться. При этом демонстрируются довольно высокие темпы роста рынка BPM, составляющие по некоторым оценкам 15–20% в год, что подтверждает его перспективность. Однако многие страховые компании на данный момент ещё не пользуются преимуществами автоматизации бизнес-процессов, к таким относится и сочинский филиал Росгосстраха.

### **2. Обследование предметной области**

Важнейшим признаком современного подхода в управлении является процессный подход. Такой подход представляет собой делегирование полномочий и ответственности через бизнес-процессы, где каждый бизнес-процесс - это устойчивая и многократно повторяющаяся деятельность, преобразующая входные ресурсы/документы в результаты (выходные документы). В рамках данного подхода предполагается выделение проблемного бизнес-процесса, его участников, назначение одного из них как владельца, давая ему возможность и распределения полномочий и ответственности по управлению данным бизнес-процессом. Участник каждого бизнес-процесса подчиняется функциональному руководителю и владельцу бизнес-процесса. Таким образом, совмещается применение одновременно следующих подходов к управлению деятельностью: функционального и процессного [1].

Одним из главных критериев при выборе страховой компании у клиентов является не только адекватность размера компенсации по отношению к ущербу, но и оперативность его возмещения [2]. Но страховщикам не выгодно компенсировать ущерб слишком быстро: практически все их средства находятся в обороте, а при наступлении страховых случаев эти деньги из оборота нужно извлекать. В таких условиях особенно важно соблюдать грань между расположением клиента и финансовой выгодой для страховщика. Опираясь на данный

факт, была построена схема исполняемого процесса «Повышение оперативности урегулирования убытков» в среде пакета ELMA BPM, описывающая работу всего отдела (рис. 1).

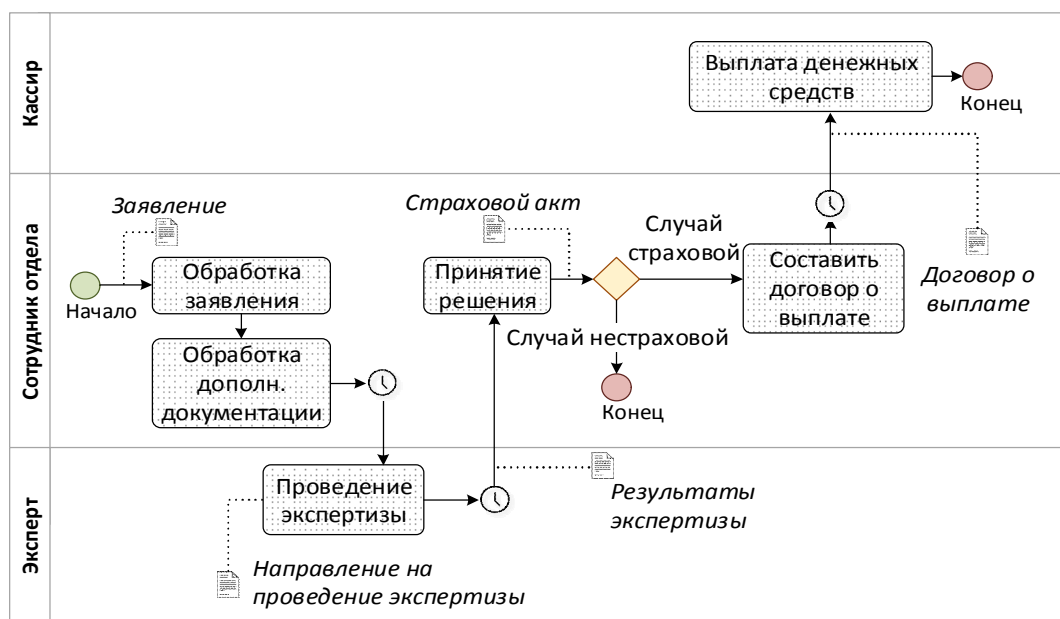


Рис. 1. Бизнес-процесс «Урегулирование убытков» в нотации BPMN

### 3. Регламентная документация

Один из способов повысить эффективность управление – чёткая регламентация деятельности отдела. Добиться этого можно с помощью пакета Business Studio или ELMA BPM, автоматически сгенерировав необходимые регламентные документы (рис. 2) [5]. Документы строятся на основе следующих данных:

- последовательность действий;
- передаваемая информация;
- выполняемые роли в бизнес-процессе;
- контроль бизнес-процесса.

Образец должностной инструкции, сгенерированной в пакете Business Studio, изображён на рисунке 3.

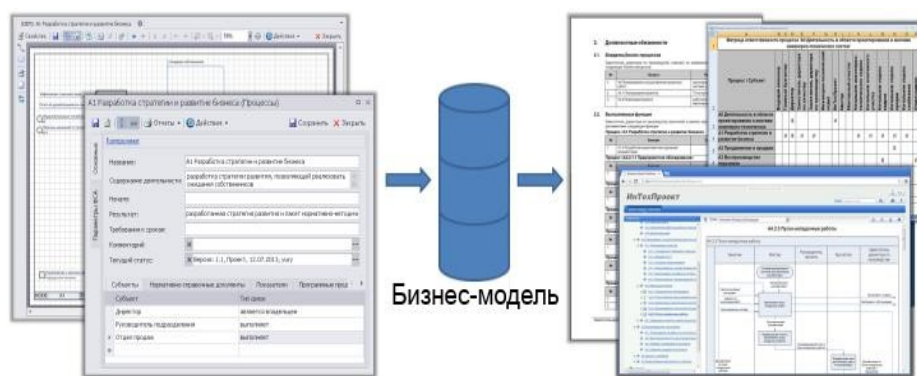


Рис. 2. Схема генерирования регламентной документации

## 1. Общие положения

1. Сотрудник (далее по тексту – должностное лицо) является сотрудником подразделения «Отдел урегулирования убытков».

### 1.1. Документация

В своей деятельности Сотрудник руководствуется следующей плановой и нормативно-методической документацией:

- Документами распорядительного характера
- Настоящей Должностной инструкцией
- Иными методиками, инструкциями и нормативно-методическими документами, регламентирующими работы, выполняемые Должностью

## 2. Должностные обязанности

### 2.1. Выполняемые функции

Сотрудник выполняет в рамках процессов в соответствии с их регламентами следующие функции:

Процесс «А3 Урегулирование убытков»

№	Функция	Требования к срокам
1.	А3.1 Обработка заявления	Не более 7 дней
2.	А3.2 Обработка дополнительной документации	В зависимости от документации и вида страхования
3.	А3.4 Принятие решения	До 15 дней со дня подачи документов
4.	А3.5 Случай страховой?	
5.	А3.6 Отказ в выплате	До 2 дней с даты подписания акта о непризнании случая страховым
6.	А3.7 Согласование выплаты с клиентом	До 2 дней с даты подписания страхового акта
7.	А3.9 Клиент согласен?	
8.	А3.12 Составить договор о выплате	Сразу после согласия клиента

Рис. 3. Фрагмент должностной инструкции сотрудника

В принципе, управление можно осуществлять уже на этом этапе, полностью опираясь на автоматически сгенерированные актуальные регламентные документы и добросовестность исполнителей, то есть без создания BPM-системы. Но в этом случае эффективность управления во многом будет зависеть от человеческого фактора, насколько добросовестно персонал будет следовать регламентам. Поэтому внедрение BPM-системы более предпочтительно.

## 4. Разработка BPM-системы

Идея такой системы предельно проста: берётся описание бизнес-процесса, а затем отслеживается его выполнение при помощи специализированного программного обеспечения.

Традиционный способ автоматизации бизнес-процессов – разработка или приобретение готового прикладного программного обеспечения. Но на практике классические информационные системы автоматизируют только часть шагов бизнес-процесса, а небольшие модификации в схеме бизнес-процесса вызовут необходимость разработки новой версии ПО и большие затраты времени. В результате прикладные программы не успевают обновляться в том темпе, который диктуют изменяющиеся условия бизнеса и потребности самого предприятия. И в качестве решения данной проблемы выступают BPM-системы [3].

Суть такого решения заключается в том, что бизнес-процесс описывается на языке, который может непосредственно исполняться специализированной программой. К таким программам относятся Bizagi BPM Suite, Bonita Open Solution, OPTIMA-WorkFlow. В данном проекте использовался пакет ELMA BPM, созданный ижевскими разработчиками.

Начиная с первого события и заканчивая последним, бизнес-процесс реализуется на основе его графической модели, построенной в ELMA (рис. 1). Списки тех работ, которые должны производиться сотрудниками компании, формируются в автоматическом режиме. Задача назначается пользователю только тогда, когда наступает время исполнения с подхода в управлении ответствующего этапа. Сотрудник же в рамках той или иной задачи может вы-



полнить только конкретные действия, жёстко определённые алгоритмом выполнения бизнес-процесса.

BPM-система позволяет запускать большое количество экземпляров того или иного процесса в один и тот же момент времени. Каждая задача, каждый процесс, в котором участвуют сотрудники, становится отдельной рабочей линией. И к каждой такой линии заводится карточка, включающая в себя всю необходимую информацию: выполняемые в данный момент задачи и их статусы, текущие показатели, исполнители и т.д. Выполняются рабочие линии параллельно [4].

Доступ пользователей к BPM-системе реализован через Web-интерфейс (рис. 4), включающий в себя персональный список задач и перечень шагов запущенных экземпляров бизнес-процессов для данного пользователя.

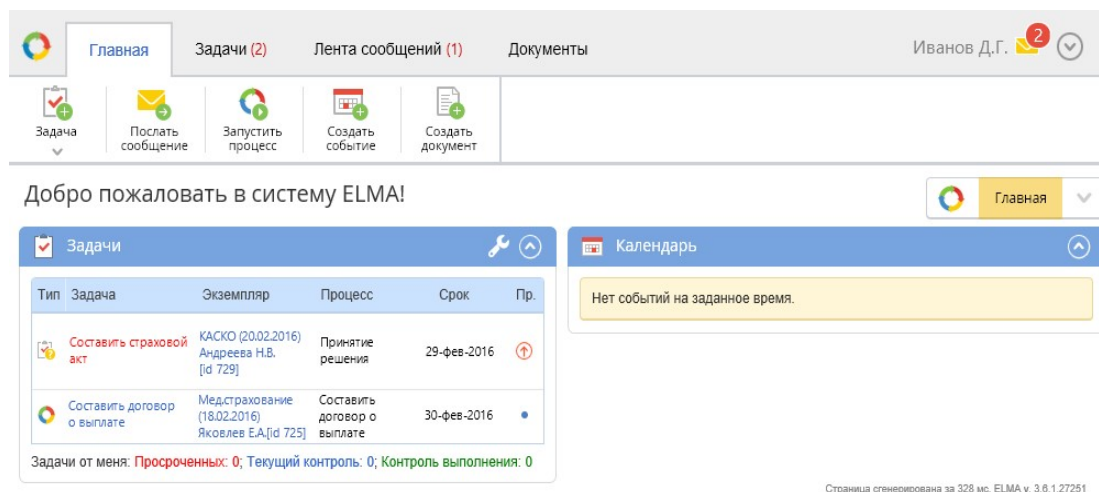


Рис. 4. Интерфейс пользователя - перечень задач

## 5. Результаты

Результат применения процессного подхода – схема исполняемого процесса «Повышение оперативности урегулирования убытков», описывающая работу всего отдела. На основе разработанного процесса можно сгенерировать регламентную документацию, которая будет в точности ей соответствовать. Схема при этом поддается модификации, и уже на основе изменений отдел имеет возможность получить и обновлённый исполняемый процесс, и новую документацию.

Каждый сотрудник имеет свои задачи и сроки их выполнения, строго соответствующие модели бизнес-процесса. Они занимаются тем, что необходимо выполнить в конкретный момент, и концентрируются только на этом. Руководитель предприятия в то же время имеет полную картину происходящего в компании: работу каждого отдела, каждого процесса, каждого сотрудника.

На основе статистики по эффективности выполнения задач сотрудниками руководитель может принимать решения по управлению отделом: как уже отмечалось ранее, внести изменения в схему бизнес-процесса в случае падения эффективности какого-либо звена, награждать премией лучших сотрудников и т.д.

## 6. Заключение

BPM-система, созданная на основе построенных бизнес-процессов, становится неотъемлемой частью корпоративного управления в предприятии, его инструменты позволяют в короткие сроки адаптировать работу компании к новым условиям, не прибегая к дорогому и продолжительному по времени обновлению программного обеспечения.

Акцентирование внимания на проблемных бизнес-процессах средствами BPM-системы приведёт к повышению их эффективности и производительности. В данном случае, урегулирование убытков будет проходить с минимальными задержками, а это значительно повысит конкурентоспособность по сравнению с другими компаниями.

Следует отметить, что для разработки ВРМ-системы не требуются программисты, достаточно лишь обучить менеджеров построению бизнес-процессов, т.к. последующая работа будет выполняться практически в автоматическом режиме. В связи с этим, ВРМ-системы можно легко создавать для тех бизнес-процессов, в управлении которыми появляются те или иные проблемы.

### Библиографический список

1. Фёдоров Д.С. Разработка ВРМ-системы для отдела урегулирования убытков страховой компании // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2016). / - ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2016. С. 393-396.
2. Фёдоров Д.С. Разработка проекта ИС урегулирования убытков страховой компании // Актуальные проблемы теории и практики современной экономической науки: Материалы IV международной научно-практической конференции студентов и магистрантов (Гомель, 18 марта 2016 года). / - Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2016. С. 264-265.
3. Фёдоров Д.С., Коваленко В.В. Применение процессного подхода и ВРМ-системы для отдела урегулирования убытков страховой компании. // Сочи: Modeling of Artificial Intelligence, 2016. С. 71-78.
4. Коваленко В.В. Проектирование информационных систем. М.: ФОРУМ, 2014. С. 307.
5. Официальный сайт Business Studio (2016). [Электронный ресурс]. URL: <http://businessstudio.ru/> (Дата обращения: 10.02.2017).

УДК 519.816; ГРНТИ 27.47.19

## СУЩЕСТВОВАНИЕ БЕНТОВЫХ ФУНКЦИЙ ВЫБОРА, ДЛЯ КОТОРЫХ НЕ ВЫПОЛНЯЮТСЯ УСЛОВИЯ ЧЕРНОВА

И.А. Цветков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, 19197113@rambler.ru*

*Аннотация.* Доказаны утверждения о том, что на любом множестве с нечетным, большим единицы числом вариантов для каждого из четырех условий Чернова существует бентовая функция выбора, для которой это условие не выполняется.

*Ключевые слова:* функция выбора, бент-функция, условие Чернова

## EXISTENCE OF THE BENT CHOICE FUNCTIONS FOR WHICH CHERNOFF'S CONDITIONS ARE NOT FULFILLED

I.A. Tsvetkov

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, 19197113@rambler.ru*

*Abstract.* The propositions that on any set with an odd number of variants that greater than one for each of the four Chernoff's conditions the bent choice function exists for which this condition is not fulfilled are proved.

*Keywords:* choice function, bent function, Chernoff's condition

### 1. Введение

Функция выбора  $C$  на конечном множестве вариантов с двумя или более элементами каждому значению аргумента  $X$  — непустому подмножеству множества вариантов — ставит в соответствие значение  $C(X)$  — подмножество (возможно, пустое)  $X$  [1].

Функцию выбора можно задать ее логической формой [2] — кортежем булевых функций. В статье [4] предложено понятие *бентовой функции выбора*, в логической форме которой все булевы функции — *бент-функции*, т.е. булевы функции с максимально возможным расстоянием Хэмминга до подмножества всех линейных булевых функций того же числа переменных [3].

Для функции выбора его рациональность определяется, в частности, четырьмя условиями Чернова; это условия: наследования, константности, согласия, независимости от отбрасывания отвергнутых вариантов (кратко — условие независимости) [1, 4].

В настоящей статье доказаны утверждения о том, что на любом множестве с нечетным, большим единицы числом вариантов для каждого из четырех условий Чернова существует бентовая функция выбора, для которой это условие не выполняется.

### 2. Обозначения и термины

Обозначим  $\subseteq$  и  $\subset$  — нестрогое и строгое включения соответственно;  $N = \{1, 2, \dots\}$  — множество всех натуральных чисел;  $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$  для  $n \in N$ ;  $N^{(k)} = N \setminus N_{k-1}$  для  $k \in N \setminus \{1\}$ ;  $P_i$ ,  $i \in N$ , — множество всех  $i$ -местных булевых функций;  $a \bmod b$  — остаток от деления  $a$  на  $b$ . Пусть  $I(d, D) = \begin{cases} 1, & \text{если } d \in D; \\ 0, & \text{если } d \notin D. \end{cases}$

Символ  $\blacklozenge$  показывает окончание доказательства.

Функция выбора  $C$  на конечном  $n$ -элементном (где  $n \in N^{(2)}$ ) множестве вариантов  $A$  задается указанием для каждого непустого  $X \subseteq A$  значения функции  $C(X) \subseteq X$  [1].

Любую функцию выбора  $C$  на множестве вариантов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ,  $n \in N^{(2)}$ , можно задать логической формой [2] — кортежем  $F = \langle f_1, f_2, \dots, f_n \rangle$ , где  $f_i \in P_{n-1}$ ,  $i \in N_n$ . Связь  $C$  и  $F$ :  $f_1(I(a_2, X), I(a_3, X), \dots, I(a_n, X)) = I(a_1, C(X))$  для каждого такого  $X \subseteq A$ , что  $a_1 \in X$ ;  $f_n(I(a_1, X), I(a_2, X), \dots, I(a_{n-1}, X)) = I(a_n, C(X))$  для каждого такого  $X \subseteq A$ , что  $a_n \in X$ ;

$$f_i(I(a_1, X), I(a_2, X), \dots, I(a_{i-1}, X), I(a_{i+1}, X), \dots, I(a_n, X)) = I(a_i, C(X))$$

для каждого такого  $X \subseteq A$ , что  $a_i \in X$ , где  $i \in N_n \setminus \{1, n\}$  и  $n \in N^{(3)}$ .

Для четного  $k \in N^{(2)}$  обозначим  $B_k$  множество всех  $k$ -местных бент-функций [3].

Называем согласно [4] для нечетного  $n \in N^{(3)}$  бентовой функцией выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов такую функцию выбора на этом множестве, которая задается логической формой  $\langle f_1, f_2, \dots, f_n \rangle$ , где  $f_i \in B_{n-1}$  для каждого  $i \in N_n$ . Для четного  $n \in N^{(2)}$  бентовые функции выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов не определяем.

Для функции выбора  $C$  на множестве вариантов  $A$ ,  $|A| \in N^{(2)}$ , выполняются условия Чернова: 1) условие наследования, если и только если для любых непустых  $X \subseteq A$  и  $Y \subset A$  при  $Y \subset X$  имеет место  $Y \cap C(X) \subseteq C(Y)$ ; 2) условие константности, если и только если для любых непустых  $X \subseteq A$  и  $Y \subset A$  при  $Y \subset X$  из  $C(X) = \emptyset$  следует  $C(Y) = \emptyset$ , а из  $Y \cap C(X) \neq \emptyset$  следует  $Y \cap C(X) = C(Y)$ ; 3) условие согласия, если и только если для любых непустых  $X \subset A$  и  $Y \subset A$  имеет место  $C(X) \cap C(Y) \subseteq C(X \cup Y)$ ; 4) условие независимости, если и только если для любых непустых  $X \subseteq A$  и  $Y \subset A$  при  $C(X) \subseteq Y \subset X$  имеет место  $C(X) = C(Y)$  [1].

### 3. Основной результат

**Утверждение 1.** Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие наследования.

**Доказательство.** Пусть для произвольного нечетного  $n \in N^{(3)}$  бентовая функция выбора  $C$  на множестве вариантов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  задана логической формой  $G = \langle g_1, g_2, \dots, g_n \rangle$ , где  $g_i \in B_{n-1}$  при каждом  $i \in N_n$ , причем  $g_1(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \equiv x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$ . Функция  $g_1$  — бент-функция при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  [3].

Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$ :  $g_1(0, 0, \dots, 0) = 0$  (все  $n-1$  переменные имеют нулевые значения),  $g_1(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 1$  (значения переменных  $x_1$  и  $x_2$  единичные, остальные  $n-3$  переменные — если они есть — имеют нулевые значения).

Пусть  $X = \{a_1, a_2, a_3\}$ ,  $Y = \{a_1\}$ . При любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  имеет место:  $X \neq \emptyset$ ,  $Y \neq \emptyset$ ,  $Y \subset X$ ,  $X \subseteq A$ ,  $Y \subset A$ . Получим  $I(a_2, X) = 1$ ,  $I(a_3, X) = 1$ ,  $I(a_i, X) = 0$  при каждом  $i \in N_n \setminus N_3$  для всех нечетных  $n \in N^{(5)}$ ,  $I(a_j, Y) = 0$  при каждом  $j \in N_n \setminus \{1\}$  для всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ . Тогда  $g_1(I(a_2, X), I(a_3, X), \dots, I(a_n, X)) = g_1(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 1$ , поэтому  $I(a_1, C(X)) = 1$ , следовательно,  $a_1 \in C(X)$  для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$ ;  $g_1(I(a_2, Y), I(a_3, Y), \dots, I(a_n, Y)) = g_1(0, 0, \dots, 0) = 0$ , поэтому  $I(a_1, C(Y)) = 0$ , следовательно,  $a_1 \notin C(Y)$  для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$ .

Имеем  $a_1 \in Y \cap C(X)$  (так как  $a_1 \in Y$  и  $a_1 \in C(X)$ ), но  $a_1 \notin C(Y)$ . Поэтому при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  существуют такие непустые  $X \subseteq A$  и  $Y \subset A$ , что  $Y \subset X$ , для которых не имеет места  $Y \cap C(X) \subseteq C(Y)$ . Следовательно, для функции выбора  $C$  условие наследования не выполняется. Бентовая функция выбора  $C$ , заданная логической формой  $G$ , существует при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$ .

Таким образом, для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие наследования. ♦

*Утверждение 2.* Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие константности.

*Доказательство.* Пусть для произвольного нечетного  $n \in N^{(3)}$  бентовая функция выбора  $C$  на  $n$ -элементном множестве вариантов задана логической формой  $G$ , как в доказательстве утверждения 1. В силу этого доказательства при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  такая функция выбора  $C$  существует и для нее при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  не выполняется условие наследования. Согласно [1, с. 34], если для функции выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов при любом  $n \in N^{(2)}$  не выполняется условие наследования, то для этой функции выбора не выполняется условие константности. Поэтому при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  для функции выбора  $C$ , заданной логической формой  $G$ , условие константности не выполняется.

Таким образом, для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие константности. ♦

*Утверждение 3.* Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие согласия.

*Доказательство.* Пусть для произвольного нечетного  $n \in N^{(3)}$  бентовая функция выбора  $C$  на множестве вариантов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  задана логической формой  $H = \langle h_1, h_2, \dots, h_n \rangle$ , где  $h_i \in B_{n-1}$  при каждом  $i \in N_n$ , причем

$$h_n(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \equiv \begin{cases} x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1} & \text{при } (n-1) \bmod 4 = 0; \\ 1 \oplus x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1} & \text{при } (n-1) \bmod 4 \neq 0. \end{cases}$$

Функция  $h_n$  — бент-функция при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  [3].

Пусть  $X = A \setminus \{a_{n-2}\}$ ,  $Y = A \setminus \{a_{n-1}\}$ . При любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  имеет место:  $X \neq \emptyset$  (так как в  $X$  обязательно есть элемент  $a_n$ ),  $Y \neq \emptyset$  (так как в  $Y$  обязательно есть элемент  $a_n$ ),  $X \subset A$ ,  $Y \subset A$ .

Рассмотрим два случая.

Случай 1. Для любого такого нечетного  $n \in N^{(3)}$ , что  $(n-1) \bmod 4 = 0$ :  $h_n(1, 1, \dots, 1) = 0$  (в выражении  $x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  все  $n-1$  переменные имеют единичные значения; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 четное);  $h_n(1, 1, \dots, 1, 0, 1) = 1$  (в выражении  $x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-4} \wedge x_{n-3} \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  каждая из переменных  $x_1, x_2, \dots, x_{n-3}$  имеет единичное значение,  $x_{n-2} = 0$ ,  $x_{n-1} = 1$ ; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 нечетное);  $h_n(1, 1, \dots, 1, 0) = 1$  (в выражении  $x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  каждая из переменных  $x_1, x_2, \dots, x_{n-2}$  имеет единичное значение,  $x_{n-1} = 0$ ; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 нечетное).

Случай 2. Для любого такого нечетного  $n \in N^{(3)}$ , что  $(n-1) \bmod 4 \neq 0$ :  $h_n(1, 1, \dots, 1) = 0$  (в выражении  $1 \oplus x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  все  $n-1$  переменные имеют единичные значения; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 четное);  $h_n(1, 1, \dots, 1, 0, 1) = 1$  (в выражении  $1 \oplus x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-4} \wedge x_{n-3} \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  каждая из переменных  $x_1, x_2, \dots, x_{n-3}$  — если эти переменные есть — имеет единичное значение,  $x_{n-2} = 0$ ,  $x_{n-1} = 1$ ; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 нечетное);  $h_n(1, 1, \dots, 1, 0) = 1$  (в выражении  $1 \oplus x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}$  каждая из переменных  $x_1, x_2, \dots, x_{n-2}$  имеет единичное значение,  $x_{n-1} = 0$ ; в данном выражении число единичных слагаемых по модулю 2 нечетное).

Так как  $X = \{a_2, a_3\}$  при  $n = 3$  и  $X = \{a_1, a_2, \dots, a_{n-3}, a_{n-1}, a_n\}$  при любом нечетном  $n \in N^{(5)}$ , имеем  $I(a_{n-2}, X) = 0$  и  $I(a_{n-1}, X) = 1$  при всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ ;  $I(a_i, X) = 1$  для каждого  $i \in N_{n-3}$  при всех нечетных  $n \in N^{(5)}$ . Так как  $Y = \{a_1, a_3\}$  при  $n = 3$  и  $Y = \{a_1, a_2, \dots, a_{n-2}, a_n\}$  при любом нечетном  $n \in N^{(5)}$ , имеем при всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ :  $I(a_j, Y) = 1$  для каждого  $j \in N_{n-2}$ ,  $I(a_{n-1}, Y) = 0$ . Тогда для случаев 1 и 2 при всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ :

$$h_n(I(a_1, X), I(a_2, X), \dots, I(a_{n-2}, X), I(a_{n-1}, X)) = h_n(1, 1, \dots, 1, 0, 1) = 1,$$

поэтому  $I(a_n, C(X)) = 1$ , следовательно,  $a_n \in C(X)$ ;

$$h_n(I(a_1, Y), I(a_2, Y), \dots, I(a_{n-2}, Y), I(a_{n-1}, Y)) = h_n(1, 1, \dots, 1, 0) = 1,$$

поэтому  $I(a_n, C(Y)) = 1$ , следовательно,  $a_n \in C(Y)$ .

Так как  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , имеем  $I(a_k, A) = 1$  для каждого  $k \in N_{n-1}$  при всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ . Тогда для случаев 1 и 2 при всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ :

$$h_n(I(a_1, A), I(a_2, A), \dots, I(a_{n-1}, A)) = h_n(1, 1, \dots, 1) = 0,$$

поэтому  $I(a_n, C(A)) = 0$ , следовательно,  $a_n \notin C(A)$ .

Имеем  $a_n \in C(X) \cap C(Y)$  (так как  $a_n \in C(X)$  и  $a_n \in C(Y)$ ), но  $a_n \notin C(A)$ , т.е.  $a_n \notin C(X \cup Y)$  (поскольку  $A = X \cup Y$ ). Поэтому при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  существуют такие непустые  $X \subset A$  и  $Y \subset A$ , для которых не имеет места  $C(X) \cap C(Y) \subseteq C(X \cup Y)$ . Следовательно, для функции выбора  $C$  условие согласия не выполняется. Бентовая функция выбора  $C$ , заданная логической формой  $H$ , существует при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$ .

Таким образом, для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие согласия. ♦

**Утверждение 4.** Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие независимости.

**Доказательство.** Пусть для произвольного нечетного  $n \in N^{(3)}$  бентовая функция выбора  $C$  на множестве вариантов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  задана логической формой  $W = \langle w_1, w_2, \dots, w_n \rangle$ , где  $w_i \in B_{n-1}$  при каждом  $i \in N_n$ , причем

$$\begin{aligned} w_1(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) &\equiv x_1 \wedge x_2 \oplus x_3 \wedge x_4 \oplus \dots \oplus x_{n-2} \wedge x_{n-1}, \\ w_2(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) &\equiv w_3(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) \equiv 1 \oplus w_1(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}). \end{aligned}$$

Функции  $w_1, w_2, w_3$  — бент-функции при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  [3].

Для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$ :  $w_1(0, 0, \dots, 0) = 0$  (все  $n-1$  переменные имеют нулевые значения),  $w_1(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 1$ ,

$$w_2(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = w_3(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 1 \oplus w_1(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 0$$

(значения переменных  $x_1$  и  $x_2$  единичные, остальные  $n-3$  переменные — если они есть — имеют нулевые значения).

Пусть  $X = \{a_1, a_2, a_3\}$ ,  $Y = \{a_1\}$ . При любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  имеет место:  $X \neq \emptyset$ ,  $Y \neq \emptyset$ ,  $Y \subset X$ ,  $X \subseteq A$ ,  $Y \subset A$ . Получим  $I(a_i, X) = 1$  при каждом  $i \in N_3$ ,  $I(a_j, X) = 0$  при каждом  $j \in N_n \setminus N_3$  для всех нечетных  $n \in N^{(5)}$ ,  $I(a_k, Y) = 0$  при каждом  $k \in N_n \setminus \{1\}$  для всех нечетных  $n \in N^{(3)}$ . Тогда

$$w_1(I(a_2, X), I(a_3, X), \dots, I(a_n, X)) = w_1(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 1,$$

поэтому  $I(a_1, C(X)) = 1$ , следовательно,  $a_1 \in C(X)$  для каждого нечетного  $n \in N^{(3)}$ ;

$$w_2(I(a_1, X), I(a_3, X), \dots, I(a_n, X)) = w_2(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 0,$$

поэтому  $I(a_2, C(X)) = 0$ , следовательно,  $a_2 \notin C(X)$  для каждого нечетного  $n \in N^{(3)}$ ;  $w_3(I(a_1, X), I(a_2, X)) = w_3(1, 1) = 0$ , поэтому при  $n = 3$  имеем  $I(a_3, C(X)) = 0$ , следовательно,  $a_3 \notin C(X)$ ;

$$w_3(I(a_1, X), I(a_2, X), I(a_4, X), \dots, I(a_n, X)) = w_3(1, 1, 0, 0, \dots, 0) = 0,$$

поэтому  $I(a_3, C(X)) = 0$ , следовательно,  $a_3 \notin C(X)$  для каждого нечетного  $n \in N^{(5)}$ ;

$$w_1(I(a_2, Y), I(a_3, Y), \dots, I(a_n, Y)) = w_1(0, 0, \dots, 0) = 0,$$

поэтому  $I(a_1, C(Y)) = 0$ , следовательно,  $a_1 \notin C(Y)$  для каждого нечетного  $n \in N^{(3)}$ .

Имеем  $C(X) = \{a_1\}$  (так как  $X = \{a_1, a_2, a_3\}$ ,  $a_1 \in C(X)$ ,  $a_2 \notin C(X)$ ,  $a_3 \notin C(X)$ ),  $C(Y) = \emptyset$  (так как  $Y = \{a_1\}$ ,  $a_1 \notin C(Y)$ ). Тогда  $C(X) \subseteq Y \subset X$  (так как  $C(X) = Y$ ,  $Y \subset X$ ), но  $C(X) \neq C(Y)$ . Поэтому при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$  существуют такие непустые  $X \subseteq A$  и  $Y \subset A$ , что  $C(X) \subseteq Y \subset X$ , для которых не имеет места  $C(X) = C(Y)$ . Следовательно, для функции выбора  $C$  условие независимости не выполняется. Бентовая функция выбора  $C$ , заданная логической формой  $W$ , существует при любом нечетном  $n \in N^{(3)}$ .

Таким образом, для любого нечетного  $n \in N^{(3)}$  существует бентовая функция выбора на  $n$ -элементном множестве вариантов, для которой не выполняется условие независимости. ♦

### Библиографический список

1. Айзерман М.А., Алескеров Ф.Т. Выбор вариантов: основы теории. — М.: Наука, 1990. — 240 с.
2. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. — М.: Наука, 1982. — 328 с.
3. Токарева Н.Н. Нелинейные булевы функции: бент-функции и их обобщения. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. — 170 с.
4. Цветков И.А. Бентовые функции выбора // Современные технологии в науке и образовании — СТНО-2016: сб. тр. международной науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 т. — Т. 2. — Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2016. — С. 3–7.

УДК 004.03; ГРНТИ 50.07.03

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ НА СИММЕТРИЧНОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.И. Мартышкин

Пензенский государственный технологический университет,  
Россия, Пенза, Alexey314@yandex.ru

*Аннотация.* В статье описана методика для исследования взаимодействия аппаратно-программных ресурсов многопроцессорной вычислительной системы для обработки параллельных ветвей задач. Данная методика позволяет оценить пропускную способность всей системы в целом, либо отдельных узлов в частности.

*Ключевые слова:* параллельная система, моделирование, задача, процесс, трудоемкость, операция

## MATHEMATICAL MODELING OF SOLUTION PROCESS OF PARALLEL TASK ON A SYMMETRIC MULTIPROCESSOR COMPUTER SYSTEM

A.I. Martyshkin

Penza State Technological University,  
Russia, Penza, Alexey314@yandex.ru

*Abstract.* This article describes a technique for studying the interaction of hardware and software resources of a multiprocessor computer system for processing tasks parallel branches. This procedure allows evaluating the capacity of the entire system, or separate units in particular.

*Keywords:* parallel systems, simulation, task, process, complexity, operation

С точки зрения аппаратного обеспечения, многоядерные процессоры – это просто отдельные процессоры, расположенные на одном кристалле и заключенные в общий физический комплекс. Они обеспечивают вычислительные возможности, подобные традиционным симметричным многопроцессорным системам (symmetric multiprocessing, SMP), и неминуемо наследуют большинство проблем мониторинга производительности, характерных для работы с симметричными многопроцессорными системами.

Процесс решения параллельной задачи и задействованные при этом программные и аппаратные ресурсы параллельной (многопроцессорной) вычислительной системы (МВС) можно обобщенно представить некоторой математической моделью [1-2]. Задачи для последующей обработки поступают в МВС извне от пользователей, либо формируются прикладными программами. В данной работе примем, что МВС является симметричной (SMP-системой) и состоит из  $n$  одинаковых процессоров (ЦП) [3], т.е. каждый вычислительный узел системы кроме прикладных задач обрабатывает программы операционной системы (ОС).

Введем предположение, что каждая задача распараллеливается ровно на  $n$  ветвей по числу процессоров в МВС (рис. 1), причем все ветви обладают одинаковой трудоемкостью [2]

$$\Theta_i = \Theta = T/n, \quad (1)$$

где  $T$  – число задач, решаемых системой,  $n$  – число ЦП.

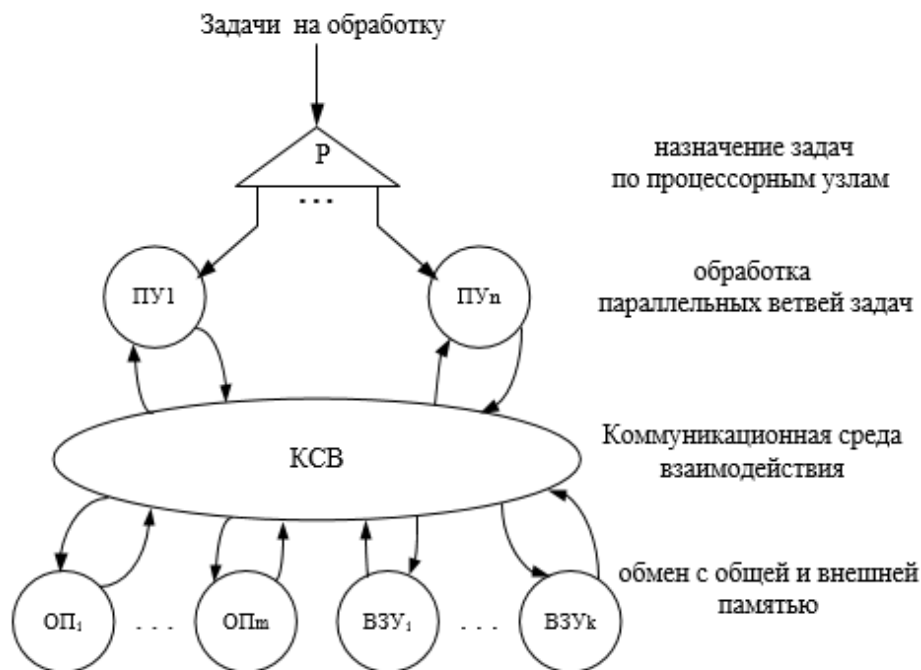


Рис. 1. Модель взаимодействия ресурсов многопроцессорной вычислительной системы для обработки параллельных ветвей задач

Задачи на обработку поступают с интенсивностью  $\lambda_0$ , причем они вначале принимаются процессорными узлами (ПУ), каждый из которых состоит из ЦП, одно- или многоуровневой Кэш-памяти и, возможно, локальной памяти (ЛП). Назначение ветвей по ПУ производится ОС, функция распределения которой представлена на рисунке 1 блоком  $P$ . Время обработки ветви ПУ находится в непосредственной зависимости от производительности ЦП и составляет

$$v_{CP} = \Theta_0 / V_{CP}, \quad (2)$$

где  $\Theta_0$  – трудоемкость процессорных операций для одного этапа обработки алгоритма решения задачи. Причем

$$\Theta_0 = \Theta / N, \quad (3)$$

где  $N$  – число этапов обработки в одном ПУ.

Большая часть операций, связанных с обработкой ветви, выполняется непосредственно в ПУ, поскольку часто используемые команды и данные находятся в Кэш. При Кэш-промахе формируется транзакция обращения к оперативной памяти (ОП): либо к ЛП, либо к одному из модулей удаленной памяти (ОП<sub>1</sub> – ОП<sub>m</sub>).

Будем считать, что вычислительный процесс начинается и заканчивается в ПУ. Длительность одного этапа определяется временем между двумя обращениями ПУ во внешнюю



память [2]. Частота обращений во внешнюю память зависит от числа обращений вычислительного процесса в ОП за время решения задачи, определяемой вероятностью Кэш-промаха  $p_m$ . Причем  $p_m$  равна отношению числа процессорных операций обращения в ОП, к числу операций, выполненных ЦП с участием Кэш за время решения задачи. Таким образом, за время реализации одного этапа алгоритма ЦП сформирует  $M = p_m \Theta_0$  обращений в ОП. Поскольку вероятность обращения во внешнюю память равна  $p_{vp}$ , то появление этого события составит  $p_{vp} M$ . Отсюда следует, что на одно обращение во внешнюю память приходится  $\Theta_0 = 1/p_m p_{vp}$  процессорных операций. Эта величина и принимается за трудоемкость одного этапа решения задачи  $\Theta_0$ . Тогда число этапов решения задачи составит

$$N = \Theta / \Theta_0. \quad (4)$$

Для определения времени обслуживания памятью необходимо знать её пропускную способность ( $V_M$ ) и объем передаваемых данных за время реализации одного этапа задачи

$$v_M = \Theta_0 / V_M. \quad (5)$$

Пропускные способности памяти в режимах записи и чтения очень сильно разнятся. Если принять, что где  $g$  и  $h$  доли транзакций записи и чтения, соответственно в алгоритме решения задачи, то время обслуживания можно определить согласно выражению

$$v_M = \Theta_0 (g/V_{WR} + h/V_R), \quad (6)$$

где  $V_{WR}$  и  $V_R$  – пропускные способности памяти по записи и по чтению соответственно, значения которых легко определяются с помощью всевозможных тестовых программ, в том числе и [4-6].

В зависимости от метода доступа к памяти: по случайно выбранным адресам или по последовательным адресам, время выполнения транзакций будет различным. Случайный метод доступа создает наихудшие условия работы памяти и позволяет получать гарантированные оценочные значения её временных характеристик, что важно, например, при анализе систем реального времени (мягкого или жесткого). Средством определения времени обслуживания, приближенным к реальным или наихудшим условиям работы памяти, являются тайминги [5], характеризующие временные параметры памяти.

Общая шина (ОШ) предназначена для передачи потоков транзакций (операций на запись или чтение), формируемых ЦП, Кэш и внешней памятью. Шина характеризуется пропускной способностью  $V_B$  и временем арбитража  $\tau$ . Время обслуживания шиной транзакций, генерируемых ЦП в память, составляет

$$v_B = (\tau + \Theta_0 / V_B). \quad (7)$$

Поддержка когерентности разделяемых данных создает дополнительный трафик на межпроцессорной шине. Пусть  $p_K$  – вероятность появления операции Кэш-когерентности за время реализации одного этапа задачи, а  $t_K$  – время выполнения одной операции по обеспечению Кэш-когерентности, тогда среднее время обслуживания ОШ всех операций, обеспечивающих кэш-когерентность составит

$$v_K = p_K \Theta_0 t_K. \quad (8)$$

Если адресуемые данные отсутствуют в ОП, то производится их подкачка из внешней памяти. Происходит это по прерыванию, вероятность которого составляет  $p_{vp}$ . Пропускная способность ввода-вывода характеризуется в основном скоростью передачи данных накопителем  $V_{PU}$ . Тогда время обслуживания запроса во внешнюю память можно определить по формуле

$$v_{PU} = p_{vp} G / V_{PU}, \quad (9)$$

где  $G$  – объем передаваемых данных за одно обращение к внешней памяти.

### Библиографический список

1. Бикташев, Р. А. Моделирование мультимикропроцессорных вычислительных систем: учебное пособие / Р. А. Бикташев. – Пенза: Пенз. политехн. Ин-т, 1987. – 44 с.
2. Князьков В.С., Бикташев Р.А. Архитектура параллельных вычислительных систем. – Пенза: 1993.

3. Бикташев Р.А. Князьков В.С. Многопроцессорные системы. Архитектура, топология, анализ производительности. Учебное пособие.-Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004.
4. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Программный комплекс для расчета вероятностно-временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.
5. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Программный комплекс для измерения производительности функций операционных систем // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 2.
6. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Комплекс программ для измерения производительности функций операционных систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 10 (14). – С. 190-197.

УДК 004.054

## ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.Д. Данилов, В.М. Мугатина

*Воронежский государственный технический университет,  
Россия, г. Воронеж, danilov-ad@yandex.ru, varvaramugatina@gmail.com*

*Аннотация.* Сегодня количество комплексных программных продуктов постоянно растет, одновременно с этим увеличивается потребность в их надежности и корректной работе в любой момент времени. В связи с этим большое внимание уделяется тестированию программного обеспечения. Так как процесс тестирования является достаточно затратным с точки зрения ресурсов и времени, актуальным является вопрос автоматизации всего процесса. В статье представлена классификация методов и подходов автоматизации на каждом из этапов тестирования, приведены и обоснованы основные их достоинства.

*Ключевые слова:* тестирование программного обеспечения, искусственные нейронные сети, автоматизация тестирования

## ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPLICATION IN AUTOMATION SOFTWARE TESTING

A.D. Danilov, V.M. Mugatina

*Voronezh State Technical University,  
Russian Federation, Voronezh, danilov-ad@yandex.ru, varvaramugatina@gmail.com*

*Abstract.* Complex software applications rapidly increased in modern life and there is a need for reliable and correct implementation throughout the time. Therefore, it is very important to pay attention to software testing. Software testing is a time and resource consuming process and that is why automation testing is actual. In this paper, automated software testing techniques classification and its advantages are presented.

*Keywords:* software testing, artificial neural networks, automation testing

### 1. Введение

В современном мире сложные программные системы встречаются повсеместно, во всех сферах человеческой жизнедеятельности: промышленности, здравоохранении, образовании и многих других. Корректность работы тех или иных программных продуктов в каждый момент времени часто достигает максимальной важности, что обуславливает необходимость в обеспечении достаточного уровня надежности и отсутствии вероятности возникновения ошибки в работе системы.

Тестирование программного обеспечения (ПО) является одним из наиболее важных этапов разработки и поддержки продукта и заключается в нахождении ошибок, то есть несоответствий между ожидаемым и фактическим поведением системы в ответ на заданное воздействие. Процесс обнаружения ошибок может быть представлен разнообразными техниками, моделями и методами тестирования, различающимися, например, в зависимости от целей тестирования, этапа, на котором оно проводится, и сведений, которыми располагает специалист о продукте.

Важным моментом является то, что тестирование программного обеспечения является очень дорогостоящим процессом с точки зрения временных, ресурсных и финансовых затрат. Так как пренебрежение качественным тестированием выпускаемого продукта приводит к неоправданным рискам в работоспособности системы в целом, ставится вопрос о поиске способа, который позволит сократить издержки на тестирование без потери качества ПО.

Одним из таких подходов является автоматизация процесса тестирования программного обеспечения. Исследования показывают, что автоматизированный и интеллектуальный подход к процессу тестирования или, по крайней мере, частичное его внедрение, может в значительной мере сократить стоимость тестирования. Автоматизация предполагает воспроизведение действий, выполняемых специалистом (запуск, инициализация, выполнение тестов, предоставление и анализ результата) автоматически с помощью специальных инструментов.

Автоматизированное тестирование характеризуется рядом значительных преимуществ, и в первую очередь, большей скоростью выполнения сценария тестового кейса. Затраты на человеческие ресурсы не только сокращаются, но еще и сводятся к минимуму вероятность намеренной или неумышленной человеческой ошибки. Таким образом, автоматизация тестирования позволяет уменьшить затраты, вместе с тем повышая качество и надежность тестируемого программного продукта.

В данной статье приведена классификация методов (представлена на рисунке 1), применение которых в автоматизированном процессе тестирования программного обеспечения позволит достичь высоких результатов. Указанные методы опираются на аппарат искусственных нейронных сетей и статистические методы.

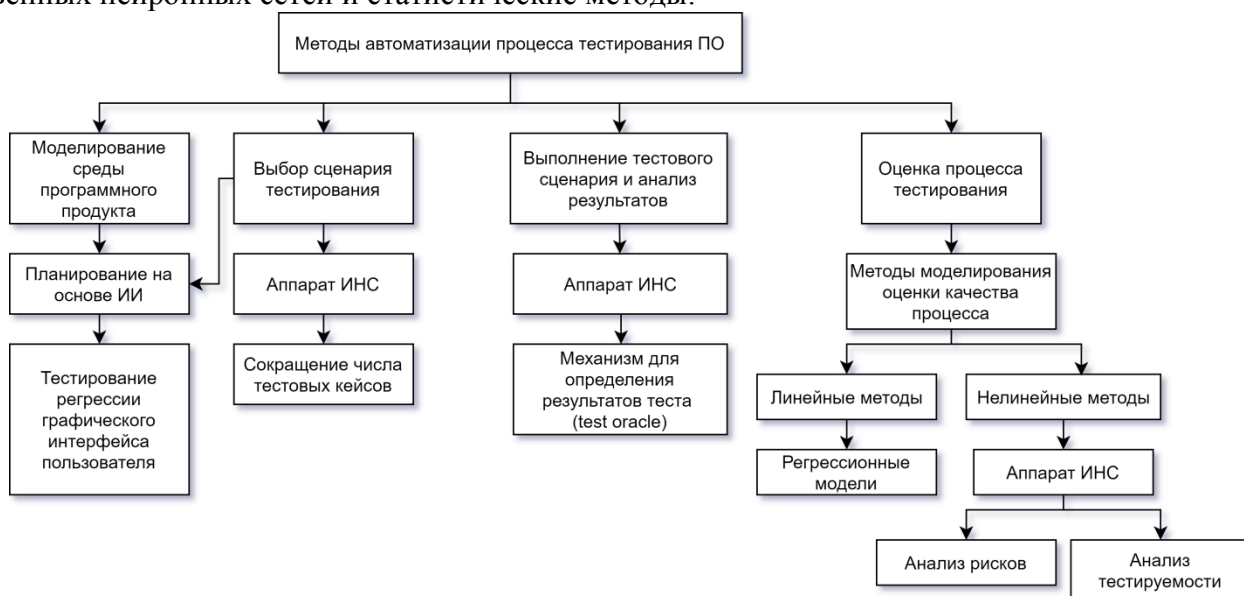


Рис. 1. Классификация методов автоматизации тестирования ПО

## 2. Этапы, составляющие процесс тестирования ПО

Процесс тестирования, как правило, предполагает выполнение четырех основных активностей: моделирование среды программного продукта, выбор подходящего сценария тестирования, выполнение сценария и последующая оценка его результатов, а также оценка процесса тестирования в целом.

### 2.1. Моделирование среды программного продукта

На первом этапе ставится задача смоделировать отношения и взаимодействия между программным обеспечением и его средой. Обычно эти взаимодействия осуществляется с помощью интерфейсов. Методы, которые позволяют имитировать интерфейсы, могут служить для автоматизации данного этапа. Уделяется внимание регрессионному тестированию графического интерфейса пользователя (GUI – graphical user interface), то есть процессу, направленному на повторную проверку ранее реализованной и протестированной части программного обеспечения в измененной версии продукта.

В качестве автоматизации данного этапа может быть использован специальный планировщик, представляющий собой совокупность тестовых сценариев GUI, в котором задачи определены как пары начальных и целевых состояний. Каждая задача представляет собой отдельную функциональность GUI, что позволяет генерировать затронутые тестовые сценарии.

рии для этих задач автоматически. Кроме того, такой подход использует модель графического интерфейса пользователя для автоматического обнаружения изменений в системе и позволяет определить тестовые случаи, которые необходимо запустить повторно.

## 2.2. Выбор сценария тестирования

Второй этап тестирования предназначен для выбора тестовых сценариев, которые с большей вероятностью приведут к нахождению ошибки. Каждый тестовый случай определяется набором входных и ожидаемых выходных значений. Так как количество всех кейсов для каждого программного продукта чрезвычайно велико, невозможно выполнить все из них в условиях ограниченного запаса времени и ресурсов. При условии, что некоторые тесты проверяют одну и ту же функциональность, возникает необходимость проверять только эффективные сценарии с более высокой вероятностью нахождения неисправности. Автоматизация этого этапа может в значительной мере снизить стоимость тестирования и повысить его качество.

Для обозначенной цели успешно применяются модели на основе искусственных нейронных сетей (ИНС), используемые для автоматизации анализа входных и выходных значений каждого теста путем выявления важных атрибутов и их ранжирования.

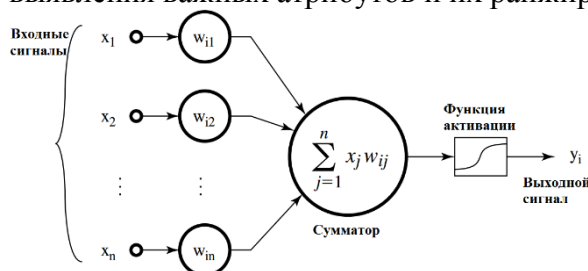


Рис. 2. Модель искусственного нейрона

В данной статье предложен метод применения искусственной нейронной сети (модель искусственного нейрона приведена на рисунке 2) в качестве классификатора, используемого для получения сведений о тестируемой системе, что позволяет предсказать возможность обнаружения ошибки для всех имеющихся тестовых сценариев.

Атрибуты тестовых сценариев в данном случае определяются как входные данные в структуре нейронной сети, а полученные дефекты в работе системы - как выходы нейросети. На начальном этапе нейронная сеть проходит этап обучения для распознавания соотношений между атрибутами тестового сценария и обнаруженными в ходе сценария ошибками. Данный подход позволяет определить, какие входные данные оказывают меньшее влияние на получение ошибки системы на выходе. В процессе работы нейронной сети уменьшается количество тестов, путем отбрасывания той выборки, которая не приводит в результате к обнаружению ошибки. Таким образом генерируются тестовые случаи, среди которых остаются только те, которые с большей вероятностью приведут к обнаружению ошибки.

## 2.3. Выполнение тестового сценария и оценка результатов

После подготовки и отбора тестовых кейсов сценарии следует выполнить и проанализировать полученные результаты. Оценка происходит путем сравнения выходных параметров системы с ожидаемыми результатами, заранее определенными на основании спецификаций и технических заданий. На этапе сравнения актуальных и ожидаемых результатов для автоматизации процесса может быть применен специальный механизм – оракул (oracle). Оракул является источником ожидаемых результатов. При неавтоматизированном тестировании в качестве оракула выступает спецификация программы или знание разработчиков программного обеспечения. Оракул принимает набор входных данных и должен сгенерировать корректный результат поведения системы в ответ на указанное воздействие.

Автоматизировать механизм действий оракула предлагается с помощью искусственной нейронной сети. ИНС проходит процесс обучения в соответствии с тестируемым программным продуктом на основе всего имеющегося набора сгенерированных входных данных (тест кейсов) для тестирования, которые однозначно соответствуют спецификации. В резуль-

тате такого обучения ИНС может выступать в качестве модели ПО и способна показывать достаточную степень точности в воспроизведении ожидаемых выходов системы в ответ на заданное воздействие. Таким образом, можно ожидать, что при одинаковых входных данных нейронная сеть и реальное приложение выдадут идентичные результаты, что позволяет делать выводы о корректности работы системы. Механизм описанного использования оракула показан на рисунке 3.

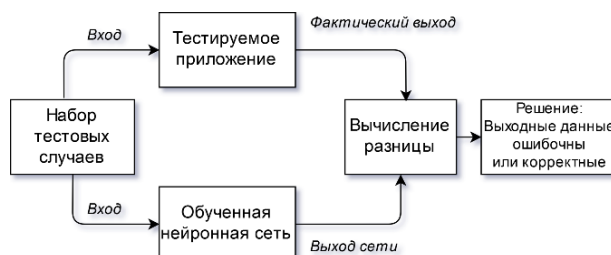


Рис. 3. Применение оракула на этапе выполнения тестов

#### 2.4. Оценка процесса тестирования

Важной задачей является определение статуса тестирования и выбор момента, когда процесс тестирования можно считать выполненным и остановить. Для этого требуются некоторые количественные измерения. Некоторые методы оценки качества программного обеспечения могут быть применимы и для автоматизации этого процесса. Существует два основных типа методов для автоматического определения качества тестирования: методы, которые способны моделировать линейную зависимость между программными метриками и показателями качества, такие как регрессионный анализ, а также методы, которые могут моделировать нелинейные отношения, такие как ИНС. Поскольку зависимости между показателями качества, как правило, сложны и нелинейны, нелинейные методы, в частности, искусственные нейронные сети, показывают более высокую точность.

На данном этапе нейронная сеть может быть применена для предсказания наличия ошибок в работе системы в ответ на заданные входные данные. Еще одно применение ИНС заключается в определении тестируемости программного продукта. Тестируемость здесь понимается как вероятность неспособности кейсов найти дефект в заведомо неисправном модуле ПО. Иначе говоря, это вероятность того, что тест не сможет найти ошибку, если ошибка присутствует в продукте. Такое применение аппарата искусственных нейронных сетей позволяет определить часть ПО, в которой могут скрываться ошибки. Поскольку тестируемость представляет собой динамический аспект проверки программного обеспечения, часто он оказывается достаточно сложным для непосредственного измерения.

### 3. Заключение

Тестирование программного обеспечения как один из основополагающих процессов разработки и поддержки комплексных систем заслуживает внимания. В данной статье приводится классификация автоматизированных и интеллектуальных методов, которые могут быть использованы на каждом из этапов тестирования программного обеспечения. Каждый из этих методов имеет свои ограничения, связанные, например, с тем, что нейросетевые модели программного обеспечения не могут быть достаточно точными, если программный продукт не является детерминированным. Однако в связи с тем, что процесс тестирования отличается потребностью во временных, ресурсных и финансовых затратах, применение полной или, по крайней мере, частичной автоматизации этапов тестирования может в значительной мере сократить затраты, улучшив при этом качество проверки программных продуктов и систем. Практика показывает, что применение аппарата искусственных нейронных сетей для автоматизации тестирования программного обеспечения способно обеспечить достойные результаты.

### Библиографический список

1. Данилов А.Д., Мугатина В.М. Моделирование и алгоритмизация процессов тестирования сложного программного обеспечения [Текст] / А.Д. Данилов, В.М. Мугатина // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2016. - Т. 12. - №6-1. - С. 62-67.
2. Данилов А.Д., Мугатина В.М. Моделирование и алгоритмизация процессов тестирования сложного программного обеспечения [Текст] / А.Д. Данилов, В.М. Мугатина // Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сб. тр. IV междунар. конф. «ПМТУКТ-2016». Воронеж: Научная книга, 2016. С.116-118.
3. Данилов А.Д., Фёдоров А.И. Иерархическая структура процесса тестирования сложного программного обеспечения [Текст] / А.Д. Данилов, А.И. Фёдоров // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - № 3-1. - С. 18-21.

УДК 004.9 + 316.1; ГРНТИ 50.41.25

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагереv, А.Н. Бабуриv

Брянский государственный технический университет,  
Россия, Брянск, apodv@tu-bryansk.ru

*Аннотация.* Рассматриваются архитектура и особенности реализации программного комплекса поддержки полного цикла социологического исследования. Обсуждаются преимущества использования методологии интеллектуального анализа данных в качестве основы для построения его аналитической подсистемы. Приводится описание одного из проектов, выполненного с применением методов и технологий интеллектуального анализа данных.

*Ключевые слова:* социологическое исследование, социологический опрос, архитектура программного обеспечения, интеллектуальный анализ данных, кластеризация, ассоциативные правила.

## AUTOMATION OF SOCIOLOGICAL STUDY PROCESSES WITH USE OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS METHODS AND SOFTWARE

A.G. Podvesovskii, D.G. Lagerev, A.N. Baburin

Bryansk State Technical University,  
Russia, Bryansk, apodv@tu-bryansk.ru

*Abstract.* The architecture and implementation features of the software package for a complete cycle of sociological study support is presented. The benefits of intelligent data analysis methodology as a base of its analytical subsystem is discussed. One of the projects made with use of intelligent data analysis methods and technologies is described.

*Keywords:* sociological study, sociological interview, software architecture, intelligent data analysis, clustering, associative rules.

### 1. Введение

В современном мире большое значение играет отношение общества к тому или иному вопросу. Одним из ведущих инструментов изучения и анализа общественного мнения является социологическое исследование (СИ), под которым понимается система логически последовательных методологических, методических и организационно-технических процедур, связанных единой целью: получить достоверные данные об изучаемом явлении или процессе для использования этих данных в практике социального управления [1]. Информация, получаемая в ходе СИ, является важным источником знаний, необходимых для подготовки, принятия и оценки эффективности решений, затрагивающих интересы широких слоев общества.

СИ включает в себя четыре сменяющих друг друга организационно автономных и вместе с тем содержательно взаимосвязанных этапа [1]:

- методологическую и методическую подготовку исследования;
- сбор первичной социологической информации, например, путем проведения социологического опроса;
- подготовку собранной информации к обработке и непосредственно ее обработку;
- математический и содержательный анализ обработанной информации, подготовку отчета, формулирование выводов и рекомендаций.

В настоящее время наблюдается активное проникновение информационных технологий во все сферы жизни общества и все направления научной и практической деятельности специалистов. Социология здесь не стала исключением. На рынке программного обеспечения сегодня представлено большое число специализированных решений, связанных с автоматизацией процесса СИ на отдельных его этапах. Например, существует множество программных продуктов и онлайн-сервисов, обеспечивающих поддержку составления анкет и проведения опросов, в том числе в удаленном режиме – подробный обзор и анализ таких продуктов представлен, например, в работе [2]. Также существует широкий класс программных систем, применяющихся для обработки социологических данных, при этом большинство из них ориентированы главным образом на методы статистического анализа. Обзор и сравнительный анализ подобных систем применительно к проблематике социологических исследований можно найти, например, в статье [3].

Вместе с тем, на сегодняшний день не существует универсальной системы, которая позволяла бы проводить социологическое исследование «под ключ». Иными словами, отсутствуют программные продукты, обеспечивающие поддержку полного цикла социологического исследования, начиная от проектирования анкеты и заканчивая выдачей результатов анализа, с предоставлением их в удобном виде социологу для дальнейшей интерпретации и принятия решений в области исследуемого социального процесса или явления. В настоящей статье рассматриваются принципы построения программного комплекса, способного решать подобные масштабные задачи, и обсуждаются преимущества его построения на основе методологии интеллектуального анализа данных.

## **2. О преимуществах применения методологии интеллектуального анализа данных для обработки социологической информации**

В настоящее время среди методов аналитической обработки данных выделяют две группы: методы статистического анализа и методы интеллектуального анализа данных (ИАД). Как уже отмечалось, традиционный подход при анализе социологических данных основан на использовании статистических методов. Вместе с тем, одним из главных ограничений такого подхода является невозможность обнаружения неоднородных, локальных взаимосвязей, присутствующих в социальных явлениях, поскольку в основе методов статистической обработки обычно лежит концепция усреднения по выборке.

Методы интеллектуального анализа данных (в англоязычной литературе принят термин Data Mining) – это новое, более перспективное направление, стремительно развивающееся в настоящее время. Интеллектуальный анализ данных – это процесс обнаружения в «сырых» данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретаций знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности [4]. Традиционные методы анализа социологических данных в основном ориентированы на проверку заранее сформулированных гипотез и на «грубый» разведочный анализ, в то время как одно из основных положений ИАД – поиск неочевидных закономерностей. Инструменты ИАД могут находить такие закономерности самостоятельно и также самостоятельно строить гипотезы о взаимосвязях. Поскольку именно формулирование гипотез относительно зависимостей является самой сложной задачей, преимущество методов ИАД по сравнению с другими методами анализа данных является очевидным [5].

Среди других преимуществ методов ИАД перед традиционными методами статистической обработки можно отметить:

- возможность одновременного анализа разнородных (количественных и качественных) данных, что является весьма важным фактором, поскольку современная социологическая анкета в большинстве случаев состоит из вопросов, для представления ответов на которые могут использоваться различные шкалы: числовые, порядковые, категориальные;
- поддержка неполных (нерепрезентативных с точки зрения статистики) выборок;
- возможность обнаружения локальных закономерностей (например, установления и изучения структуры связей между локальными подмножествами значений признаков);

– наличие некоторого класса методов, применимых для решения схожих задач при различающихся формах представления исходных данных (например, различные алгоритмы кластеризации для числовых и категориальных данных), что позволяет строить модели, детально учитывающие специфику обрабатываемых данных.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о целесообразности поддержки методов и программных средств ИАД при решении задач автоматизации процессов социологического исследования.

### **3. Программный комплекс поддержки социологических исследований: архитектура и особенности реализации**

Как уже отмечалось, идея, положенная в основу создаваемого программного комплекса (ПК), предполагает поддержку полного цикла социологического исследования. При этом, среди ключевых требований, предъявляемых к ПК, можно выделить следующие:

1) обеспечение возможности создания социологических анкеты любого уровня сложности с широким спектром поддерживаемых типов вопросов, а также возможности повторного использования анкет;

2) полная автоматизация сбора первичных данных от респондентов, что позволит исключить этап переноса собранной информации с бумажных носителей и, тем самым, упростить процесс подготовки информации к ее последующей обработке;

3) поддержка различных методов анализа данных, в том числе ИАД, с возможностью расширения класса поддерживаемых методов.

Дополнительным требованием также является обеспечение возможности экспорта социологических данных в различные форматы для дальнейшей обработки в сторонних аналитических системах.

Отметим, что возможны два пути удовлетворения требования 3, связанного с поддержкой различных методов анализа данных: самостоятельная реализация необходимого набора методов, либо использование готовых программных решений и реализация механизмов интеграции с ними. При проектировании ПК был выбран второй путь, а в качестве соответствующего программного решения была выбрана аналитическая платформа Deductor Enterprise [6], которая является разработкой российской компании BaseGroup, поддерживает широкий спектр методов и технологий анализа данных, в том числе ETL, OLAP и ИАД и входит в число лидеров отечественного рынка аналитических программных систем. Возможность интеграции платформы Deductor с внешними системами обеспечивается наличием в ее составе серверных компонентов: аналитической службы Analytic Server и службы обмена данными Integration Server.

Обобщенная архитектура ПК представлена на рисунке 1. Процесс проведения СИ с применением данного комплекса модно представить в виде последовательности этапов, нумерация которых соответствует нумерации стрелок на схеме.



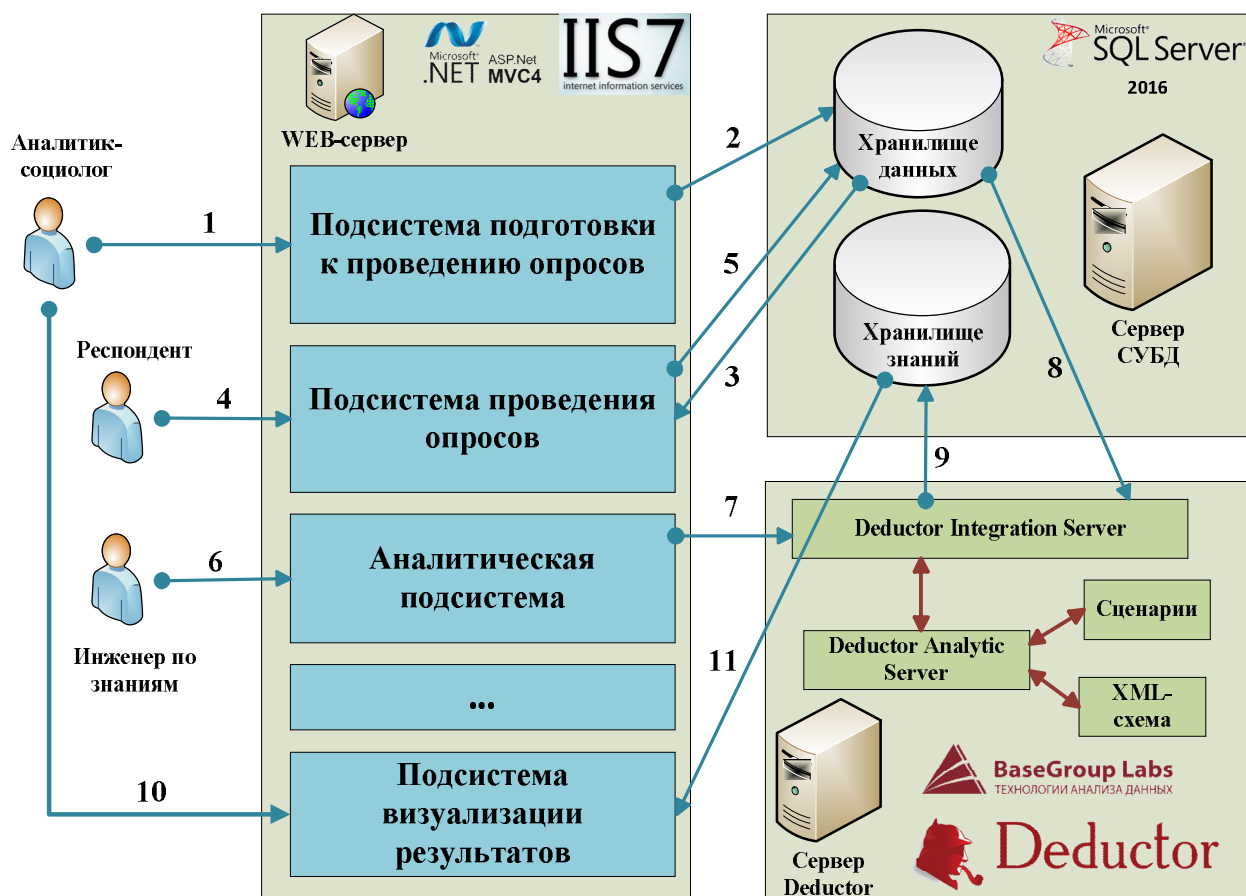


Рис. 1. Обобщенная архитектура программного комплекса

1. Аналитик-социолог проектирует анкету с помощью подсистемы подготовки к проведению опроса.

2. Готовая анкета попадает в хранилище данных.

3. При использовании анкеты в опросе она извлекается из хранилища и предоставляется респондентам через подсистему проведения опросов.

4. С помощью подсистемы проведения опросов происходит сбор данных от респондентов (анкетирование).

5. Результаты анкетирования помещаются в хранилище данных.

6. Инженер по знаниям получает доступ к аналитической подсистеме для проведения аналитической обработки полученных данных.

7. Аналитическая подсистема взаимодействует с платформой Deductor через службу Integration Server.

8. Обрабатываемые данные извлекаются из хранилища и передаются для анализа в систему Deductor с помощью службы Integration Server.

9. Результаты обработки попадают в хранилище знаний.

10. Взаимодействие с аналитиком-социологом при просмотре результатов обработки осуществляется через подсистему визуализации результатов.

11. Подсистема визуализации результатов предоставляет социологу информацию в наглядном, удобном для восприятия виде.

Программный комплекс разрабатывается в среде Microsoft Visual Studio 2013 с применением технологии ASP.NET MVC 4. Для управления базами данных выбрана СУБД SQL Server 2014. Используемые технологии позволяют предусмотреть следующие варианты развертывания программного комплекса:

- на локальном сервере в организации, деятельность которой связана с проведением социологических исследований;

– в виде облачного сервиса с использованием платформы Microsoft Windows Azure. В этом случае в качестве модели обслуживания предполагается использование модели SaaS (программное обеспечение как услуга), при котором пользователям предоставляется готовое прикладное программное обеспечение, полностью обслуживаемое провайдером.

Также в рамках развития подсистемы проведения опросов предполагается создание мобильных приложений под различные операционные системы, которые будут использоваться для сбора первичных данных от респондентов.

#### **4. Пример проекта, выполненного с применением методов ИАД**

Примером применения методов ИАД для обработки результатов реального социологического опроса может служить проект «Вежливая регистратура», в реализации которого принимали участие авторы. Заказчиком данного проекта являлся Департамент здравоохранения Брянской области, а его цель состояла в оценке качества взаимодействия сотрудников регистратуры поликлиник г. Брянска с пациентами [7]. В рамках проекта в 2016 году был проведен социологический опрос пациентов двух поликлиник, в котором участвовало 496 респондентов. Социологическая анкета содержала следующие вопросы: о респонденте (пол, возраст, образование, социальный статус); об особенностях общения с работниками регистратуры (в частности, здороваются ли респондент с работниками регистратуры при обращении, считает ли респондент, что работа в регистратуре тяжелая, считает ли респондент, что сотрудники регистратуры вежливы и доброжелательны); об особенностях обслуживания в поликлинике (в частности: как долго пришлось ждать в очереди, каким образом респондент записался на прием к врачу; смотрит ли респондент телепередачи о здоровье, и др.). В анкете имелись вопросы с ответами как в числовой, так и в категориальной шкале. Одна из целей заказчика состояла в том, чтобы выявить различия между пациентами, которые демонстрируют вежливое и невежливое поведение при общении с работниками регистратуры.

Для обработки данных был построен ансамбль моделей, включающий в себя несколько алгоритмов кластеризации, деревья решений и ассоциативные правила. Опишем некоторые результаты, полученные в процессе анализа.

В результате кластеризации все респонденты были разделены на два кластера, описание которых приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты кластеризации пациентов поликлиник

Состав кластера (число анкет)	Характеристика представителей
309 анкет	возраст до 60 лет; иногда, редко или вообще не смотрят телепередачи о здоровье; всегда или иногда здороваются с сотрудниками регистратуры при обращении; обращались в эту поликлинику и ранее
187 анкет	возраст свыше 60 лет (пенсионеры); регулярно смотрят телепередачи о здоровье; никогда не здороваются с сотрудниками регистратуры при обращении; день посещения – вторник; не рекомендовали бы данную поликлинику друзьям и родственникам

Однако кластеризация не привела к получению значимых результатов, поскольку многие респонденты давали социально приемлемые ответы на вопросы анкеты: по данным мониторинга, здоровались 43% обратившихся в регистратуру, а по результатам анкетирования этот показатель составил 78%. Наилучшие результаты были получены на основе ассоциативных правил. Было найдено более 400 правил, максимальная поддержка которых составила 6,65%, а максимальная достоверность – 88,9%. Приведем некоторые примеры найденных правил:

- Если возраст респондента 55-59 лет, то респондент регулярно смотрит телепередачи о здоровье (поддержка – 3,83%, достоверность – 50%);

- Если респондент – домохозяйка в возрасте 25-34 лет, то день обращения в поликлинику – понедельник (поддержка – 1,81%, достоверность – 60%);
- Если респондент не считает, что сотрудники регистратуры вежливы и доброжелательны, то респондент регулярно смотрит телепередачи о здоровье (поддержка – 3,63%, достоверность – 60%).

Найденные ассоциативные правила хорошо коррелируют с результатами статистической обработки, которую самостоятельно проводил заказчик, при этом гипотезы формировались заказчиком самостоятельно. Также был получен ряд гипотез, неожиданных для заказчика, которые были признаны им интересными для дальнейшего анализа – например, гипотеза о посещении поликлиники разными категориями населения в определенный день.

Таким образом, предлагаемый программный комплекс может рассматриваться в качестве эффективного инструмента поддержки всех этапов социологического исследования, а лежащий в его основе математический и технологический аппарат ИАД будет способствовать повышению достоверности и обоснованности результатов исследования.

### **Библиографический список**

1. Горшков М. К., Шереги Ф. Э. Прикладная социология: методология и методы. – М.: ФГАНУ «Центр социологических исследований», Институт социологии РАН, 2012. – 404 с.
2. Подвесовский А.Г., Бабуринов А.Н., Попырко В.А., Степанищев А.Ф. Обзор и сравнительный анализ функциональных возможностей Интернет-ресурсов поддержки проведения социологических опросов в режиме онлайн // Актуальные проблемы социально-гуманитарных исследований в экономике и управлении: материалы II Международ. науч.-практ. конф. – Брянск: БГТУ, 2015. – Т.1. – С. 247-256.
3. Бубенчиков Д.В. Обработка и анализ данных социологических исследований: обзор основных пакетов // NOVAINFO.RU. – 2015. – № 39 (Т. 2). – С. 311-318.
4. Паклин Н. Б., Орешков В. И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: Учебное пособие. 2-е изд., испр. – СПб: Питер, 2013. – 704 с.
5. Мосягин А.Б. Использование методологии Data Mining при решении задач обработки социальных данных // Мониторинг общественного мнения. – 2015. – № 2 (126). – С. 138-140.
- ООО «Аналитические технологии». – Режим доступа: <https://www.basegroup.ru>.
6. Те, кто смотрит по ТВ передачи про здоровье, не здороваются в регистратуре поликлиники... – URL: <http://www.brkmed.ru/article/te-kto-smotrit-po-tv-peredachi-pro-zdorove-ne-zdorovayutsya-v-registrature-polikliniki/>

УДК 378.147; ГРНТИ 14.35.09

## **ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ КОМАНДНОЙ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ У СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ»**

**А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагерева**

*Брянский государственный технический университет,  
Россия, Брянск, [apodv@tu-bryansk.ru](mailto:apodv@tu-bryansk.ru)*

*Аннотация.* В статье рассматриваются особенности подготовки студентов направления «Программная инженерия» в условиях Брянского государственного технического университета. Анализируется проблема формирования у студентов-бакалавров навыков и опыта командной разработки программного обеспечения, и предлагаются пути ее решения. Описывается подход к командной разработке учебных программных проектов с использованием матричной ролевой структуры, и обсуждаются особенности его применения в рамках лабораторного практикума по дисциплине «Введение в программную инженерию».

*Ключевые слова:* высшее образование, программная инженерия, программный проект, командная разработка программного обеспечения.

## **TRAINING OF TEAM SOFTWARE DEVELOPMENT SKILLS FOR STUDENTS OF SOFTWARE ENGINEERING SPECIALITY**

**A.G. Podvesovskii, D.G. Lagereva**

*Bryansk State Technical University,  
Russia, Bryansk, [apodv@tu-bryansk.ru](mailto:apodv@tu-bryansk.ru)*

*Abstract.* The features of software engineering education in Bryansk State Technical University are discussed. A problem of training of bachelor students for skills and experience of team software development is analyzed, and the ways of its solving are proposed. The approach for team

development of training software projects, based on matrix role structure, is described, and the features of its application within the scope of laboratory sessions in the “Introduction into Software Engineering” course are discussed.

*Keywords:* higher education, software engineering, software project, team software development.

Направление подготовки бакалавров и магистров «Программная инженерия» относится к числу наиболее современных и востребованных образовательных программ информационного профиля. В задачи данного направления входит подготовка специалистов в области полного цикла промышленного производства программного обеспечения (ПО) – от начальных стадий проектирования до внедрения и сопровождения готовых программных систем.

К становлению программной инженерии как научной дисциплины и образовательного направления привело несколько факторов, среди которых высокая скорость развития компьютерных технологий, существенный рост количества программных проектов, стремительно возрастающая сложность программных систем, высокие требования к скорости разработки, нехватка квалифицированных специалистов, плохая масштабируемость методов разработки ПО и, как следствие, достаточно малое количество успешных программных проектов (порядка 30% от общего числа).

В отечественной системе высшего образования направление «Программная инженерия» появилось сравнительно недавно. Первая редакция Федерального государственного образовательного стандарта была утверждена в 2009 году, и относится к группе так называемых образовательных стандартов 3-го поколения. Повсеместный переход на эти стандарты был осуществлен в 2011 году, и с этого года реализация соответствующей образовательной программы подготовки бакалавров началась в Брянском государственном техническом университете (БГТУ) на кафедре «Информатика и программное обеспечение» («И и ПО»).

Здесь следует отметить, что кафедра «И и ПО» уже более 25 лет осуществляет подготовку высококвалифицированных специалистов в области разработки ПО и занимает в этом направлении лидирующее положение на рынке образовательных услуг Брянской области. Помимо направления «Программная инженерия», на кафедре реализуются образовательные программы подготовки бакалавров и магистров по направлению «Информатика и вычислительная техника» и программа подготовки бакалавров по направлению «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем». Однако, главное отличие направления «Программная инженерия» от других направлений кафедры состоит в том, что выпускник данного направления должен не только уметь проектировать и разрабатывать ПО, но также должен иметь знания и навыки в области организации и управления различными процессами жизненного цикла ПО: анализ требований, разработка технического задания, проектирование, разработка, тестирование, внедрение и сопровождение.

При разработке учебного плана направления «Программная инженерия» были использованы современные международные стандарты программной инженерии и рекомендации по преподаванию программной инженерии в университетах [1, 2].

Согласно SWEBOOK [1], программная инженерия включает в себя 10 основных и 7 дополнительных областей знаний, на которых базируются процессы разработки ПО. К основным относят следующие области знаний: Software Requirements – программные требования; Software Design – дизайн (архитектура); Software Construction – конструирование ПО; Software Testing – тестирование ПО; Software Maintenance – эксплуатация (поддержка) ПО; Software Configuration Management – конфигурационное управление; Software Engineering Management – управление в программной инженерии; Software Engineering Process – процессы программной инженерии; Software Engineering Tools and Methods – инструменты и методы программной инженерии; Software Quality – качество ПО. К дополнительным областям знаний относятся: Computer Engineering – разработка компьютеров; Computer Science – информатика; Management – общий менеджмент; Mathematics – математика; Project Management – управление проектами; Quality Management – управление качеством; Systems Engineering – системное проектирование.

Таким образом, будущему специалисту в области программной инженерии необходимы знания из всех перечисленных областей. Кроме того, в [2] подчеркивается, что с самого начала обучения студентов необходимо знакомить со «сложными» задачами программной инженерии. Примерами таких задач могут служить задачи, связанные с изменяющимися требованиями, задачи понимания и изменения существующих больших систем, работа в большой группе и др. Основная идея проведения таких занятий – развить у студентов понимание значимости таких областей знаний, как процесс, качество, эволюция и менеджмент до начала изучения этих областей.

Учебные планы других направлений, реализуемых на кафедре, ориентированы в основном на детальное изучение отдельных процессов жизненного цикла программного обеспечения, относящихся в основном непосредственно к проектированию и разработке ПО. Обо всех остальных процессах жизненного цикла ПО студентам давались преимущественно теоретические сведения в рамках одной учебной дисциплины, в роли которой выступает дисциплина «Технология разработки программного обеспечения». В случае направления «Программная инженерия», где требуется углубленное изучение всех процессов жизненного цикла, такой подход невозможен, и при составлении учебного плана в него были введены следующие дисциплины:

- «Введение в программную инженерию»;
- «Управление программными проектами»;
- «Разработка и анализ требований»;
- «Спецификация, архитектура и проектирование программных систем»;
- «Конструирование программного обеспечения»;
- «Тестирование и отладка программного обеспечения»;
- «Проектирование человеко-машинного интерфейса»;
- «Экономика программной инженерии».

При формировании содержания перечисленных дисциплин необходимо учитывать современные тенденции, характерные для индустрии разработки ПО. Одна из таких тенденций состоит в том, что в настоящее время в создании коммерческих программных продуктов, как правило, принимает участие множество специалистов, которые объединяются в команды. Иными словами, индустрия разработки коммерческого ПО на сегодняшний день практически полностью ориентирована на командную разработку. Авторская разработка ПО составляет весьма незначительный процент, при этом авторы таких программ зачастую работают над другими проектами в команде. Показательным примером здесь может служить тот факт, что Марк Руссинович, автор известных утилит Process Explorer, Process Monitor, TCPView, Desktops и др., одновременно является членом технического совета компании Microsoft и работает в рамках группы Windows Azure над разработкой облачной операционной системы [3]. Некоторые проекты начинаются как индивидуальные, но, по мере развития и популяризации, их дальнейший жизненный цикл протекает по одной из групповых схем – ярким примером здесь может служить продукт Minecraft, наиболее известный представитель инди-игр.

Следствием указанного обстоятельства является активное развитие ряда подходов к организации командной разработки ПО и управления командной разработкой. Наиболее распространенными среди них являются [4]: иерархическая модель, матричная модель (равноправные соисполнители), бригада главного программиста, парное программирование, ядерная модель, общинная модель разработки (часто используется в open-source проектах), оффшорное программирование (аутстаффинг и аутсорсинг).

Таким образом, в современных условиях квалифицированный разработчик ПО должен не только знать типовые алгоритмы, владеть несколькими языками программирования и современными средствами разработки, но также должен уметь работать в команде (планировать собственную деятельность и деятельность команды, руководить другими разработчиками, разрешать конфликты и др.), и, как следствие, владеть современными средствами организации совместной деятельности разработчиков. При этом для выпускников направления

«Программная инженерия», с учетом описанных выше особенностей данного направления, данные знания и навыки являются ключевыми.

Следует отметить, что в рамках сложившегося, традиционного подхода к подготовке будущих программистов в вузе, развитию навыков командной работы обычно уделяется незаслуженно мало внимания. Так, в процессе обучения лабораторные работы, курсовые и дипломные проекты, как правило, выполняются студентами индивидуально, в одиночку. В отдельных случаях курсовой проект может выполняться студентами и в паре, но обычно в подобных случаях каждый участник работает над своей частью проекта, и не всегда эти части связаны между собой. Во многом данную ситуацию можно рассматривать как следствие устаревшего мифа о том, что программирование является родом индивидуальной деятельности.

В итоге молодой специалист вынужден учиться принципам групповой разработки ПО и приобретать необходимые навыки уже при устройстве на работу, в процессе прохождения испытательного срока, что зачастую усложняет его профессиональную адаптацию в компании. Кроме того, отсутствие навыка обучать и руководить нередко приводит к замедлению карьерного роста сотрудника или же вызывает у него сильный стресс при назначении на руководящую должность, что отрицательно сказывается на продуктивности его работы.

С целью предотвращения подобных рисков, все реализуемые на кафедре образовательные программы в той или иной мере предусматривают формирование и развитие у студентов навыков командной работы. Поскольку, как уже было сказано, данные навыки особенно важны для направления «Программная инженерия», то со студентами данного направления соответствующая работа ведется с первого курса. Рассмотрим подробнее используемые для этого подходы.

В соответствии с учебным планом, студенты направления «Программная инженерия» во втором семестре первого курса изучают дисциплину «Введение в программную инженерию». По своей сути, данная дисциплина закладывает у студентов фундамент будущей профессии, позволяет им получить начальное представление о современных принципах и методах инженерии ПО. В рамках лекционной части дисциплины студентам даются первоначальные знания об основных технологиях, применяемых на разных стадиях жизненного цикла ПО, а также рассматриваются типовые проблемы, возникающие при разработке программного продукта: проблема сбора и анализа требований заказчика, проблема выбора методологии проектирования и технологии разработки, проблема тестирования и оценки качества продукта.

Лабораторный практикум по дисциплине ориентирован, в том числе на формирование и развитие у студентов навыков командной работы. Для этого используется следующий подход. Помимо традиционных лабораторных работ, выполняемых индивидуально, студент должен выполнить ряд специальных лабораторных работ в команде, с использованием матричной структуры программного проекта, как наиболее популярной в настоящее время. Данные работы охватывают следующие задачи:

- планирование программного проекта;
- сбор и анализ требований к программному продукту;
- разработка технического задания (ТЗ) на создание продукта;
- проектирование программного продукта;
- написание программного кода (в рамках курсового проекта по дисциплине «Программирование», изучаемой параллельно);
- тестирование программного продукта;
- отладка программного продукта;
- документирование программного продукта;
- документирование процесса разработки программного продукта.

Перечисленные задачи соответствуют классической модели жизненного цикла ПО и отражают типовую последовательность этапов, подходящую для большинства программных проектов: анализ, проектирование, кодирование, тестирование, документирование [1].

Для выполнения командных лабораторных работ студенты делятся на подгруппы численностью от трех до пяти человек. Желательно, чтобы подгруппа состояла из студентов различного уровня и склада характера. Каждая подгруппа образует рабочую команду, которая ведет несколько проектов одновременно (по одному на каждого члена). Каждый из членов подгруппы в разных проектах последовательно выполняет обязанности менеджера проекта (М), аналитика (А), проектировщика (П), программиста (К), тестировщика (Т), технического писателя (Д). Пример распределения ролей для группы, состоящей из N студентов, приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Распределение ролей в команде из четырех студентов

Проекты \ Участники	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4	...	Проект N-3	Проект N-2	Проект N-1	Проект N
Студент 1	М, К, Д				...		Т	А	П
Студент 2	П	М, К, Д			...			Т	А
Студент 3	А	П	М, К, Д		...				Т
Студент 4	Т	А	П	М, К, Д	...				
Студент 5		Т	А	П	...				
Студент 6			Т	А	...				
Студент 7				Т	...				
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Студент N-3					...	М, К, Д			
Студент N-2					...	П	М, К, Д		
Студент N-1					...	А	П	М, К, Д	
Студент N					...	Т	А	П	М, К, Д

Таким образом, помимо участия в других проектах, каждый студент имеет «собственный» проект, в котором он выполняет обязанности:

- менеджера проекта – составляет календарный план и контролирует соблюдением сроков его выполнения;
- программиста – пишет программный код, который в итоге сдается в качестве курсового проекта по дисциплине «Программирование»;
- технического писателя – оформляет всю необходимую проектную документацию, что в итоге составляет содержание расчетно-графической работы по данной дисциплине.

Для поддержки лабораторного практикума по дисциплине «Введение в программную инженерию» используются следующие специализированные программные продукты.

1. Система управления версиями VisualSVN Server – Subversion Server for Windows. Используется для хранения исходного кода и прочих файлов проекта.

2. TortoiseSVN – клиентское приложение для системы контроля версий Subversion, выполненное как расширение оболочки Windows и распространяемое в рамках свободной лицензии GPL. Используется для управления репозиторием.

3. OpenProj – кроссплатформенное программное обеспечение для управления проектами. Распространяется на условиях лицензии CPAL. Позиционируется как открытая замена коммерческому продукту MS Project.

4. Redmine – открытое серверное веб-приложение для управления проектами и задачами (в том числе для отслеживания ошибок). Распространяется согласно лицензии GNU GPL. Используется для планирования, фиксации найденных ошибок, отслеживания текущего состояния проекта и уведомления участников проекта.

5. Мастер ТЗ – бесплатная программа для создания технического задания на разработку программного обеспечения. Программа обеспечивает поддержку создания профессионального технического задания в соответствии с требованиями ГОСТ.

6. Ramus – кроссплатформенная система моделирования и анализа бизнес-процессов. Используется на этапе проектирования для создания модели потоков данных.

До начала выполнения работ преподаватель регистрирует всех студентов в системах VisualSVN и Redmine и настраивает права доступа. После этого каждый студент создает календарный план своего проекта в OpenProj и после обсуждения с преподавателем переносит

его в Redmine и назначает задачи исполнителям. В дальнейшем в его обязанности входит контроль, за качеством работы участников своей группы и соблюдением ими назначенных сроков. Преподаватель контролирует процесс со стороны, вмешиваясь только в критических ситуациях, которые грозят провалом всего проекта.

Групповая разработка учебного проекта позволяет студенту ощутить реальную обстановку процесса разработки ПО, попробовать себя в различных ролях, понять особенности будущей профессиональной деятельности, развить навыки командной работы и лидерские качества. Кроме того, практика групповой деятельности создает возможность более широкого вовлечения студентов в процесс разработки ПО, чем это обычно имеет место при выполнении индивидуальных заданий, что в свою очередь способствует повышению мотивации и подкреплению вертикальной связи «студент-преподаватель» множеством горизонтальных связей «студент-студент».

Описанная схема командной работы может применяться и в рамках других учебных дисциплин, однако, следует учитывать, что она предъявляет весьма жесткие требования к уровню ответственности членов команды и степени контроля со стороны преподавателя, поскольку один недобросовестный студент может существенно замедлить работу всей команды, что может привести к провалу всего проекта и, как следствие, к невозможности своевременной сдачи проекта не только «виновником», но и остальными членами группы.

Дальнейшее развитие и закрепление навыков командной работы возможно в рамках выполнения студентами комплексных выпускных квалификационных работ (ВКР). Каждая такая ВКР представляет крупный программный проект, при этом условия выполнения максимально приближены к условиям реального производства программных продуктов. Руководитель ВКР в этом случае может выступать в качестве директора или заказчика, а студенты получают в проекте разные роли, в зависимости от их уровня подготовки и личных качеств. При этом в отличие от проектно-ориентированных курсов, в процессе работы над ВКР все решения в рамках поставленной задачи принимаются самими студентами.

### **Библиографический список**

1. Guide to Software Engineering Base of Knowledge (SWEBOK). Режим доступа – <http://www.swebok.org/>
2. Рекомендации по преподаванию программной инженерии и информатики в университетах. – М.: ИНТУ-ИТ.РУ «Интернет-Университет Информационных Технологий», 2007. – 462 с.
3. Mark Russinovich's Blog. Режим доступа – <http://blogs.technet.com/b/markrussinovich/about.aspx>
4. Одинцов, И. Профессиональное программирование. Системный подход / Одинцов И. – БХВ-Петербург, 2006. – 624 с.

УДК 519.81; ГРНТИ 28.29.05

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПО РУКОВОДИТЕЛЯМ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ КРУПНОЙ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ**

**А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагереv, И.Г. Егорова**  
*Брянский государственный технический университет,  
Россия, г. Брянск, [apodv@tu-bryansk.ru](mailto:apodv@tu-bryansk.ru)*

*Аннотация.* Предложена модель распределения студентов по руководителям выпускных квалификационных работ в условиях крупной выпускающей кафедры, основанная на решении задачи об устойчивых паросочетаниях с использованием алгоритма Гейла-Шепли. Рассмотрены принципы программной поддержки процесса распределения на основе предложенной модели.

*Ключевые слова:* выпускная квалификационная работа, двусторонний матчнинг, устойчивое паросочетание, алгоритм отложенного принятия предложения



# MODELING AND SOFTWARE SUPPORT FOR DISTRIBUTION OF STUDENTS BETWEEN GRADUATE SUPERVISORS AT LARGE GRADUATION DEPARTMENT

A.G. Podvesovskii, D.G. Lagerev, I.G. Egorova

*Bryansk State Technical University,  
Russia, Bryansk, apodv@tu-bryansk.ru*

*Abstract.* A model for distribution of students between graduate supervisors at large graduate department is presented. The model is based on the stable matching problem and the Gale-Shapley deferred acceptance algorithm. The principles of software support for distribution process based on that model are presented.

*Keywords:* graduate work, two-sided matching, stable matching, deferred acceptance algorithm

## 1. Введение

Подготовка и защита выпускной квалификационной работы (ВКР) является важным завершающим этапом освоения образовательной программы студентами любого уровня образования. Распределение студентов старших курсов по руководителям ВКР происходит на выпускающих кафедрах не реже одного раза в год, а в ряде случаев, при наличии на кафедре нескольких форм и уровней образования – несколько раз в год. При этом в процессе распределения необходимо учитывать множество факторов, в той или иной степени определяющих соответствие студента и преподавателя и, как следствие, возможность и эффективность совместной работы. Так, каждый студент характеризуется определенным уровнем успеваемости, ответственности, и активности. К моменту распределения у большинства студентов уже, как правило, имеются определенные предпочтения относительно тематики ВКР, а у некоторых – желание работать под руководством конкретного преподавателя. Преподаватель, в свою очередь, имеет определенный круг профессиональных интересов, способен эффективно руководить ограниченным числом студентов (при этом для каждого преподавателя такое ограничение является индивидуальным) и зачастую демонстрирует различную эффективность руководства студентами разного уровня успеваемости и ответственности.

В подобной ситуации обеспечить эффективное распределение, которое бы учитывало многообразие перечисленных выше критериев и удовлетворяло как студентов, так и преподавателей, представляет собой весьма непростую задачу. Особенно ярко это проявляется в условиях крупной выпускающей кафедры, реализующей несколько образовательных программ и характеризующейся большим количеством студентов и многочисленным преподавательским составом. Так, на кафедре «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета к руководству дипломным проектированием привлекаются более 20 преподавателей, среди которых ежегодно распределяются два потока студентов. Общее количество распределяемых студентов обычно превышает 70 человек (более 50 студентов-бакалавров и более 20 магистрантов), а в отдельные годы доходит до 100 человек. Как показывает практика, распределение в «ручном» режиме не позволяет в полной мере учесть все критерии соответствия и пожелания обеих сторон и, как следствие, порождает волну неудовлетворенности как со стороны студентов, так и со стороны преподавателей, что приводит в дальнейшем к многочисленным переходам студентов от руководителя к руководителю, и в конечном итоге негативно отражается на организации процесса выполнения ВКР в целом.

Таким образом, было принято решение создать систему программной поддержки распределения студентов по руководителям ВКР, для которой разработать модель оптимизации распределения. Были выработаны следующие базовые требования к модели распределения:

- 1) распределение должно выполняться на основе информации о предпочтениях студентов и преподавателей, полученной непосредственно от них самих;
- 2) ключевым показателем эффективности распределения является его устойчивость, под которой понимается отсутствие у студента желания и возможности перехода от назначенного ему руководителя к другому (при этом без наложения административных запретов на подобные переходы).

Указанным требованиям удовлетворяет модель двустороннего матчнга, основанная на решении задачи о формировании набора паросочетаний между элементами двух непересекающихся множеств, где для каждого элемента первого множества существует свое распределение предпочтений между элементами второго множества, и наоборот. Также могут быть заданы дополнительные ограничения. С содержательной точки зрения двусторонний матчнг описывает оптимальное поведение агентов в ситуации одновременного и взаимно парного выбора и входит в круг вопросов, изучаемых теорией кооперативных игр [1].

Применительно к рассматриваемой задаче, имеются множества студентов и преподавателей, и для формирования паросочетаний используется схема «многие к одному»: каждый студент работает под руководством одного преподавателя, но каждый преподаватель может руководить несколькими студентами. В основе соответствующей модели матчнга лежит оптимизационная задача, названная в работе [2] задачей о приеме в колледжи.

## 2. Представление задачи распределения в виде модели двустороннего матчнга

Пусть  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  – множество студентов,  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  – множество преподавателей, осуществляющих руководство ВКР (предполагается, что  $k < n$ ). Для каждого преподавателя  $t_i$  задано значение  $q_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ), определяющее максимальное число студентов, которыми он может руководить. Будем называть  $q_i$  *объемом квоты* руководителя.

Каждому студенту  $s_j$  соответствует подмножество  $T_j \subseteq T$  преподавателей, под руководством которых он хотел бы выполнять ВКР. Руководителей из множества  $T_j$  назовем *допустимыми* для студента  $s_j$ . Будем обозначать  $t_i \succ_{s_j} t_l$ , если заинтересованность  $s_j$  в работе под руководством преподавателя  $t_i$  выше, чем под руководством  $t_l$  ( $t_i, t_l \in T_j$ ). Таким образом, каждый студент  $s_j$  имеет предпочтения на множестве допустимых руководителей  $T_j$ , и эти предпочтения будем считать транзитивными и линейными. Также для простоты будем считать предпочтения строгими, т.е. если два или более руководителя для студента равноценны, то они все равно определенным образом упорядочиваются между собой (например, случайно). Тем самым, предпочтения студента  $s_j$  можно представить в виде упорядоченного по убыванию предпочтительности списка  $P(s_j)$  элементов множества  $T_j$ .

В свою очередь, каждому преподавателю  $t_i$  ставится в соответствие подмножество студентов  $S_i \subseteq S$ , для которых данный преподаватель является допустимым руководителем (т.е. включивших его в списки своих предпочтений. По аналогии, назовем студентов из множества  $S_i$  *допустимыми* для преподавателя  $t_i$ . Будем обозначать  $s_j \succ_{t_i} s_r$ , если заинтересованность  $t_i$  в работе с  $s_j$  выше, чем в работе с  $s_r$  ( $s_j, s_r \in S_i$ ). Таким образом, на множестве  $S_i$  задаются предпочтения преподавателя  $t_i$ , которые также будем считать транзитивными, линейными и строгими, т.е. их можно представить в виде упорядоченного списка  $P(t_i)$ .

*Распределением* в рассматриваемой задаче будем называть бинарное отношение  $M \subseteq T \times S$ , удовлетворяющее следующим условиям:

- 1)  $M(s_j) \subseteq T_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ), при этом  $|M(s_j)| \leq 1$ ;
- 2)  $M(t_i) \subseteq S_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ), при этом  $|M(t_i)| \leq q_i$ .

Условие 1 означает, что каждому студенту может быть назначен не более, чем один руководитель из множества допустимых для него (случай  $|M(s_j)| = 0$ , т.е.  $M(s_j) = \emptyset$ , соответствует ситуации, когда при заданных предпочтениях назначить студенту руководителя не удастся). Аналогично, условие 2 означает, что каждый преподаватель получает для руководства только допустимых для него студентов, число которых не превышает  $q_i$ .

Очевидно, распределение является неустойчивым, если хотя бы для одного студента  $s_j$  существует возможность перейти к более предпочтительному для него руководителю  $t_i$ . Возможность перехода означает, что  $t_i$  заинтересован в работе с  $s_j$  и имеет незаполненную квоту, либо  $s_j$  занимает более высокую позицию в списке предпочтений  $P(t_i)$ , чем один или несколько студентов, руководимых  $t_i$ , т.е. принадлежащих множеству  $M(t_i)$ . В этом случае будем говорить, что пара  $(t_i, s_j)$  *блокирует* распределение  $M$ .

Формально, назовем пару  $(t_i, s_j) \in T \times S$  *блокирующей* распределение  $M$ , если  $(t_i, s_j) \notin M$ , и выполняются следующие условия:

- 1)  $t_i \in T_j$ , при этом если  $M(s_j) = \{t_l\}$ , то  $t_i \succ_{s_j} t_l$ ;
- 2)  $s_j \in S_i$ , при этом  $|M(t_i)| < q_i$ , либо  $\exists s_r \in M(t_i) s_j \succ_{t_i} s_r$ .

Будем говорить, что распределение *устойчиво*, если отсутствуют блокирующие его пары. Руководителя  $t_i$  будем называть *достижимым* для студента  $s_j$ , если существует устойчивое распределение  $M$ , для которого  $(t_i, s_j) \in M$ . С учетом того, что для одной и той же системы предпочтений в общем случае может существовать несколько устойчивых распределений [2], будем называть устойчивое распределение *оптимальным*, если каждый студент получает наилучшего из достижимых для него руководителей.

### 3. Описание процедуры распределения

Процедура распределения основана на алгоритме Гейла-Шепли, называемом также алгоритмом «отложенного принятия предложения» [2]. Рассмотрим ее основные этапы.

1. Каждый студент  $s_j$  свой упорядоченный список предпочтений  $P(s_j)$ , содержащий преподавателей, под руководством которых он хотел бы работать.

2. Каждому преподавателю  $t_i$  предъявляется множество студентов, указавших его на первом месте в своих списках предпочтений. Из этого множества, при наличии таковых, исключаются студенты, руководить которыми данный преподаватель не может ни при каких обстоятельствах, а оставшиеся студенты образуют буферное множество  $W_i$ , которое, следуя [2], будем называть *списком ожидания* преподавателя  $t_i$ .

3. Если число студентов в данном списке превышает объем квоты  $q_i$ , то преподаватель упорядочивает его по убыванию предпочтительности, и в списке остаются первые  $q_i$  студентов, а остальные получают отказ.

4. Студенты, получившие на предыдущем шаге отказ от преподавателей своего первого выбора, попадают в списки ожидания преподавателей второго выбора, т.е. стоящих на втором месте в соответствующих списках  $P(s_j)$ . Дополненные таким образом списки ожидания  $W_i$ , если их объем превышает  $q_i$ , вновь упорядочиваются по убыванию предпочтительности и отсекаются до объема  $q_i$ .

5. Аналогичные шаги повторяются до тех пор, пока каждый студент не закрепится в списке ожидания у одного из преподавателей, либо не будет отклонен всеми преподавателями. Полученное в результате распределение будет иметь вид:

$$M(t_i) = W_i \ (i = 1, \dots, k);$$

$$M(s_j) = \{t_i\}, \text{ если } s_j \in W_i \text{ для некоторого } i, \text{ иначе } M(s_j) = \emptyset.$$

Можно показать [2], что полученное распределение является устойчивым и оптимальным (в указанном выше смысле).

### 4. Программная поддержка процедуры распределения

Описанная процедура распределения реализована в виде Web-сервиса в составе комплексной информационной системы кафедры. Общий принцип работы данного сервиса представлен на рисунке 1 в виде диаграммы активности на языке UML. В роли ответственного за распределение выступает преподаватель, назначенный руководством кафедры.

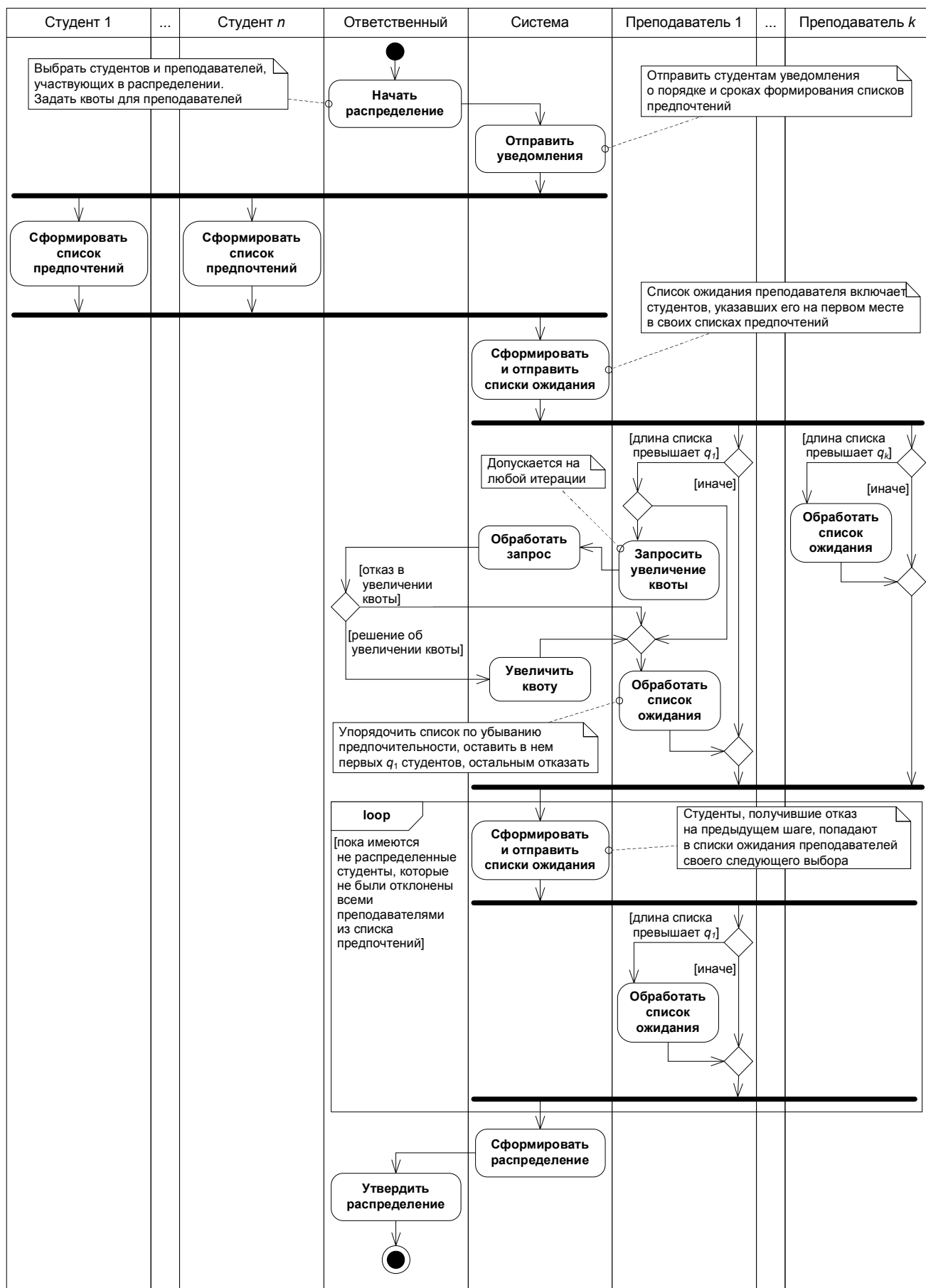


Рис. 1. Представление процесса распределения студентов по руководителям ВКР в виде диаграммы активности

Приведем некоторые пояснения к приведенной диаграмме.

1. Если на очередной итерации длина списка ожидания преподавателя превышает объем его квоты, но преподаватель готов работать со всеми студентами из данного списка, он может запросить у ответственного увеличение квоты. На свойства результирующего распределения это не влияет. Уменьшение квоты в общем случае не допускается.

2. Количество итераций процедуры распределения, т.е. количество циклов обращения к преподавателям с целью ранжирования студентов в списке ожидания, как правило, не превышает длины наибольшего из списков предпочтений студентов, при этом на каждой следующей итерации задействуется меньшее число преподавателей, чем на предыдущей. Кроме того, если по результатам очередной итерации преподаватель имеет заполненную квоту и удовлетворен составом своего списка ожидания, то он вправе сообщить ответственному об этом, в результате чего распределение для данного преподавателя считается выполненным, и в дальнейших итерациях он не участвует.

3. Студенты, получившие отказ от всех преподавателей, распределяются повторно между преподавателями с незаполненной квотой, с применением аналогичной процедуры либо административным путем.

На рисунке 2 показан пример работы сервиса на этапе обработки преподавателем списка ожидания.

ТЕКУЩАЯ ИТЕРАЦИЯ: 1  
 КВОТА: 3

СПИСОК СТУДЕНТОВ

1. Морозов Дмитрий Сергеевич	13ПРИ
2. Шарова Юлия Сергеевна	13ПРИ
3. Петрухин Роман Артурович	13МОА
4. Иванов Владислав Александрович	13ПРИ
5. Баранов Владимир Николаевич	13ПРИ
6. Гусаров Алексей Викторович	13МОА
7. Полякова Марина Сергеевна	13МОА
8. Цветков Максим Геннадьевич	13ИВТ
9. Левкина Ольга Константиновна	13МОА

ОТПРАВИТЬ
ЗАПРОСИТЬ УВЕЛИЧЕНИЕ КВОТЫ

**Иванов Владислав Александрович 13ПРИ**

Предпочитаемая тема работы: Программа для скрытого слежения за компьютером (отслеживание запускаемых приложений, посещаемых сайтов, снимки экрана)

Средства разработки: C/C++, WinAPI, Visual Studio, QT

←

Рис. 2. Пример работы сервиса

Практическая апробация описанной процедуры при распределении студентов-бакалавров кафедры «Информатика и программное обеспечение» показала ее высокую эффективность [3]. Дополнительным преимуществом предлагаемого подхода является «прозрачность» механизма распределения: как студент, так и преподаватель видит уровень своей «популярности» у противоположной стороны, что, помимо прочего, исключает какие-либо претензии к лицу, выполняющему распределение.

### Библиографический список

1. Roth A.E., Sotomayor M. Two-Sided Matching: A Study in Game-Theoretic Modeling and Analysis // Econometric Society Monograph Series, Cambridge University Press, 1990.
2. Gale D., Shapley L.S. College Admissions and the Stability of Marriage // American Mathematical Monthly, Vol. 69, No. 1, 1962. – P. 9-15.
3. Подвесовский, А.Г. Применение модели двустороннего матчинга для распределения студентов по руководителям выпускных квалификационных работ / А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагереv, И.Г. Егорова // Проблемы управления качеством образования: сборник статей XI Всеросс. науч.-практ. конф. / МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2016. – С. 61-65.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ «ИГЛА»**

**Р.А. Исаев, А.Г. Подвесовский**

*Брянский государственный технический университет,  
Россия, Брянск, Ruslan-Isaev-32@yandex.ru*

*Аннотация.* В работе рассмотрена проблема совершенствования подсистемы визуализации нечеткой когнитивной модели в системе поддержки принятия решений «ИГЛА». Задача визуализации нечетких когнитивных моделей сведена к задаче визуализации графов. Рассмотрены алгоритмы визуализации графов в приложении к нечетким когнитивным картам, представлены примеры их применения. Выдвинуты требования к механизму визуализации, основанные на критериях когнитивной ясности. Обозначены направления дальнейшего исследования.

*Ключевые слова:* когнитивное моделирование, нечеткие когнитивные модели, визуализация графов.

## **IMPROVEMENT OF THE MECHANISM OF FUZZY COGNITIVE MODELS VISUALIZATION IN DECISION SUPPORT SYSTEM «QUILL»**

**R.A. Isaev, A.G. Podvesovskii**

*Bryansk State Technical University,  
Russia, Bryansk, Ruslan-Isaev-32@yandex.ru*

*Abstract.* This paper describes the problem of improving the subsystem of the fuzzy cognitive model visualization in “QUILL” decision support system. The task of the fuzzy cognitive models visualization is reduced to the problem of graph drawing. Algorithms for graph drawing in the application to the fuzzy cognitive maps are reviewed, examples of their application are presented. Requirements to the mechanism of visualization, based on the criteria of cognitive clarity are put forward. The areas of further research are identified.

*Keywords:* cognitive modelling, fuzzy cognitive models, graph drawing.

### **1. Введение**

Одним из подходов к исследованию слабоструктурированных систем, широко применяемым в настоящее время, является когнитивный подход. В соответствии с определением, приведенным в [2], данный подход ориентирован на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) человека при решении управленческих задач. Методы моделирования систем на основе когнитивного подхода принято объединять под общим термином «когнитивное моделирование». В общем виде под когнитивным моделированием понимается исследование структуры системы и процессов ее функционирования и развития путем анализа ее когнитивной модели.

В настоящее время наблюдается интерес к программной поддержке когнитивных моделей. Обзор ряда существующих программных систем когнитивного моделирования представлен в работе [4]. Одной из таких систем является система поддержки принятия решений «ИГЛА» (Интеллектуальный Генератор Лучших Альтернатив), позволяющая осуществлять генерацию и отбор сценариев управления слабоструктурированными системами на основе нечетких когнитивных моделей [3, 5].

### **2. Задача визуализации нечетких когнитивных моделей**

Одним из условий эффективной работы с нечеткой когнитивной моделью является обеспечение ее наглядного и удобного для восприятия визуального представления, поэтому в настоящее время одной из задач, решаемых в рамках развития системы «ИГЛА», является задача совершенствования подсистемы визуализации нечеткой когнитивной модели.

В основе нечеткой когнитивной модели системы лежит нечеткая когнитивная карта (НKK), которая отражает субъективное представление исследователя о ней (индивидуальное или коллективное) в виде множества семантических категорий (называемых факторами или концептами) и набора причинно-следственных связей между ними. Таким образом, НKK может быть наглядно представлена в виде взвешенного ориентированного графа, вершины

которого соответствуют концептам, а дуги – причинно-следственным связям. Тем самым, задача визуализации НКК может быть сведена к задаче визуализации графа соответствующей структуры.

В рамках исследования и решения данной задачи был рассмотрен и проанализирован ряд алгоритмов визуализации графов. В соответствии с идеей, лежащей в основе их построения и работы, все эти алгоритмы можно разделить на следующие классы:

- 1) алгоритмы, основанные на физических аналогиях (силовые алгоритмы);
- 2) алгоритмы, основанные на принципах самоорганизации;
- 3) алгоритмы поуровневого изображения ориентированных графов.

По результатам экспериментальной проверки рассмотренных алгоритмов на реальных когнитивных картах, для практической реализации в системе «ИГЛА» были выбраны алгоритм LinLog, относящийся к классу силовых алгоритмов, и алгоритм ISOM, основанный на принципах самоорганизации. Ниже приведены описания данных алгоритмов.

### 3. Алгоритмы визуализации графов в приложении к нечетким когнитивным моделям

#### 1. Модель энергии LinLog

Большинство известных силовых алгоритмов были предназначены для построения читаемых визуализаций графов. Они строят ребра небольшой одинаковой длины, а в качестве побочного эффекта стремятся разместить вершины, имеющие высокую степень, в центре изображения, чтобы обеспечить небольшое расстояние от них до остальных вершин. В 2003 году была предложена [7] новая модель LinLog, которая при размещении группирует сильно связанные вершины и разделяет слабо связанные, задавая таким образом разбиение вершин на кластеры. Для модели LinLog было введено две модификации: модель вершинного отталкивания и модель реберного отталкивания.

Энергия вершинного отталкивания LinLog для размещения  $p$  определяется следующим образом:

$$U_{NodeLinLog}(p) = \sum_{(u,v) \in E} \|p(u) - p(v)\| - \sum_{(u,v) \in V^{(2)}} \ln \|p(u) - p(v)\|, \quad (1)$$

где  $\|p(u) - p(v)\|$  – евклидово расстояние между вершинами  $u$  и  $v$ .

Чтобы не допустить бесконечных значений энергии, достаточно того, чтобы различные вершины имели разные позиции, что не является серьезным ограничением, поскольку требуется найти размещение с низкой энергией. Первый член в выражении (1) можно интерпретировать как притяжение между смежными вершинами, а второй – как отталкивание между различными вершинами.

В модели реберного отталкивания отталкивание между вершинами заменено на отталкивание между ребрами. В данной формализации, отталкивание не действует между всеми ребрами, а только между их концевыми вершинами. Поэтому отталкивание между двумя вершинами имеет вес, зависящий от количества инцидентных им ребер, то есть их степеней.

$$U_{EdgeLinLog}(p) = \sum_{(u,v) \in E} \|p(u) - p(v)\| - \sum_{(u,v) \in V^{(2)}} \deg(u) \deg(v) \ln \|p(u) - p(v)\|,$$

где  $\deg(u)$  и  $\deg(v)$  – степени вершин  $u$  и  $v$ .

В размещении, которое отражает структуру кластеров, вершины одного плотного подграфа находятся близко друг к другу, а вершины слабо связанных подграфов явным образом разделены. Это достигается минимизацией расстояния между связанными вершинами (т.е. минимизацией длины ребер) и одновременно увеличением расстояния между всеми парами вершин.

#### 2. Алгоритм ISOM (Inverted Self-Organized Maps)

Алгоритм, предложенный в работе [6], заимствует принципы, используемые в самоорганизующихся картах Кохонена. Основная идея состоит в отождествлении графа с самоорганизующейся картой такой же топологии. Таким образом, каждый элемент нейронной сети

может быть идентифицирован с вершиной графа, а его весовой вектор интерпретирован как пространственное расположение этой вершины. Ожидается, что вершины кластеризуются таким образом, что евклидовы расстояния между ними будут соответствовать теоретическим расстояниям между этими вершинами в графе.

Ниже приведен псевдокод алгоритма.

**Входные данные** : граф  $G=(V, E)$

**Результат** : размещение  $G$  в пространстве

*epoch*  $t := 1$ ;

*radius*  $r := r_{max}$ ; / \* начальный радиус \* /

*cooling factor*  $c$ ;

Для всех  $v \in V$  присвоить  $v.pos := random\_vector()$ ;

Пока ( $t \leq t_{max}$  )

{

*adaption*  $\alpha :=$

$\max(\min adaption, e^{-c(t/t_{max})} * \max adaption)$ ;

$\vec{i} := random\_vector()$ ;

/ \* равномерно распределен по входной области \* /

$w := v \in V$  такая что  $v.pos - \vec{i}$  минимальна

для  $w$  и всех её потомков  $w_i$  для которых  $d(w, w_i) \leq r$

$w_i.pos := w_i.pos - 2^{-d(w, w_i)} \alpha (w_i.pos - \vec{i})$ ;

$t := t + 1$ ;

если  $r > \min radius$

$r := r - 1$ ;

}

Критерий размещения графа, используемый алгоритмом ISOM, тесно связан с критериями, используемыми в силовых алгоритмах. Силовые алгоритмы минимизируют энергию ребер, которые интерпретируются как пружины, присоединенные к вершинам. Эти пружины используются для моделирования сил притяжения и сил отталкивания между соседними вершинами. Расчет укладки графа силовым алгоритмом подразумевает нахождение конфигурации, при которой эти силы сбалансированы. Помимо этого, в процессе оптимизации укладки алгоритм ISOM преследует две цели:

1) теоретическое расстояние между всеми парами вершин соответствует расстоянию между ними на изображении;

2) вершины распределяются так, чтобы пространство было заполнено равномерно.

Первую цель можно трактовать как аналог сил притяжения: соседние вершины перемещаются к одной позиции, а вторую – как аналог сил отталкивания: вершины передвигаются, стремясь заполнить свободное пространство.

Ввиду сходства критериев работы алгоритма ISOM и силовых алгоритмов, ISOM лучше всего применять для размещения планарных графов. Однако он позволяет получать удовлетворительные результаты также и для графов, не являющихся планарными.

### 3. Примеры визуализации нечеткой когнитивной карты

На рисунках 1-2 приведены результаты работы алгоритмов LinLog и ISOM для когнитивной карты, состоящей из четырех вершин. На данном примере можно выделить существенное различие между этими алгоритмами, проявляющееся на практике. Алгоритм ISOM неявно стремится минимизировать количество пересечений дуг, в результате чего для планарных графов формируются плоские изображения. В то же время алгоритм LinLog ориен-



тирован скорее на достижение одинаковой длины дуг, и с этой целью игнорируются их пересечения.

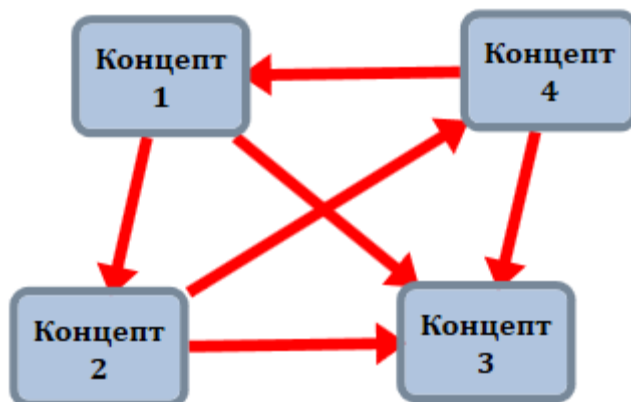


Рис. 1. Пример визуализации НKK с помощью алгоритма LinLog

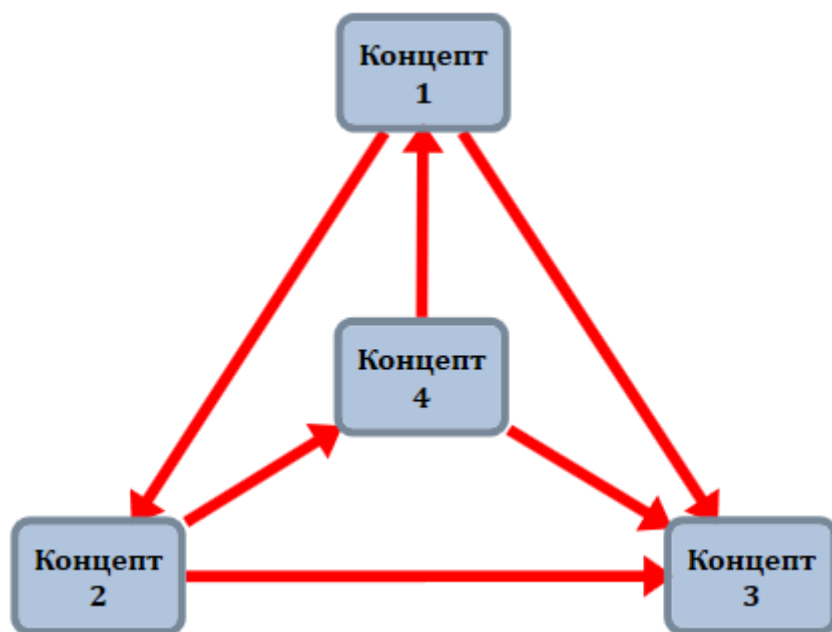


Рис. 2. Пример визуализации НKK с помощью алгоритма ISOM

#### 4. Направления дальнейшего совершенствования механизма визуализации нечетких когнитивных моделей

Несмотря на то, что задача визуализации НKK в целом сводится к задаче визуализации графа, при этом также должны быть учтены проблемы ограниченности когнитивных возможностей человека при чтении графов. Иными словами, изображение НKK должно удовлетворять критериям когнитивной ясности. Понятие когнитивной ясности некоторой информации, сообщений, описаний в основном характеризуется легкостью интуитивного понимания [1].

Говоря о когнитивной ясности применительно к изображению когнитивного графа, можно выделить следующие критерии:

- направления дуг: более удобными (здесь и далее – при прочих равных) для «прочтения» НKK являются направления дуг «сверху-вниз» и «слева-направо» (так как именно эти направления совпадают с привычным для нас направлениями чтения);
- однонаправленность изображения последовательных дуг: если не нужно постоянно менять направление взгляда, то зрительный обхват путей и циклов графа будет совершаться быстрее;

- минимизация пересечений дуг: в идеале они должны отсутствовать, при невозможности этого (то есть в случае непланарности графа) их количество следует сводить к минимуму;
- минимизация количества изогнутых дуг: более удобными являются изображения с прямыми, а не изогнутыми дугами;
- минимизация длины дуг (как совокупной, так и самой длинной дуги): чем короче дуги, тем легче увидеть, какие концепты связаны друг с другом, тем больше связей можно увидеть одновременно и т.д.;
- минимизация разброса длины дуг: удобнее воспринимать изображения, где все дуги примерно одинаковой длины;
- оптимизация области размещения: граф должен быть размещен в прямоугольной области, формат (соотношение ширины и высоты) которой соответствует текущему формату графической области подсистемы визуализации, при этом площадь области размещения должна быть минимизирована.
- подчеркивание симметрии графа: изображения, симметричные относительно некой оси или центра, более удобны для восприятия и анализа;
- выделение концептов-«ядер»: такая отрисовка графа, при которой внимание аналитика сразу обращается на «ключевые» концепты, то есть концепты, имеющие наибольшее число связей с другими концептами.

Многие из перечисленных критериев противоречат друг другу, кроме того, алгоритмически трудно или даже невозможно удовлетворить им всем одновременно. Таким образом, неизбежны поиски компромиссов.

В ходе дальнейшей работы по совершенствованию механизма визуализации НКК планируется разработка методов визуализации, позволяющих учитывать перечисленные критерии когнитивной ясности, а также их программная реализация в рамках СППР «ИГЛА» и экспериментальная проверка.

### **Выводы**

В статье рассмотрена проблема совершенствования подсистемы визуализации нечеткой когнитивной модели в СППР «ИГЛА». Показано, что задача визуализации нечетких когнитивных моделей может быть сведена к задаче визуализации графов. Рассмотрены алгоритмы визуализации графов в приложении к нечетким когнитивным картам, представлены примеры их применения. Выдвинуты требования к механизму визуализации нечетких когнитивных карт, основанные на критериях когнитивной ясности. Обозначены направления дальнейшего исследования, включающие в себя разработку, программную реализацию и экспериментальную проверку методов визуализации, способных учитывать критерии когнитивной ясности.

### **Библиографический список**

1. Абрамова, Н.А. О методах поддержки построения и верификации когнитивных карт с применением идей когнитивной графики / Н.А. Абрамова, Т.А. Воронина, Р.Ю. Порцев // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении». М.: ИПУ РАН. 2010. С.411-430.
2. Авдеева, З.К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко // Управление большими системами. – 2007. – Вып. 16. – С. 26-39.
3. Коростелев, Д.А. Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» / Д.А. Коростелев, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовский // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008: Труды конференции. – В 3-х т. – Т. 3. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – С. 329-336.
4. Кулинич, А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Control sciences. – 2010. – №3. – С. 2-16.
5. Подвесовский, А.Г. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений / А.Г. Подвесовский, Д.Г. Лагерева, Д.А. Коростелев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4 (24). – С.77-84.
6. Meyer B. (1998) Self-Organizing Graphs — A Neural Network Perspective of Graph Layout. In: Whitesides S.H. (eds) Graph Drawing. GD 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1547. Springer, Berlin, Heidelberg.

УДК 681.518; ГРНТИ 50.43.19

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ SMOTE-АЛГОРИТМА ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ НЕСБАЛАНСИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

**И.А. Ключева**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, iraryazan@mail.ru*

*Аннотация.* Рассматривается применимость SMOTE-алгоритма для улучшения качества SVM-классификатора при классификации несбалансированных наборов данных.

*Ключевые слова:* алгоритмы искусственного интеллекта, несбалансированные данные, сэмплинг, SVM-классификатор.

## **THE STUDY OF THE APPLICABILITY OF THE SMOTE-ALGORITHM BY CLASSIFICATION OF THE IMBALANCED DATA**

**I.A. Kluyeva**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, iraryazan@mail.ru*

*Abstract.* The paper considers the applicability of the SMOTE-algorithm to improve the quality of SVM-classifier, which is applied for classification of the imbalanced datasets.

*Keywords:* artificial intelligence algorithms, imbalanced data, sampling, SVM-classifier.

Проблемой обучения на несбалансированных данных [1 – 5] является их способность значительно снизить качество обучения стандартных алгоритмов, т.к. они не обеспечивают требуемых характеристик распределения данных при обучении.

Под несбалансированностью данных обычно понимается следующее: большинство объектов исходного набора данных принадлежат одному классу (мажоритарный класс) и гораздо меньшее количество объектов относятся к другому классу (миноритарный класс). При этом неверная классификация примеров миноритарного класса, как правило, обходится в разы дороже, чем ошибочная классификация примера мажоритарного класса, т.к. экземпляры миноритарного класса представляют собой редкие, но наиболее важные данные в реально используемых наборах данных.

Обучение классификаторов на несбалансированных наборах данных приводит к тому, что построенные классификаторы склонны классифицировать все объекты как объекты класса «большинства», полностью игнорируя меньшинство объектов другого класса, что, как правило, не соответствует фактической цели исследования.

Проблема анализа несбалансированных структур данных занимает значительное место в сфере технологий интеллектуального анализа данных. В частности, существует большое количество реальных приложений, которые страдают от несбалансированности выборок данных: медицинская диагностика, диагностика неисправностей, обнаружение аномалий, распознавание лиц, телекоммуникации, интернет, электронная почта, экология, биология, кредитный скоринг, финансовые услуги [1].

Существует два основных подхода к построению классификаторов на основе несбалансированных данных [5]: построение сбалансированной выборки на основе исходной (data sampling) и модификация алгоритмов обучения на несбалансированных данных. К первому подходу относятся удаление/дублирование случайных элементов различных классов для достижения сбалансированности данных между классами (random undersampling/oversampling), обучение классификаторов на динамически формируемых на итерациях обучения классификатора сбалансированных подмножествах исходной выборки (informed undersampling, предварительная кластеризация исходных данных с последующим выравниванием объема кластеров схожих элементов исходной выборки для устранения внутренней и межклассовой несбалансированности (cluster-based sampling method), синтез векторов входных признаков для обучения классификатора (искусственные вектора признаков формируются как произведения векторов признаков случайных близких по выбранной

метрике сходства в пространстве исходных данных образцов), кластеризация элементов каждого класса исходной выборки с выбранной метрикой близости с последующим удалением выбросов (sampling with data cleaning). Ко второму подходу относятся алгоритмы с модификацией матрицы стоимости ошибки классификации для различных классов/кластеров несбалансированной выборки (cost-sensitive learning) [5].

Обучение классификаторов на несбалансированных структурах данных ставит под угрозу производительность большинства известных алгоритмов машинного обучения, в частности широко востребованного в настоящее время алгоритма обучения по прецедентам – алгоритма машины опорных векторов (SVM, Support Vector Machine) [6 – 10].

В данной работе рассматривается подход повышения качества SVM-классификатора при классификации несбалансированных данных на основе SMOTE-алгоритма (Synthetic Minority Oversampling Technique) [3].

SMOTE-алгоритм является одним из специальных подходов оверсэмплинга (oversampling) [1].

Данный алгоритм создаёт искусственные объекты миноритарного класса на основе сходства в пространстве характеристик между уже существующими объектами с использованием алгоритма  $k$  ближайших соседей (kNN-алгоритм) [10]. При этом генерируется некоторое число искусственных объектов, которые «похожи» на имеющиеся в миноритарном классе, но при этом не дублируют их.

Основные принципы реализации алгоритма SMOTE могут быть описаны следующим образом.

Пусть  $Q$  – совокупность всех объектов обучающей выборки, а  $Q_{\min}$  – совокупность объектов миноритарного класса, являющаяся подмножеством  $Q$  ( $Q_{\min} \in Q$ ).

Пусть  $n$  – размерность пространства характеристик;  $m$  – количество объектов в миноритарном классе  $Q_{\min}$ . Тогда координаты каждого  $i$ -го объекта миноритарного класса в  $n$ -мерном пространстве характеристик могут быть описаны вектором  $\vec{x}_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$  ( $i = \overline{1, m}$ ).

Шаг 1. Для каждого  $i$ -го объекта миноритарного класса находится соседние объекты из миноритарного класса с применением алгоритма  $k$ -ближайших соседей (KNN). Пусть  $k$  ближайших соседей – это  $k$  объектов из  $Q_{\min}$ , евклидово расстояние которых между каждым из них и каждым  $i$ -м объектом с вектором характеристик  $\vec{x}_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$  ( $i = \overline{1, m}$ ), принадлежащим  $Q_{\min}$ , является минимальным в  $n$ -размерном пространстве характеристик, где  $k$  – число соседей.

Шаг 2. При создании синтетического набора объектов  $Z$  сначала случайным образом выбирается один из  $k$  объектов-соседей  $i$ -го объекта миноритарного класса –  $K$ -й объект с вектором характеристик  $\vec{x}_K = (x_K^1, x_K^2, \dots, x_K^n)$ , ( $K \in [1, k]$ ), а затем находится разность между значениями компонент векторов  $\vec{x}_i$  и  $\vec{x}_K$ :  $\vec{d} = \vec{x}_i - \vec{x}_K$ . Полученный таким образом вектор  $\vec{d}$  складывается с вектором  $\vec{x}_i$   $i$ -го объекта миноритарного класса:  $\vec{z} = \vec{x}_i + \vec{d} * rand$ , где  $rand$  – случайное число из интервала от  $[0, 1]$ . Сгенерированный в итоге объект, если представить его как точку и перенести всю обучающую выборку на плоскость, будет принадлежать отрезку, концами которого служат точка с координатами, определяемыми вектором  $\vec{x}_i$ , и точка с координатами, определяемыми одним из  $k$  ближайших соседей первой точки, выбранными случайно.

В настоящей работе предлагается использовать следующий подход к применению SMOTE-алгоритма для улучшения качества SVM-классификации (рис.1). При этом подбор параметров SVM-классификатора осуществлен с помощью алгоритма роя частиц (PSO, Particle Swarm Optimization) [8 – 10].

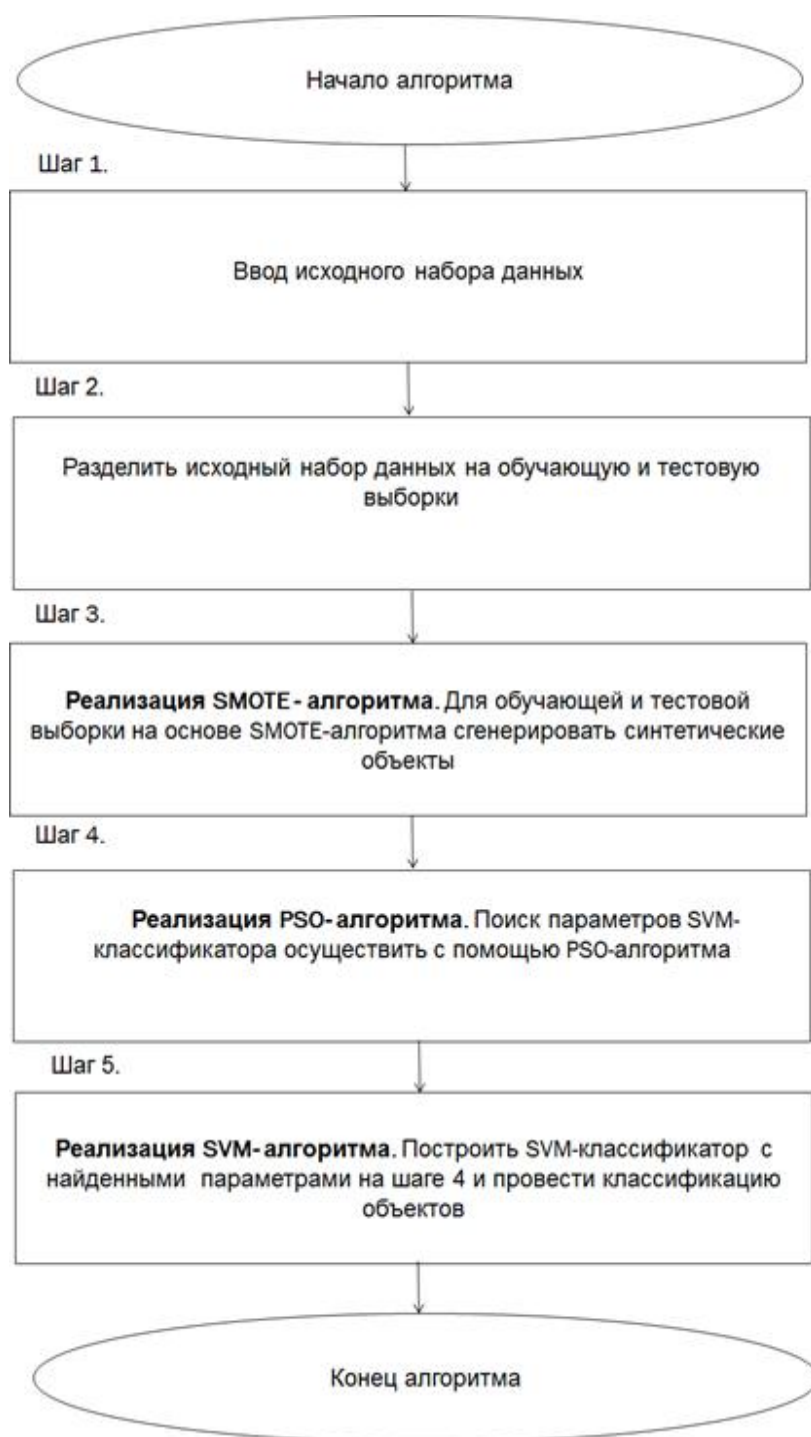


Рис.1. Схема алгоритма

В ходе исследования были использованы реальные данные медицинской диагностики, заимствованные из репозитория машинного обучения UCI [2]: набор данных Heart (270 объектов, 13 признаков, 120 количество объектов миноритарного класса, 150 количество объектов мажоритарного класса), Hepatitis (155 объектов, 19 признаков, 32 количество объектов миноритарного класса, 123 количество объектов мажоритарного класса), Pima diabetes (768 объектов, 8 признаков, 268 количество объектов миноритарного класса, 500 количество объектов мажоритарного класса).

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что повышение качества SVM-классификатора SMOTE-алгоритмом зависит от уровня несбалансированности данных.

Так для выборки Heart улучшение общей точности классификации (Accuracy) составило 3,71%, для выборки Hepatitis 13,99%, для выборки Pima diabetes 7,12%

В дальнейшем предполагается исследовать подход, позволяющий минимизировать временные затраты на поиск оптимальных значений параметров SMOTE-алгоритма.

### Библиографический список

1. Ключева И.А. Исследование аспектов применимости стратегий сэмплинга для решения проблемы несбалансированности структур данных // Новые информационные технологии в научных исследованиях. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2016. – С. 198-199.
2. X. Gu, T. Ni, H. Wang, New Fuzzy Support Vector Machine for the Class Imbalance Problem in Medical Datasets Classification. The Scientific World Journal, 2014, pp. 102-113.
3. Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O., Kegelmeyer W.P. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique, 2002, pp. 321-357.
4. Japkowicz N., Stephen S. The Class Imbalance Problem: A Systematic Study // Intelligent Data Analysis, 2002, Vol. 6, No. 5, pp. 429-449.
5. Иванова А. А., Кузнецова Е. Г. Прикладные особенности обучения нейросетевых классификаторов в промышленных задачах распознавания образов // Сборник трудов 39-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН «Информационные технологии и системы 2015», 2015. – С. 1169-1184.
6. Lean Yu Shouyang Wang, Kin Keung Lai, Ligang Zhou. Bio-Inspired Credit Risk Analysis. // Computational Intelligence with Support Vector Machines, 2008, pp. 49-50.
7. L. Demidova, I. Klyueva, A. Pylkin. The Study of Characteristics of the Hybrid Particle Swarm Algorithm in Solution of the Global Optimization Problem. 5-th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO'2016), 2016, pp. 322-325.
8. Демидова Л.А., Ключева И.А. Разработка и исследование гибридных версий алгоритма роя частиц на основе алгоритмов поиска по сетке // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета, 2016. № 3 (57). – С. 107-117.
9. Ключева И.А. Гибридный алгоритм настройки параметров интеллектуального классификатора данных. [Электронный ресурс] // Материалы XXVIII - Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-28». URL: <http://mmtt28.sstu.ru> (дата обращения: 14.02.2017).
10. L. Demidova, I. Klyueva, Y. Sokolova, N. Stepanov, N. Tyart. Intellectual Approaches to Improvement Of the Classification Decisions Quality On the Base Of the SVM Classifier. Procedia Computer Science, 2017, Vol. 103, pp. 222-230.

УДК 51-77; ГРНТИ 50.49.37

## АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ХОЛДИНГА

Д.В. Тонких, А.Д. Данилов

Центрально-чернозёмный государственный инженерный университет,

Россия, Воронеж, [daitona@list.ru](mailto:daitona@list.ru), [danilov-ad@ya.ru](mailto:danilov-ad@ya.ru)

*Аннотация.* В данной работе последовательно описана модульная структура программного комплекса поддержки принятия решений, предназначенного для использования на крупных промышленных предприятиях при интеллектуализации управления грузоперевозками

*Ключевые слова:* система поддержки принятия решений, программный комплекс, транспортная система

## ARCHITECTURE OF SOFTWARE DECISION-MAKING COMPLEX FOR TRANSPORT PROCESS MANAGEMENT

D.V. Tonkikh, A.D. Danilov

Central Chernozem State Engineering University,

Russia, Voronezh, [daitona@list.ru](mailto:daitona@list.ru), [danilov-ad@ya.ru](mailto:danilov-ad@ya.ru)

*Abstract.* This paper describes module structure of software decision support system, designed for use at large industrial holdings in intellectualization process of transportation problems.

*Keywords:* decision support system, software solution, transportation system

При интеллектуализации управления транспортным комплексом предприятия представляется разумным формализовать общую систему поддержки принятия решений в качестве отдельных взаимозависимых модулей и установить связи между ними [5].

Структурно программный комплекс принятия решений при управлении транспортными процессами промышленного холдинга можно разбить на отдельные модули, которые, взаимодействуя друг с другом, выполняют собственные задачи. Проблема управления транспортной структурой предприятия во всей её сложности решается благодаря согласованной работе всех узлов программного решения [1]. Структура программного комплекса поддержки принятия решений на транспорте предприятия представлена на рисунке 1.

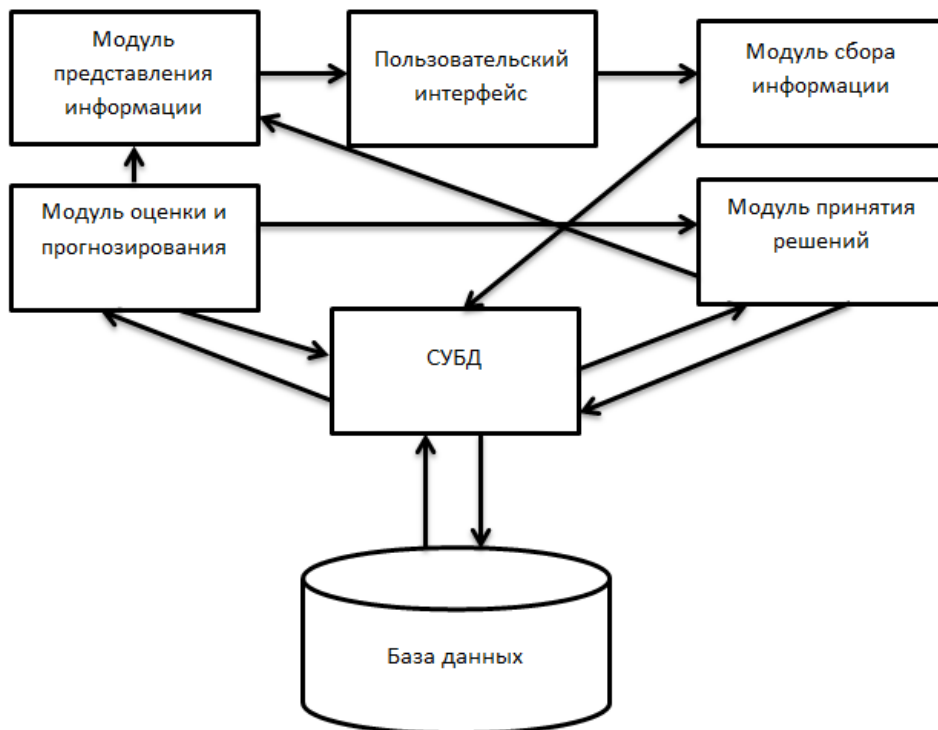


Рис. 1. Общая структура программного комплекса

В составе комплекса управления транспортом предприятия можно выделить следующие модули:

- 1) Модуль сбора информации
- 2) Модуль оценки и прогнозирования
- 3) Модуль принятия решений
- 4) Модуль представления информации
- 5) СУБД

Каждый из указанных модулей выполняет собственную функцию. Остановимся на каждом из них подробнее:

1) Работа оператора комплекса начинается с ввода данных по предприятию в соответствующие формы модуля сбора данных. Для анализа необходимы такие параметры как положение объектов транспортной сети, их текущую загрузку, техническое состояние и пункты назначения. В случае, если на предприятии уже развёрнута система мониторинга транспорта на базе GPS/ГЛОНАСС, часть необходимых данных может быть импортирована из этой системы.

Кроме того, оператору потребуется информация о наполнении грузовых отсеков транспортных средств. Эти данные потребуется собирать вручную от операторов логистических узлов, либо искать иные разработки, позволяющие отслеживать данные показатели.

Также необходимо вводить данные о потребностях обслуживаемых производственных предприятий, магазинов и прочих объектов сети в доставке грузов. Данные такого рода можно собирать, к примеру, из внедрённой системы ERP. Для технологического транспорта в данном случае потребность будет не в перевозке груза, а в собственно наличии данной транспортной единицы на том или ином предприятии.

Наконец, оператору необходимо собрать с предприятий холдинга данные о потребностях в материалах, сырье, транспорте и также ввести их в систему.

Ввод данных возможен как вручную через специальные формы для заполнения, так и через импорт файлов формата \*.csv заданной структуры.

Предполагается, что оператор программного комплекса должен ежедневно вводить свежие исходные данные, необходимые для составления плана.

Собранные данные будут внесены в базу данных, после чего поиск оптимального плана следует запустить заново. Поиск нового оптимального решения займёт меньше времени, чем изначальный поиск решения, т.к. предыдущее решение будет использовано в качестве отправной точки, сократив, таким образом, время поиска.

Интерфейс рабочего места оператора программного комплекса был представлен и описан в статье [2].

2) На основе вновь собранных и уже имеющихся в базе исторических данных модуль оценки и прогнозирования проводит анализ текущего состояния транспортной системы, потребностей в собственном и наёмном транспорте. На основе этой оценки делаются выводы о достаточности/недостаточности собственного автопарка и потребности в дополнительном привлечении сторонних перевозчиков. На данном этапе алгоритм на основе имеющихся данных строит прогноз по потребностям предприятия в перевозках и исходя из этого прогноза делаются выводы о потребности найма дополнительных ТС.

Вопрос наличия фактора сезонности в грузоперевозках на примере продукции мебельных предприятий был рассмотрен в статье [3]. Наличие сезонности было подтверждено и, таким образом, подведена основа под необходимость периодического привлечения найма сторонних перевозчиков.

Для транспорта, уже находящегося в системе, проводится оценка возможности догрузки с учётом возможности изменения маршрута. На данном этапе вычислений производится решение модифицированной задачи о ранце, в которой в начальных условиях задано текущее заполнение того или иного грузовика.

С учётом обновлённого прогноза по автопарку и обновлённых маршрутов движущихся транспортных средств начинается составление полного план-графика для всех объектов транспортной сети. На данном этапе в действие приводится основной контур генетического алгоритма, который на основе предыдущего полного решения с дополнением вновь полученных частичных решений и используя их в качестве отправной точки поиска, находит оптимальное решение, отвечающее всем заданным условиям.

3) Модуль принятия решений реализован на основе генетического алгоритма. Выбор параметров и методов, используемых в рамках данного алгоритма был описан в статье [4].

В качестве задачи для решения генетическим алгоритмом было поставлено совместное решение модифицированной задачи об упаковке (о ранце) и модифицированной задачи коммивояжера.

Особенность решаемой задачи об упаковке заключается в том, что в имеющихся у нас условиях заполняться будет не пустое пространство, а уже предзаполненное произвольным образом.

Также в задаче коммивояжера принята модификация в форме добавления коэффициентов приоритетности, сделав, таким образом, доставку некоторых грузов более ценной для конечного результата целевой функции.

Целевая функция – минимизировать стоимость перевозок, используя собственный транспорт, при этом осуществив перевозку таким образом, чтобы удовлетворить все потребности элементов транспортной сети, по необходимости используя наёмный транспорт.

Выглядеть она будет следующим образом:

$$Q = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n M_i * T_j * P_k,$$



где  $M$  – масса/объем перевезенных грузов,  
 $T$  – расстояние, пройденное грузом (сюда также включается время простоя)  
 $P$  – приоритет груза

На целевую функцию накладываются следующие ограничения:

- условие непереполнения грузовиков

$$\sum_{i=1}^n M_i x_i \leq W_i$$

- условие полного удовлетворения потребностей.

$$\sum W_n = \sum W_{\text{пот}}$$

Модуль принятия решений получает результирующий ген наиболее удачной особи из последнего цикла генетического алгоритма и проводит его декомпозицию на группы показателей, сохраняя их в соответствующие таблицы базы данных. Из групп показателей вычлениются отдельные показатели, из которых формируется новое полное решение. Из полного решения и результатов прошлых решений вычисляются некоторые статистические показатели для дальнейшего их представления пользователю в качестве справочной информации.

4) Модуль представления информации предназначен для вывода полученных значений в табличной и графической форме (графики, диаграммы) и выгрузки файлов с данными. Выгрузка файлов доступна в двух форматах – \*.xls и \*.csv.

Общий вид выводимой информации также был представлен в публикации [2].

5) В качестве системы управления базой данных для разработанного приложения выбрана MySQL. База данных является реляционной, то есть представляет собой множество взаимосвязанных таблиц. Все записи таблицы базы данных имеют одинаковую структуру – они состоят из полей, в которых содержатся атрибуты объекта (например, расстояния между опорными пунктами транспортной сети или количественный состав транспортных средств). Система управления базой данных используется для возможности работы со сведениями, хранящимися в БД.

Информационная сложность данной системы обуславливается необходимостью учёта большого объёма данных, обработка которых с целью решения практической задачи оптимизации транспортных потоков без помощи новейшей вычислительной техники и современного математического аппарата практически невыполнима [6]. В этих условиях число возможных решений, как правило, весьма велико и перебрать их для того, чтобы выбрать наиболее оптимальное, человеку не представляется возможным.

### Библиографический список

1. Данилов А.Д., Тонких Д.В. Синтез многофазной ациклической модели системы товародвижения промышленного холдинга [Текст] / Д.В. Тонких, А.Д. Данилов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2014. - Т. 10. - №5. - С. 20-24.
2. Тонких Д.В., Данилов А.Д. Организация информационного обеспечения подсистемы сбыта промышленного холдинга [Текст] / Д.В. Тонких, А.Д. Данилов // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т. 11. - №1. - С. 35-38.
3. Тонких Д.В., Данилов А.Д. Определение фактора сезонности продаж мебели [Текст] / Д.В. Тонких, А.Д. Данилов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - Т. 3. - №5-4 (16-4). - С. 210-214.
4. Тонких Д.В., Данилов А.Д. Применение адаптивного генетического алгоритма в транспортных процессах [Текст] / Д.В. Тонких, А.Д. Данилов // В сборнике: РОЛЬ И МЕСТО ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ сборник статей Международной научно-практической конференции. 2016. С. 46-48.
5. Данилов А.Д., Тонких Д.В. Иерархическая структура организации транспортной логистики крупного промышленного холдинга [Текст] / А.Д. Данилов, Д.В. Тонких // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2013. - Т. 9. - №6-2. - С. 50-54.

6. Данилов А.Д., Петровский В.С. Оптимальное управление материальным обеспечением промышленных предприятий [Текст] / А.Д. Данилов, В.С. Петровский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2003. № S4. С. 96-102.

УДК 519.688; ГРНТИ 27.41.41

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТОЧЕК ПРОДАЖ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ АССОРТИМЕНТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

**В.А. Конев, М.С. Конева**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, vl.konev11@gmail.com*

*Аннотация.* Рассмотрены проблемы анализа данных гетерогенного типа. Предложен алгоритм кластеризации гетерогенных данных.

*Ключевые слова:* анализ данных, кластеризация.

## **DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR SALES POINTS CLUSTERING IN SOLVING THE PROBLEM OF ASSORTMENT PLANNING**

**V.A. Konev, M.S. Koneva**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, vl.konev11@gmail.com*

*Abstract.* Discusses the problems of data analysis of the heterogeneous type. Offered the algorithm for clustering heterogeneous data.

*Keywords:* data analysis, clusterization.

### **1. Введение**

На сегодняшний день проблема анализа и разделения точек продаж, с целью выделения сходных классов, с целью принятия маркетинговой стратегии по ассортиментному наполнению того или иного класса, входит в число часто встречаемых при формировании среднесрочной маркетинговой стратегии торговых сетей. Со временем, при изменении модельного ряда, в связи с устареванием старых, появлением новых ассортиментных позиций у торговой сети в целом, а также открытием новых точек продаж, появляется необходимость переопределить, или переопределить маркетинговую стратегию по ассортиментному наполнению, для чего все точки продаж разделяются на сходные группы. Эта задача относится к задачам кластеризации.

Специфика решаемой задачи заключается в выборе наиболее значимых показателей, характеризующих функционирование торговой точки. Задача является актуальной, для ее решения существуют различные алгоритмы, такие как Forward Selection, Backward Elimination и др. Однако, на практике данные часто описаны совокупностью гетерогенных признаков, принадлежащих различным типам, как числовым, так и категориальным, поэтому применение этих алгоритмов становится невозможным, в связи с невозможностью предположения регрессионной зависимости между значениями совокупности гетерогенных признаков. Это требует проведения дополнительных исследований. Также, данный факт делает невозможным применение большей части алгоритмов кластеризации, так как они способны работать либо с числовыми, либо только с категориальными признаками.

При разработке алгоритмов кластеризации точек продаж рассматривались различные математические и прикладные задачи, в том числе с использованием теории нечетких множеств и алгоритмов роевого интеллекта [1]. Ряд авторов посвятили свои работы именно проблеме кластеризации гетерогенных данных. Однако предложенные ими подходы к изменению существующих алгоритмов внесли значительные изменения в математический аппарат, что влекло за собой увеличение сложности, а в месте с тем, времени работы алгоритмов. Описанные выше проблемы делают разработку алгоритмов кластеризации гетерогенных данных актуальной задачей. Было принято решение о разработке собственных алгоритмов. На первом этапе происходит кластеризация данных тремя алгоритмами. Итоговое решение решено находить с помощью кластерного ансамбля уточнения результатов кластеризации.

## 2. Алгоритм кластеризации на основе модификации алгоритма CLOPE

При проведении анализа среди существующих алгоритмов кластеризации была выделена структура алгоритма CLOPE, как эффективная структура, имеющая наибольший потенциал. Данный алгоритм был предложен группой китайских ученых (Yiling Yang, Xudong Guan, Jinyuan You) в 2002 году [2]. При его написании особое внимание авторы уделили высокой масштабируемости и простоте реализации. Наравне с достоинствами алгоритм имеет и недостатки – алгоритм работает только с категориальными данными, а также не учитывает веса характеристик и веса значений характеристик. Для устранения указанных недостатков предлагается следующая модификация алгоритма. На основании результатов тестирования алгоритма кластеризации гетерогенных данных окончательный вариант блока формул вычисления глобального критерия оценки был сведен к виду:

$$Profit(C, r, r') = \sum_{i=1}^k Q(C_i) \left( \sum_{j0=1}^{m0} T0_{j0} \frac{N_{j0}}{v_{ij0}} + \sum_{j1=1}^{m1} T1_{j1} \Psi_{j1} \left( \sum_{u=1}^{\omega_j} |\chi_{j1ui} - X_{j1u}| \right)^r \right); \quad (1)$$

$$N_{j0} = \frac{MAX_{j0} - MIN_{j0}}{Q(C) - 1}; \quad (2)$$

$$v_{ij0} = \frac{r' N_{j0} + Max_{ij0} - Min_{ij0}}{\sqrt[r]{Q(C_i)}}; \quad (3)$$

$$\Psi_{j1} = 1 + \frac{min(\omega) - \omega_{j1}}{\sum_{j1=1}^{m1} \omega_{j1}}; \quad (4)$$

$$X_{j1u} = \frac{Z_{j1u}}{Q(C)}; \quad (5)$$

$$\chi_{j1ui} = \frac{\zeta_{j1ui}}{Q(C_i)}, \quad (6)$$

где  $j0$ ,  $j1$  – индексы количественных и качественных характеристик соответственно;  $T$  – весовые коэффициенты по всем характеристикам, условно в итоговом блоке формул  $T$  разделены на коэффициенты количественных  $T0$  и качественных  $T1$  характеристик,  $min(\omega)$  – минимальное количество допустимых значений по качественным характеристикам.

## 3. Алгоритм кластеризации на основе модификации алгоритма k-medoid

Алгоритм k-средних – наиболее часто применимый на практике алгоритм кластеризации, в силу простоты реализации и быстроты работы. Однако результат его работы подвержен шумам в исходных данных. Одна из модификаций, - k-medoids, - позволяет избежать данной проблемы. Но и этот алгоритм способен работать только с числовыми данными.

Наиболее распространенной реализацией k-medoid кластеризации является Partitioning Around Medoids (PAM), который может быть описан следующим образом:

1. Инициализация случайным образом  $k$  точек  $n$  данных в качестве медоидов.
2. Шаг назначения. Связывание каждую точку данных с ближайшим медоидом.
3. Обновление: Для каждого медоида  $m$  и каждая точка данных  $o$ , связанных с  $m$ , меняется  $m$  и  $o$ , и вычисляется общую стоимость конфигурации (то есть, в среднем несходство  $o$  всех точек данных, связанных с  $m$ ). Выбирается медоид  $o$  с самой низкой стоимостью конфигурации.

Шаги 2 и 3 чередующиеся, пока не будет никаких изменений в назначениях.

Предлагается использовать в качестве меры близости модифицированную меру согласования разнотипных шкал, как сумму произведений соответствующих типам данных метрик [1]. Данная модификация позволит учитывать веса каждого признака.

$$d_{res}(i, j) = \sqrt{(v_1 d_{num}(i, j))^2 + (v_2 d_{nom}(i, j))^2 + (v_3 d_{ord}(i, j))^2} \quad (7)$$

где  $v_1, v_2, v_3$  - веса соответствующих признаков.

Дополнительно, предлагается использовать значение количества кластеров  $k$ , полученное во время работы модифицированного алгоритма CLOPE. Алгоритм рекомендуется запускать несколько раз в цикле, начиная от  $k$ , до получения наилучшего значения критерия Калински, проверяемого при каждом итерации:

$$F = \frac{trace(B)/(k-1)}{trace(W)/(n-k)} \quad (8)$$

где  $trace$  - след матрицы,  $B, W$  - матрица межкластерных и внутрикластерных сумм квадратов расстояний,  $k$  - число кластеров.

Максимальное значение критерия указывает на наиболее вероятное число кластеров.

#### 4. Разработка алгоритма кластеризации торговых точек на основе модификации алгоритма роевого интеллекта

Алгоритм роя частиц (particle swarm optimizers, PSO) [3] является алгоритмом оптимизации, созданным по образу и подобию социального поведения стаи птиц. PSO представляет собой популяционный поисковый процесс, в котором индивиды, представляющиеся как частицы, группируются в рой. Каждая частица в рое представляет собой потенциальное решение оптимизационной проблемы. Ниже приведено описание модифицированного алгоритма.

Основные понятия:  $N_c$  – количество кластеров, полученное в результате работы предыдущего алгоритма,  $x_i$  - частица,  $x_i = (m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{iN_c})$ ,  $m_{ij}$  соответствует вектору центра  $j$ -го кластера  $i$ -й частицы,  $x_i$  - текущая позиция частицы,  $v_i$  - текущая скорость частицы,  $y_i$  - лучшая персональная позиция частицы

Лучшая персональная позиция частицы – это позиция  $i$ , в которой значение фитнес-функции для частицы было максимальным на текущий момент времени. Если обозначить  $f$  целевую функцию, то личный рекорд частицы в момент времени  $t$  вычисляется как:

$$y_j(t+1) = \begin{cases} y_i(t), & \text{если } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1), & \text{если } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases} \quad (9)$$

Выполнение алгоритма состоит из следующих шагов:

1. На предварительном этапе случайным образом инициализируется  $N_c$  средних кластеров для каждой частицы. При этом для номинальной шкалы вычисляется мода, а для шкалы рангов – медиана.

2. В цикле от  $t=1$  до  $t_{\max}$

2.1. Для каждой частицы

2.1.1. Для каждого анализируемого объекта  $z_p$

- вычислить  $d(z_p, m_{ij})$  для всех кластеров  $c_{ij}$ ;
- произвести присвоение объекта  $z_p$  кластеру  $c_{ij}$  на основании сравнения:

$$d(z_p, m_{ij}) = \min_{c_i = 1, \dots, N_{ci}} \{d(z_p, m_{ic})\} \quad (10)$$

Расстояние вычисляется согласно формулам, предложенным в [3].

2.1.2. Вычислить фитнес-функцию:

$$f(x_i, Z) = w_1 \bar{d}_{\max}(Z, x_i) + w_2 d_{\min}(x_i) \quad (11)$$

где  $Z$  – матрица принадлежности объектов кластерам частицы  $i$ . Каждый элемент  $Z_{ij}$   $p$  показывает, принадлежит ли объект  $z_p$  кластеру  $c_{ij}$  частицы  $i$ .

Константы  $w_1$  и  $w_2$  являются предопределенными. Максимальное среднее евклидово расстояние от частиц до ассоциированных с ними кластеров вычисляется по формуле:

$$\bar{d}_{\max}(Z, x_i) = \max_{j=1, \dots, N_c} \left\{ \sum_{\forall z_p \in c_{ij}} d(z_p, m_{ij}) / |c_{ij}| \right\} \quad (12)$$

где  $|c_{ij}|$  – мощность множества  $c_{ij}$ .

Минимальное евклидово расстояние между всеми парами кластеров:

$$d_{\min}(x_i) = \max_{j_1, j_2, j_1 \neq j_2} \{d(m_{1j_1}, m_{1j_2})\} \quad (13)$$

Приведенная фитнес-функция обеспечивает выполнение одновременно двух оптимизационных подзадач:

- сведение к минимуму внутренних расстояний между частицами кластеров и их средними;

- сведение к максимуму внешних расстояний между любыми парами кластеров.

Приоритеты между этими целями могут быть определены на этапе инициализации весовых коэффициентов.

2.2. Найти лучше глобальное решение

$$\hat{y}(t) = \min \{f(x_1(t), Z), f(x_2(t), Z), \dots, f(x_s(t), Z)\} \quad (14)$$

2.3. Пересчитать значения центров кластеров с учетом выражений:

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1 r_1 (y_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (\hat{y}(t) - x_i(t)) \quad (15)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (16)$$

2.4. Конец цикла.

## 5. Нахождение итогового кластерного решения

Для получения более устойчивых кластерных решений после этапа кластеризации применяется ансамблевый подход, основанный на комплексном использовании набора алгоритмов. Для получения итогового решения находится согласованная матрица подобия объектов.

Пусть используются  $L$  методов кластеризации, формирующих некоторые группировки. Для каждой  $i$ -й группировки рассчитывается бинарная матрица подобия  $s_i = \{s_i(j, m)\}$  размерностью  $N \times N$ , где  $j, m = 1, 2, \dots, N$ , а  $i, m = 1, 2, \dots, L$ ,  $N$  – число объектов в исходной выборке,  $L$  – число применяемых методов в ансамбле. Причем,  $s_i(j, m) = 1$ , если объекты  $O_j$  и  $O_m$  принадлежат одному кластеру, иначе  $s_i(j, m) = 0$ . Затем формируется согласованная матрица подобия  $s = \{s(j, m)\}$ :

$$s(j, m) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L s_i(j, m) \quad (17)$$

Полученная матрица используется в качестве исходных данных для иерархического метода полной связи, результат применения которого является итоговым кластерным решением

## Выводы

Подводя итог, можно сделать вывод, что предложенный алгоритм позволяет эффективно решить поставленные проблемы. Подход, объединяющий три алгоритма кластеризации для получения итогового решения, на практике демонстрирует свою эффективность [4] и

может быть рекомендован к применению для кластеризации гетерогенных данных и для решения задачи ассортиментного планирования точек продаж.

### **Библиографический список**

1. Конев В.А. Реализация алгоритма отбора значимых характеристик при анализе гетерогенных данных большой размерности с использованием теории нечетких множеств // В сборнике: Международная научная школа "Парадигма". Лето-2015 сборник научных статей в 8 томах. 2015. С. 99-104.
2. Konev V. A. An adequate tools selection for data analysis of heterogeneous type // Modern informatization problems in economics and safety Proceedings of the XX-th International Open Science Conference. Yelm, USA, 2015. P. 98-102.
3. Конев В.А. Применение алгоритма роевого интеллекта для решения задачи кластеризации больших объемов гетерогенных данных // Сборник материалов XX Юбилейной всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов "Новые информационные технологии в научных исследованиях", Рязанский государственный радиотехнический университет. 2015. 344 с.
4. Конев В.А., Конева М.С. Ансамбль алгоритмов кластерного анализа и его применение для решения задачи кластеризации больших объемов гетерогенных данных // Новые информационные технологии в научных исследованиях материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 262.

УДК 004.05

## **ГЕНЕРАЦИЯ ТЕСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

**А. Литвиненко, К. Сметанин**

*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, kirillakarocksod@hotmail.com*

*Аннотация.* В данной работе представлен способ и алгоритм генерации тестовых данных для автоматизации тестирования сложных программных продуктов.

*Ключевые слова:* тестирование, генетический алгоритм, алгоритмическое обеспечение

## **GENERATING TEST DATA FOR TESTING SOFTWARE BASED ON GENETIC ALGORITHMS**

**A. Litvinenko, K. Smetanin**

*Voronezh State Technical University,  
Russia, Voronezh, kirillakarocksod@hotmail.com*

*Abstract.* This paper presents a method and algorithm for generating test data for automation testing complex software products.

*Keywords:* Software testing, Genetic algorithm, Algorithmic support

Программное обеспечение сегодня охватывает колоссальное число сфер жизнедеятельности общества. Сложно представить себе, в какой отрасли оно не имеет применения. Функция программного обеспечения – решение ряда задач, требующих автоматизации, от самых простых, порой элементарных, до сложнейших, имеющих применение в отраслях с повышенной опасностью. Стоит отметить, что в случае создания игрового или развлекательного программного обеспечения не так важно отсутствие сбоев и некорректной работы, как, например, при создании программного продукта, выполняющего анализ данных, полученных от систем контроля работы ядерного реактора. Возникновение сбоев в первом случае может привести, разве что, к разочарованию игрока, но во втором случае последствия могут быть крайне плачевными для целого государства.

Существует тенденция устойчивого роста количества и функционала программных продуктов, использующихся в широком спектре сфер деятельности современного общества. Из данного постулата вытекает формирование проблемы тестирования алгоритмов, лежащих в основании программных продуктов. Стоит отметить, что сбой или некорректная работа алгоритмов ряда программных продуктов может оказаться весьма критическими, и в отношении них в обязательном порядке необходимо проводить процедуру тестирования.

Тестирование программных продуктов производится с целью выявления отказов, некорректной работы и сбора статистики о поведении программного продукта в тех или иных условиях, при тех или иных входных данных.

Необходимо отметить, что тестирование может производиться в ручном режиме, когда тестирующий вручную задает данные и таким образом пошагово исследует поведение алгоритма, на основе которого построено программное обеспечение, также процесс тестирования может быть автоматизирован. Целесообразность применения процедуры автоматизации тестирования возникает, если процесс тестирования программного продукта не может в полной мере быть произведен оператором в ручном режиме. Например, в случае быстрой перестройки значений входящих данных или их многообразия. Стоит отметить, что для моделирования поведения ряда систем, обслуживаемых прикладным программным обеспечением, подобные требования к тестовым данным возникают.

Одним из вариантов, на основании которых происходит генерация тестовых данных, является генетический алгоритм.

Генетический алгоритм (ГА) — это алгоритм поиска решения, в данном случае, набора данных, используемый для решения задачи моделирования. Данный алгоритм основан на методах случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе, отсюда и исходит его название. Он относится к классу эволюционных эвристических вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции. Отличительной особенностью генетического алгоритма является постановка акцента на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе.

Генетический алгоритм может использоваться в решении сложных задач тестирования. Рассмотрим ГА, который адаптирован для решения проблемы интеграционного тестирования для сервисно-ориентированной архитектуры ПО. Предположим, каждый метод сервиса протестирован в отдельности и является «черным ящиком», передача управления между различными методами происходит с помощью послышки сообщений (например XML)). Программа представляет собой совокупность классов, которые взаимодействуют посредством послышки сообщений. Иллюстрацией таких взаимодействий отражено диаграммой последовательностей, которая служит спецификацией для разрабатываемого ПО. В каждый момент времени класс находится в одном из ключевых состояний, каждое из которых представляет совокупностью значений полей и наличием одного из полученных сообщений. Нужно учесть, что разные экземпляры одного и того же класса могут иметь непохожее поведение (посылать отличные сообщения и, таким образом, иметь разные состояния, которые, вероятно пересекаются). Это обусловлено определением для класса  $n$ -ого кол-ва конструкторов, и в каждом из них начальные значения полей могут варьироваться. Предположим, что дан класс  $A$ , и  $S(A)$  — множество из его состояний,  $F(A)$  — операции класса  $A$ , тогда множество возможных последовательностей передачи, являются доступных классу  $A$ . Для каждой пары состояний  $p_1$  и  $p_2$  последовательности операций  $F(A)$ , они обуславливают переход  $p_1$  в  $p_2$  и, могут выявить ошибку в классе  $A$ . Последовательность  $\varphi \in F(A)$  есть функция отображения  $S(A)$  на  $S(A)$ . Для разных начальных состояний эта последовательность имеет шанс выявить дефекты в коде. Исходя из всего этого, генерация тестового набора при тестировании класса должен быть составлен из набора выбранных последовательностей переходов состояний и набора состояний класса. При тестировании интерации сервиса, состоящего из нескольких методов и классов, критерием тестирования будет являться покрытие всех дуг. Другими словами, для последовательностей  $A$  и тестируемой программы  $B$  тестовый набор  $V$  будет удовлетворять критериям покрытия всех дуг, если каждая дуга в  $A$ , являющаяся передачей сообщения, пройдет хотя бы один раз при выполнении  $B$  на данном тестовом наборе  $V$ . Требуется, чтобы все сообщения в диаграмме были посланы, как минимум, единственны раз. Пусть начальные тестовые данные являются особями в рамках данного алгоритма. Хромосо-

мой особи будет последовательность конструктора, вызовов методов и посылки сообщений, и номера состояния, в какое класс перейдет в результате выполнения последовательности.

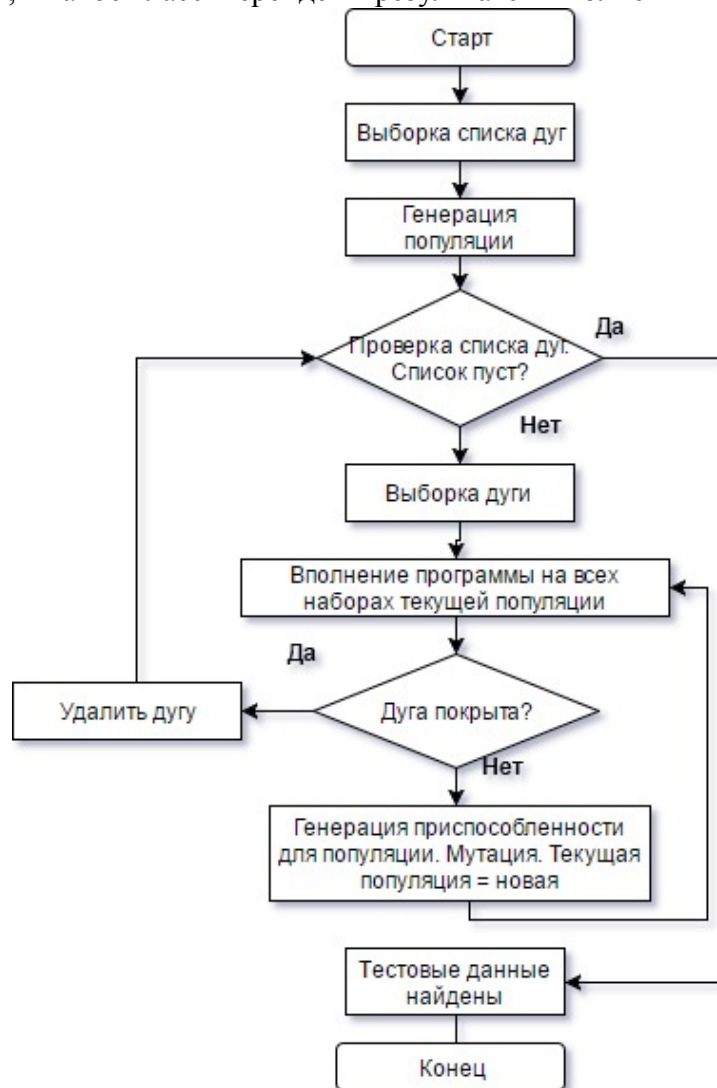


Рис. 1. Общая схема предлагаемого генетического алгоритма для интеграционного тестирования

Первым действием алгоритма является выявление списка всех дуг, которые необходимо покрыть тестовыми данными (наборами). Ф-ей приспособленности будет отношение кол-ва дуг, приведших к дуге на текущем тестовом наборе, к общему кол-ву дуг, которые дают возможность привести к этой дуге. Мутации проводятся следующим способом: изменяются входные значения; изменяются конструкторы; добавляются в последовательность вызова методов; удаление вызова метода. Скрещивание выбранных особей происходит оператором кроссовера, который выбирает случайным образом точку раздела, потомки генерируются путем обмена отброшенными частями. Критерий остановки - установленное число поколений или схождение популяции.

Класс на C++ для отработки ГА может иметь структуру, приведенную ниже. Чтобы сгенерировать данные вызывается ф-я Solve(), которая возвращает аллель, содержащую решение. Вызывается GetGen (), чтобы получить ген с правильными значениями.

```

struct gene {  int all[4];
  int fit;
  float llhood;
  operator==(gen gn) {

```



```

for (int i=0) { if (gn.all [i] != alls[i]) return false;}

return true; } };

class CGenethal {
public:
    CGenethal (int)

    Solve()

    gen Getgen (int i) { return population[i];}

    protected:

int result;

    gen population[MAXPOP];

int Fit (gen)

void Generatellhoods();

    float MultInv();

    int CreateFit ();

    void CreateNewPop ();

    int GetInd (float val);

    gen Breed(int p1, int p2); };

int CGenethal::Solve()
{ int fit = -1;

    srand((unsigned)time(NULL));

    for(int i=0 {

        for (int j=0;

            population[i].alleles[j] = rand() % (result + 1); }

        if (fit = CreateFits()) {

            return fit; }

        int iterations = 0 while (fitn != 0 || iterations < 50) Generate
        llhood s();

            CreateNewPop ();

            if (fit = CreateFit ()) {

                return fit;}

                iterations++; }

    return -1;}}

```

Таким образом, была описана универсальная концепция генерации данных для тестирования прикладного программного обеспечения, основанная на генетическом алгоритме. Стоит отметить универсальность данного подхода, так как цены решения могут варьироваться в зависимости от области его применения. Предложенный алгоритм генерации тестовых данных может значительно упростить интеграционное тестирование программ, сложных структуры данных (переменные-объекты со множеством вложений).

### Библиографический список

1. С.Гудман, С.Хидетниemi, «Введение в разработку и анализ алгоритмов», М. «Мир», 1981;
2. А. В. Ахо, Д. Э. Хопкрофт, Д. Д. Ульман, «Структуры данных и алгоритмы», М.,СПб.,Киев: «Вильямс», 2001;
3. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. «Алгоритмы: построение и анализ, 3-е издание», М. «Вильямс», 2013;
4. Дональд Кнут. «Искусство программирования, том 1. Основные алгоритмы», М.«Вильямс», 2006.

## **ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАБИНЕТОМ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ПОЛИКЛИНИКИ**

**В.А. Миносян, В.В. Коваленко**

*Сочинский государственный университет,*

*Россия, Сочи, [vladiklawl@gmail.com](mailto:vladiklawl@gmail.com)*

*Аннотация.* В данной работе представлена разработка проекта подсистемы для кабинета диспансеризации поликлиники на основе бизнес-процессов, входящих в первый этап диспансеризации пациентов.

*Ключевые слова:* информационная система, бизнес-процесс, диспансеризация, поликлиника

## **SUBSYSTEM OF MANAGEMENT THE CLINICAL EXAMINATION OFFICE POLICLINIC**

**V.A. Minosyan, V.V. Kovalenko**

*Sochi State University,*

*Russia, Sochi, [vladiklawl@gmail.com](mailto:vladiklawl@gmail.com)*

*Abstract.* The project of a subsystem for an office of clinical examination polyclinic on the basis of the business processes entering the first stage of medical examination for patients is presented/

*Keywords:* information system, business-process, clinical examination, polyclinic

Общепризнанным фактом считается, что наиболее эффективным методом профилактики и раннего выявления патологий, вызывающих преждевременную смертность среди трудящихся, является диспансеризация. Однако проблемы, преследовавшие врачей, проводящих диспансеризацию полвека назад, в какой-то степени остаются актуальными и для современных специалистов, несмотря на взятый правительством РФ курс на автоматизацию учреждений здравоохранения.

В частности, остро встаёт проблема хранения, поиска и манипуляции с данными, которые к ней относятся, во многом по причине представления подавляющей части документов в бумажном виде. Следствием этого является труднодоступность к результатам предыдущих диспансеризаций, что в свою очередь порождает другие, не менее важные проблемы – отсутствие учёта регулярно проходящих диспансеризацию пациентов и, следовательно, невозможность выдачи пациентам паспорта здоровья.

Разработанная подсистема решает все эти проблемы за счёт надёжного хранения результатов диспансеризаций в базе данных, частичной автоматизации информационно-аналитической деятельности специалистов, ответственных за проведение диспансеризации, избавления их от рутинного труда по составлению отчётов, выборке маршрутных карт, выписки направлений на обследования, а также выдачи паспорта здоровья, что определяет актуальность работы.

Оригинальность работы определяется тем, что функциональная модель разрабатывалась на основе стратегической карты, стратегической целью в которой определена как увеличение раннего выявления хронических и онкологических заболеваний [1]. Стратегическая цель, в свою очередь, достигается за счёт достижения таких подцелей, как:

- увеличение количества привлечённых к диспансеризации пациентов;
- повышение качества обслуживания пациентов;
- повышение процента регулярно проходящих диспансеризацию пациентов;
- увеличение количества высококвалифицированных сотрудников.

Этот подход заставляет всех исполнителей бизнес-процессов, каждого на своём рабочем месте, добиваться достижения этой цели. При этом все показатели, определяющие степень достижения заданных целей, и привязанные к соответствующим бизнес-процессам,

обеспечивают не только их мониторинг, но и управление их динамикой на основе цикла Деминга.

Отправной точкой в прохождении диспансеризации является регистрация пациента, которую условно можно разделить на несколько этапов, сопровождающихся определённым комплектом документов. Бизнес-процесс «Регистрация пациента» обеспечивает формирование маршрутной карты в соответствии с возрастной категорией пациента и датой последнего прохождения диспансеризации.

Выборка необходимой пациенту маршрутной карты зачастую затруднена из-за труднодоступности к хранящимся в бумажном виде результатам предыдущих диспансеризаций. Процесс поиска необходимых документов занимает много времени и не всегда является успешным, из-за чего, в свою очередь, и возникает данная проблема. Тем не менее, дата последнего прохождения диспансеризации крайне необходима для выборки маршрутной карты, так как нужный перечень исследований (осмотров) формируется и на её основании.

С учетом этих проблем бизнес-процесс «Регистрация пациента» претерпел ряд изменений, например, автоматизирован процесс выборки маршрутной карты пациента в соответствии с возрастом и соответственно её формирование (рис. 1).

Автоматическое формирование маршрутной карты существенно уменьшает нагрузку на медсестру и увеличивает эффективность её работы, качество выполнения которой будет контролироваться по значениям показателей «Количество жалоб» и «Процент привлечённых пациентов», закреплённых за данным бизнес-процессом.

Второй бизнес-процесс «Формирование эпикриза» (рис. 2) полностью устраняет проблемы с оформлением эпикриза пациента после прохождения диспансеризации. За данным бизнес-процессом закреплены следующие показатели:

- процент пациентов, получивших паспорт здоровья;
- процент раннего выявления хронических и онкологических заболеваний;

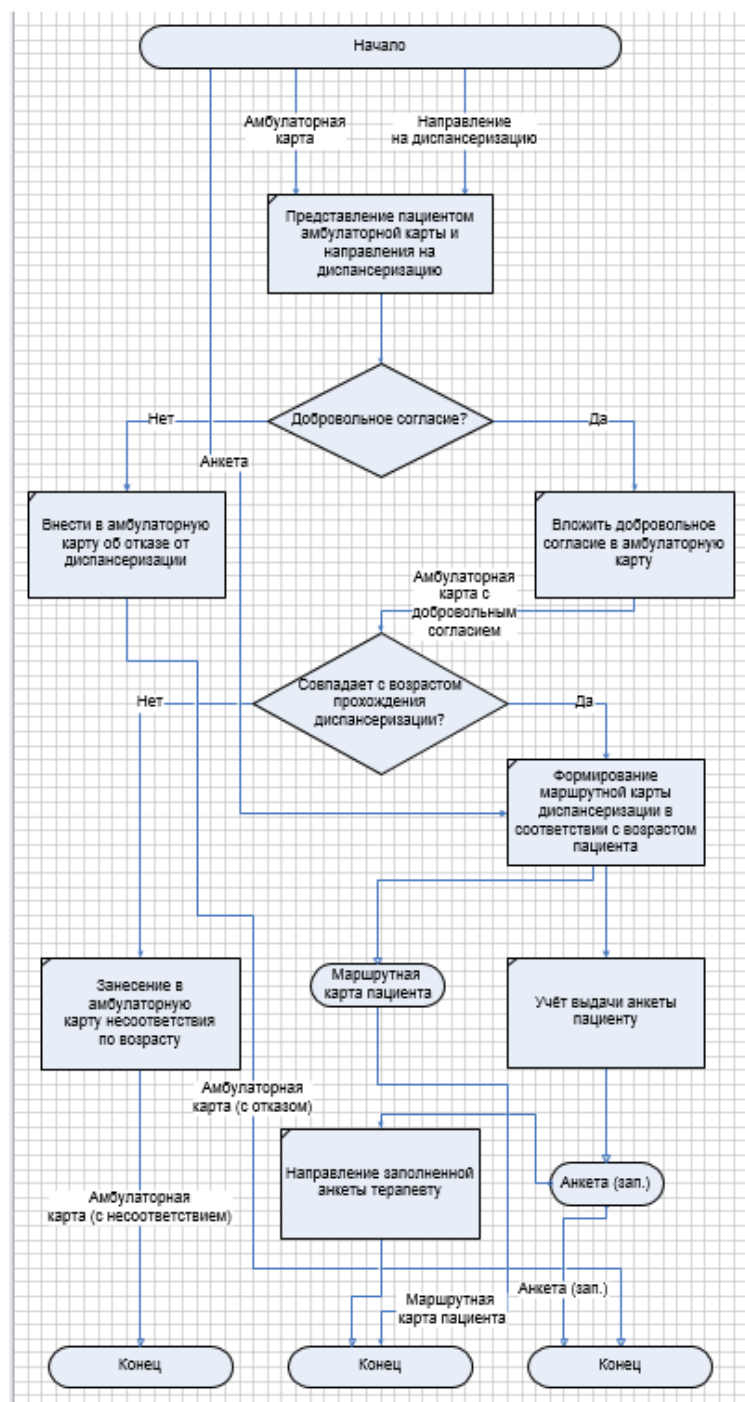


Рис.1. Бизнес-процесс «Регистрация пациента»

- процент пациентов, регулярно проходящих диспансеризацию.

Преимущества автоматизации данного процесса:

- автоматическая генерация паспорта здоровья, выдача которого закреплена законодательством;
- ведение учёта регулярно проходящих диспансеризацию пациентов;
- избавление персонала от рутинного труда по составлению отчётов.

В целом подсистема управления кабинетом диспансеризации выполняет следующие функции:

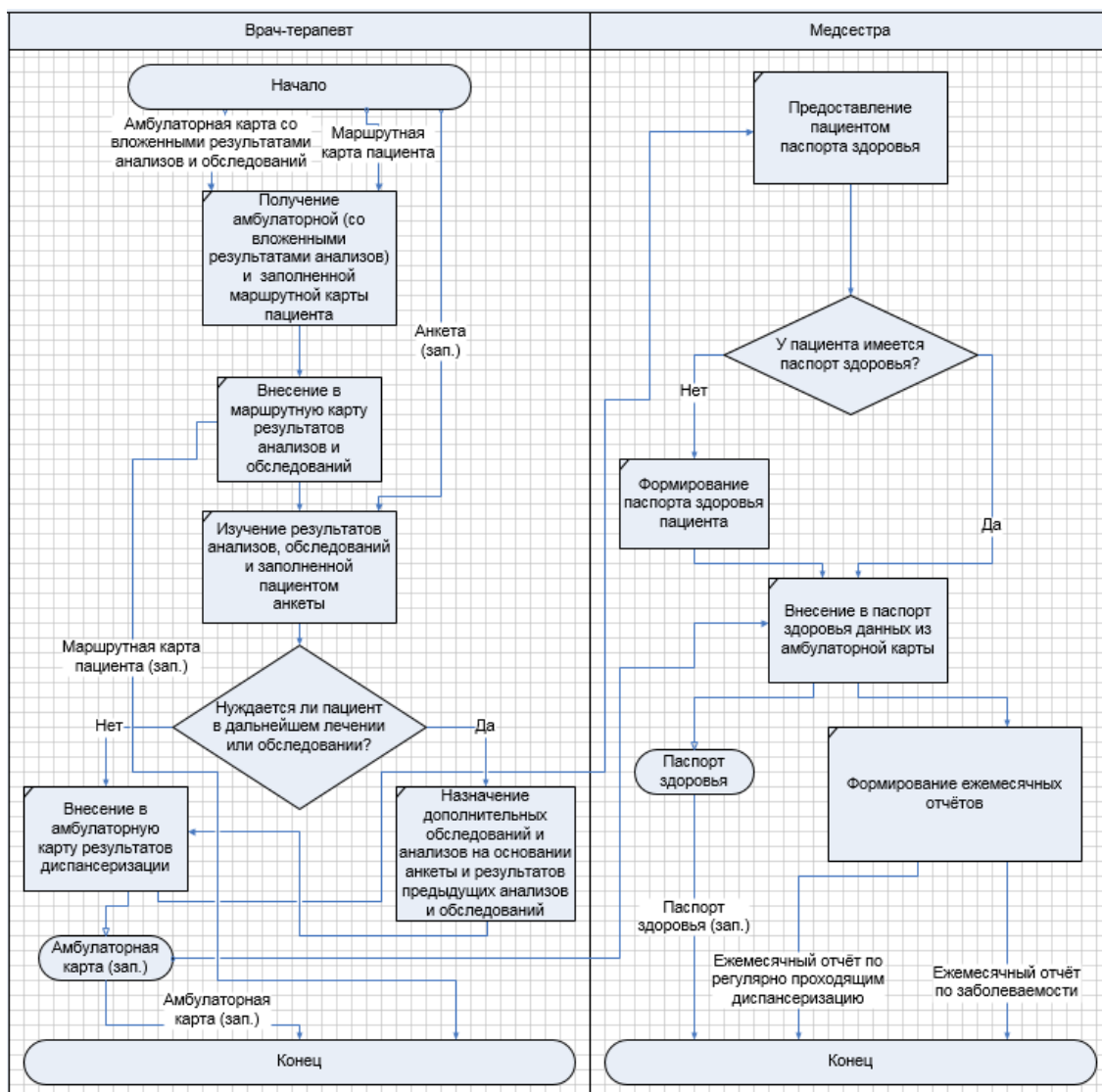


Рис. 2. Бизнес-процесс «Формирование эпикриза»

Решающим преимуществом данного проекта является возможность автоматической генерации регламентных документов при любых изменениях бизнес-процессов, что позволяет обеспечить постоянную работу сотрудников по актуальным должностным инструкциям. Кроме этого, в автоматическом режиме выполняются следующие операции:

- выборка маршрутной карты в соответствии с возрастом пациента;
- определение перечня осмотров, входящих в обследование;
- формирование и выдача направлений на обследование;
- формирование и выдача паспорта здоровья;
- формирование ежемесячных отчётов о пациентах, регулярно проходящих диспансеризацию.

В результате внедрение подсистемы обеспечивает следующий эффект:

- общее время обслуживания пациентов сокращается на 25%;
- время на формирование необходимой документации сокращается на 35-40%;
- уровень производительности труда повышается на 10-15%;
- повышение числа регулярно проходящих диспансеризацию пациентов на 5-7%.

#### **Библиографический список**

1. Коваленко В.В. Проектирование информационной системы. М.- «Феникс», 2014 г.

## СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.932.2; ГРНТИ 20.53.19

### НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Д.М. Евграфов, А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, d.evgrafov@live.ru, sk62@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе приведены примеры применения космических снимков в целях анализа и контроля за возникновением угроз загрязнения окружающей среды. Приводятся достоинства использования нейросетевых технологий для обработки космических снимков.

*Ключевые слова:* нейросетевые технологии, экологический мониторинг, космические снимки, сверточные нейронные сети

### NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES APPLICATION IN SPACE PICTURES PROCESSING FOR ECOLOGICAL MONITORING TASKS

D.M. Evgrafov, A.N. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russian Federation, Ryazan, d.evgrafov@live.ru, sk62@mail.ru*

*Abstract.* This paper deals with application of space pictures for purposes of analysis and control of environmental pollution problem. Advantages of neural network technologies application in space image processing are given.

*Keywords:* neural network technologies, ecological monitoring, space pictures, convolutional neural networks

Одной из основных задач экологического мониторинга является обнаружение загрязнения окружающей среды. При своевременном и эффективном определении источников загрязнений, как природных, так и антропогенных, появляется возможность оперативного планирования природоохранных мероприятий. Особо ценен источник объективной информации о состоянии окружающей среды на территориях с высоким уровнем урбанизации и по близости с экологически опасными предприятиями [1]. Одним из таких источников могут являться космические снимки сверхвысокого разрешения (менее 1 м) со спутников Worldview, Cartosat, Eros и т.д., которые позволяют проводить измерения объемов свалок бытовых и промышленных отходов независимо от их удаленности и дорожной доступности, обнаруживать выбросы в атмосферу, а в районах нефтяной добычи космические снимки позволяют получать информацию об утечках и побочных загрязнениях [2].



Рис. 1. Шлейф дыма от лесных пожаров на космическом снимке



Шлейфы пыли или дыма, образующиеся при загрязнении воздуха газовыми веществами, на космических снимках представляются в виде лентообразных или клиновидных участков, которые выглядят более светлыми на любом интервале диапазона длин волн 0,5-1,1 мкм [3]. Пример шлейфа дыма на космическом снимке представлен на рисунке 1.

Наиболее характерными особенностями мусорных свалок являются их неправильная форма и предрасположенность к образованию вдоль автомобильных и железных дорог, а также, берегов и склонов естественных и искусственных водоемов. Как видно на рисунке 2, содержащиеся на свалках материалы с высокими коэффициентами отражения приводят к образованию на космических снимках участков, окрашенных, как правило, в белый, светло-желтый, либо светло-голубые цвета [4].



Рис. 2. Свалка мусора на космическом снимке

В случае возникновения утечек в районах нефтяной добычи, подобно примеру на рисунке 3, образуются светло-серые нефтяные пятна, которые сильно контрастируют с окружающей местностью, что облегчает их дешифрирование.

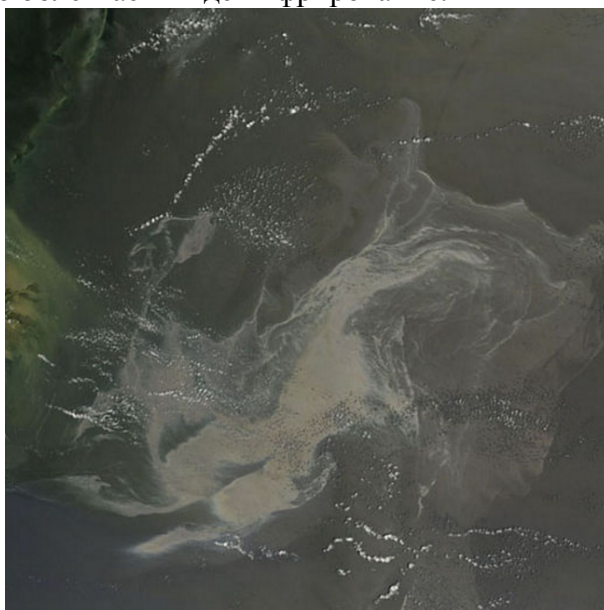


Рис. 3. Нефтяное загрязнение на космическом снимке

При необходимости мониторинга известных опасных объектов (нефтехимические заводы, склады химической продукции, трубопроводы и т.д.) целесообразно проводить сравнение космических снимков одного и того же участка территории, полученных в разные

промежутки времени [5]. Исходя из того, что такое сравнение должно быть регулярным, информационная система, производящая анализ изображений должна располагать набором разных снимков одного и того же объекта, который может быть использован в качестве входных данных для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) [6].

ИНС представляет собой совокупность связанных друг с другом так называемых искусственных нейронов (или простых процессоров). Каждый искусственный нейрон такой сети работает только с генерируемыми им самим сигналами и сигналами, которые он время от времени получает от соседних нейронов. При организации таких по отдельности простых процессоров в систему с управляемым взаимодействием можно получать практическое решение для предельно сложных задач [7]. Основным свойством ИНС является способность к обучению [8]. Эта способность является одним из определяющих преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами [9]. При успешном обучении нейросеть сумеет выдать правильный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, что позволит обнаруживать новые фрагменты (потенциально свидетельствующие о появлении загрязнения) на изображениях при мониторинге опасных объектов.

Однако, применение классических нейронных сетей в задачах, связанных с распознаванием изображений, в большинстве случаев затрудняется большим объемом значений, подаваемых на вход нейронной сети, большим количеством нейронов и, соответственно, огромными вычислительными затратами на обучение ИНС. В задаче распознавания изображений наиболее рационально использовать архитектуру сверточной нейронной сети, получившей свое название из-за наличия операции свертки, при которой каждый фрагмент входного изображения поэлементно умножается на матрицу свертки, полученный результат суммируется и заносится в аналогичную позицию результирующего изображения. Работу сверточной ИНС можно интерпретировать, как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям, и далее к еще более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает сама необходимую иерархию абстрактных признаков, представленных на рисунке 4, фильтруя маловажные детали и выделяя существенное, экономя при этом вычислительные ресурсы [10].

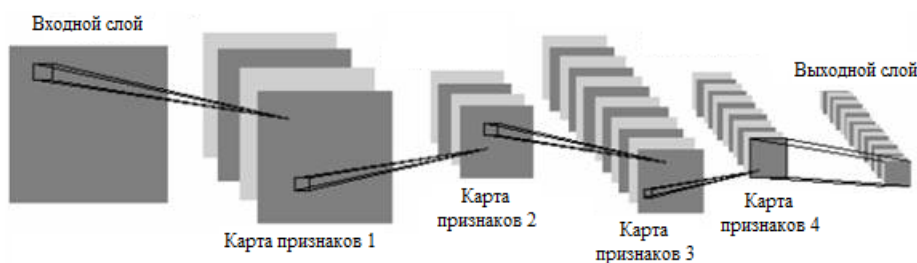


Рис. 4. Архитектура сверточной нейронной сети

К достоинствам сверточной нейронной сети также относится удобное распараллеливание вычислений, а, следовательно, возможность реализации алгоритмов работы и обучения сети на графических процессорах с использованием технологий NVIDIA CUDA, cuDNN и OpenCL. В качестве задач для дальнейших исследований можно выделить проведение экспериментального построения сверточной нейронной сети для обработки космических снимков с использованием указанных выше технологий, оценку скорости вычислений и вероятности ложных срабатываний в процессе работы полученной системы.

### Библиографический список

1. Колесников А.Н., Юрьев П.Н. Разработка алгоритма аэрокосмического ГИС-мониторинга экосистем // Актуальные проблемы математики и информатики: теория, методика, практика сборник научных трудов. Елец, 2015. С. 149-153.
2. Gunter's Space Page [Электронный ресурс], URL: <http://space.skyrocket.de> (дата обращения 12.02.17).
3. Виртуальная лаборатория дистанционного обучения спутниковой гидрометеорологии [Электронный ресурс], URL: <http://mgmk.meteorf.ru> (дата обращения 08.02.17).



3. Как ГИС помогают бороться со свалками [Электронный ресурс], URL: <http://cnews.ru> (дата обращения 08.02.17).
4. Колесников А.Н. Технология поддержки принятия управленческих решений на основе оперативного мониторинга пожарной обстановки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 9. С. 157-163.
5. Колесников А.Н., Костров Б.В., Ручкин В.Н. Нейронные сети мониторинга чрезвычайных ситуаций по данным ДЗЗ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 5. С. 220-225.
6. Колесников А.Н., Николаев Н.А. Исследование алгоритма нейросетевого прогнозирования нелинейных временных рядов // Современное состояние и перспективы развития технических наук: сборник статей международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Сукиасян А.А. 2015. С. 59-62.
7. Kolesnikov A., Kostrov B., Ruchkina E., Ruchkin V. Anthropogenic situation express monitoring on the base of the fuzzy neural networks // Proceedings - 2014 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2014 - Including ECyPS 2014 3. 2014. С. 166-168.
8. Колесников В.Н., Семенов В.А., Политический анализ и прогнозирование. Учебное пособие., Спб: Питер, 2014. С. 412.
9. Петров С.П., Сверточная нейронная сеть для распознавания символов номерного знака автомобиля // Электронный журнал: Государственный университет "Дубна". №3, 2013.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## **КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.**

**А.Е. Колпаков, А.Н. Колесников**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, г.Рязань, [arkolp@yandex.ru](mailto:arkolp@yandex.ru), [sk62@mail.ru](mailto:sk62@mail.ru)*

*Аннотация.* В данной работе приводятся примеры использования киберфизических систем в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций, описывается их общая структура, приводятся примеры реализованных систем. Поднимаются проблемы, стоящие перед разработчиками.

*Ключевые слова:* кибер-физическая система, интеллектуальные датчики, мониторинг чрезвычайных ситуаций.

## **CYBER PHYSICAL SYSTEMS IN A TASK OF EMERGENCY MONITORING**

**A. Kolpakov, A. Kolesenkov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, [arkolp@yandex.ru](mailto:arkolp@yandex.ru), [sk62@mail.ru](mailto:sk62@mail.ru)*

*Abstract.* This paper deals with application examples of cyber physical systems for emergency situations monitoring. General structure and success story of cyber physical systems implementation is given. Developing problems are arised.

*Keywords:* cyber physical systems, smart sensors, emergency monitoring.

Развитие кибер-физических систем и индустриального Интернета, идеи Интернета вещей создают сегодня возможность взглянуть на аппаратные и программные средства для взаимодействия через силу вычислений. Кибер-физические системы – самая актуальная и перспективная технология активного совершенствования планеты в части точного цифрового мониторинга и адекватного управления ресурсами для улучшения качества жизни каждого человека и изменения экономики и экологии планеты в лучшую сторону [1]. Кибер-физические системы охватывают вычислительные (аппаратные и программные) и интегрируемые физические компоненты, которые тесно взаимодействуют между собой, реагируя на изменения, происходящие в окружающем мире. В кибер-физических системах вычислительные элементы взаимодействуют с распределенными в физической среде интеллектуальными датчиками и иными источниками информации, которые обеспечивают мониторинг кибер-физических показателей, и с исполнительными элементами, которые вносят изменения в кибер-физическую среду [2].



Рис. 1. Архитектура киберфизической системы

Примером кибер-физических систем, которые сегодня, по сути, встречаются повсеместно, могут служить промышленные автономные роботы, беспилотные автомобили и самолеты, системы умных городов и автоматизированного производства, мобильные системы и различные системы мониторинга и анализа происходящих событий [3, 4].

Довольно актуальной сферой использования кибер-физических систем является мониторинг чрезвычайных ситуаций, таких как наводнения, землетрясения, торнадо, лесные пожары и техногенные катастрофы [5].

Например, сегодня продвинутые погодные радары и системы предупреждения, поддержки и принятия решений позволяют с высокой точностью определить направление движения и степень опасности торнадо и, следовательно, предупредить о нем за несколько часов. В развитых странах, испытывающих частые землетрясения (Тайвань, Япония, прибрежные части США и Мексики) плотно развернуты широкополосные массивы сейсмометров и мощных сенсоров сейсмической активности, связанные воедино сетями передачи данных с вычислительными системами, на которых работают продвинутые инструменты, определяющие местоположение землетрясения.

Системы, построенные на сетях таких датчиков, обеспечивают раннее обнаружение землетрясений, оповещая о них спустя несколько секунд после их начала, давая получателям этих сообщений некоторое время до того момента, как придут ударные волны и начнется движение земли. Разработка, распространение и внедрение кибер-физических устройств и систем, сервисов и приложений, спроектированных для получения преимущества перед существующими стандартными системами оповещения и предупреждения позволяют улучшить готовность к будущим катастрофам [6].

Если нет необходимости конкретизировать сферу использования системы, то вводится понятие «умного защитника от катастроф» (intelligent Guards against Disasters, или iGaD). Конкретно, каждый iGaD может распознавать и обрабатывать соответствующие стандарту сообщения о предупреждении катастроф и отвечать на них определенными действиями. Для передачи сообщений предлагается использовать последнюю версию протокола CAP (Common Alert Protocol) [7]. CAP представляет собой данные в XML формате для передачи публичных сообщений о чрезвычайных ситуациях. Он позволяет одновременно передавать сообщения на множество систем предупреждения и множество приложений. Например, при получении сообщения о землетрясении определенной силы, система может отключить подачу бытового газа в здании для предотвращения утечки и пожара, открыть все двери для обеспечения оперативной эвакуации людей и заблокировать лифты.

Помимо систем, разворачиваемых в городах, существуют технические решения по борьбе с лесными пожарами. Ежегодно лесные пожары уничтожают тысячи гектаров леса в короткие промежутки времени, так как ветер может двигать огонь порой в самых непредсказуемых направлениях. Системы по обнаружению и предотвращению лесных пожаров разрабатываются во многих странах мира [8]. Например, в Университете Калифорнии в Сан-Диего

представлен проект системы WIFIRE, которая обрабатывает данные с метеорологических станций и космических спутников для предсказания направления движения пожаров в реальном времени. Однако такие системы порой не внедряются повсеместно из-за сложности масштабирования [9].

В России также ведутся работы по разработке систем мониторинга чрезвычайных ситуаций, в частности – лесных пожаров [10, 11]. Участие в работах ведут как государственные структуры, такие как МЧС и различные университеты, так и частные организации. Результатом их работы становятся такие проекты, как "Карта пожаров" (<http://fires.ru>), "Лесохранитель" (<https://lesohranitel.ru>) и другие.

Немаловажный вклад в работы по мониторингу вносит американское космическое агентство NASA, с чьих спутников поступает открытая информация для анализа ряда показателей (визуальная информация и данные с различных сенсоров, работающих в широком диапазоне). Так, на спутниках AQUA и TERRA, являющихся частью комплексной программы NASA EOA (Earth Observing System), направленной на исследование Земли, основным инструментом является спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), имеющий 36 спектральных каналов с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем, среднем и дальнем ИК диапазонах, и позволяет производить регулярную съемку одной территории с пространственным разрешением до 250 м [12].

Проблемы, требующие решения в сфере мониторинга чрезвычайных ситуаций сегодня – обеспечение доступности кибер-физических систем, легкости их развертывания и масштабирования, улучшение алгоритмов обработки сигналов, поступающих с датчиков и источников информации, адаптивность к изменениям среды, а также наличие открытых стандартов для интерфейсов кибер-физических систем.

### **Библиографический список**

1. Хаханов В.И., Обризан В.И., Мищенко А.С., Филиппенко И.В. Киберфизические системы как технологии киберуправления (аналитический обзор) // Радиоэлектроника и информатика. № 1 (64) / 2014.
2. IBM developerWorks [Электронный ресурс], URL: <https://www.ibm.com/> (дата обращения 11.02.2017).
3. Ручкин В.Н., Костров Б.В., Колесенков А.Н., Фулин В.А., Дроздова В.В. Киберфизический мониторинг природной и техногенной обстановки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 9. С. 209-218.
4. Ручкин В.Н., Колесенков А.Н., Фулин В.А., Дроздова В.А. Анализ техногенной обстановки средствами киберфизических систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. № 57. С. 122-128.
5. Ручкин В.Н., Костров Б.В., Колесенков А.Н. Киберфизические технологии мониторинга чрезвычайных ситуаций // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 2. С. 252-260.
6. Justyna Zander, Pieter J. Mosterman, Taskin Padir, Yan Wan, Shengli Fu. Cyber-Physical Systems Can Make Emergency Response Smart // Procedia Engineering 107 (2015) 312 – 318
7. J. W. S. Liu, C. S. Shih and E. T. H. Chu. Cyber-Physical Elements of Disaster Prepared Smart Environment // Institute of Information Science, Academia Sinica Technical Report TR-IIS-11-001
8. Ruchkin V., Kolesenkov A., Kostrov B., Ruchkina E. Algorithms of fire seat detection, modeling their dynamics and observation of forest fires via communication technologies // Proceedings - 2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2015 - Including ECyPS 2015, BioEMIS 2015, BioICT 2015, MECO-Student Challenge 2015 4. 2015. С. 254-257.
9. Колесенков А.Н. Современные подходы к обработке данных при построении геоинформационных систем экологического мониторинга // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 9. С. 103-112.
10. Ruchkin V., Fulin V., Kostrov B., Taganov A., Kolesenkov A. Forest fire monitoring by means of cyber-physical system // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECyPS 2016, BIOENG.MED 2016, MECO: Student Challenge 2016 5. 2016. С. 30-34.
11. Колесенков А.Н. Технология поддержки принятия управленческих решений на основе оперативного мониторинга пожарной обстановки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 9. С. 157-163.
12. ДЦ ФГБУ "НИЦ "ПЛАНЕТА" [Электронный ресурс], URL: <http://www.dvrcpod.ru/index.php> (дата обращения 11.02.2017).

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ НАНОСПУТНИКОВ

М.Н. Байсеркенов

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,

Республика Казахстан, Алматы, m.n.baiserkenov@mail.ru

*Аннотация.* В данной работе описан наноспутник формата CubeSat. Представлен анализ запусков спутников по организациям и годам. Рассмотрены наиболее интересные проекты наноспутников, осуществленные различными университетами за 2016 год.

*Ключевые слова:* CubeSat, наноспутник, университет, ракета-носитель, формат 1U, тип 2U.

## RESEARCH OF SPACE TECHNOLOGY THROUGH EDUCATIONAL NANOSATELLITES

M. Baiserkenov

Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty, m.n.baiserkenov@mail.ru

*Abstract.* This paper deals with describe nanosatellite CubeSat format. The analysis of satellite launches on the organizations and years. It is considered the most interesting projects of nanosatellites, carried out by different universities for the year 2016.

*Keywords:* the CubeSat, nanosatellite, university, booster, format 1U, 2U type

С 2000-х годов класс малых космических аппаратов получили бурное развитие. Особое место среди них занимают наноспутники, имеющие массу от 1 до 10 кг. Первым наноспутником можно считать американский космический аппарат Explorer-1, который был выведен на орбиту 1 февраля 1958 года, который имел массу 8,3 кг.

На сегодняшний день многие частные компании и университеты со всех континентов активно занимаются разработкой и созданием научно-образовательных наноспутников. Широкое распространение такой вид аппаратов получил благодаря относительной невысокой стоимости и скорости сборки. Невысокая стоимость обусловлена недорогими электронными компонентами, бесплатной рабочей силой, а также вследствие малой массы, что приводит к относительно недорогой стоимости запуска. Благодаря, имеющимся готовым решениям в основных системах наноспутника, ускоряется процесс сборки.

Количество запущенных наноспутников в течение более 15 лет представлено на рисунке 1.

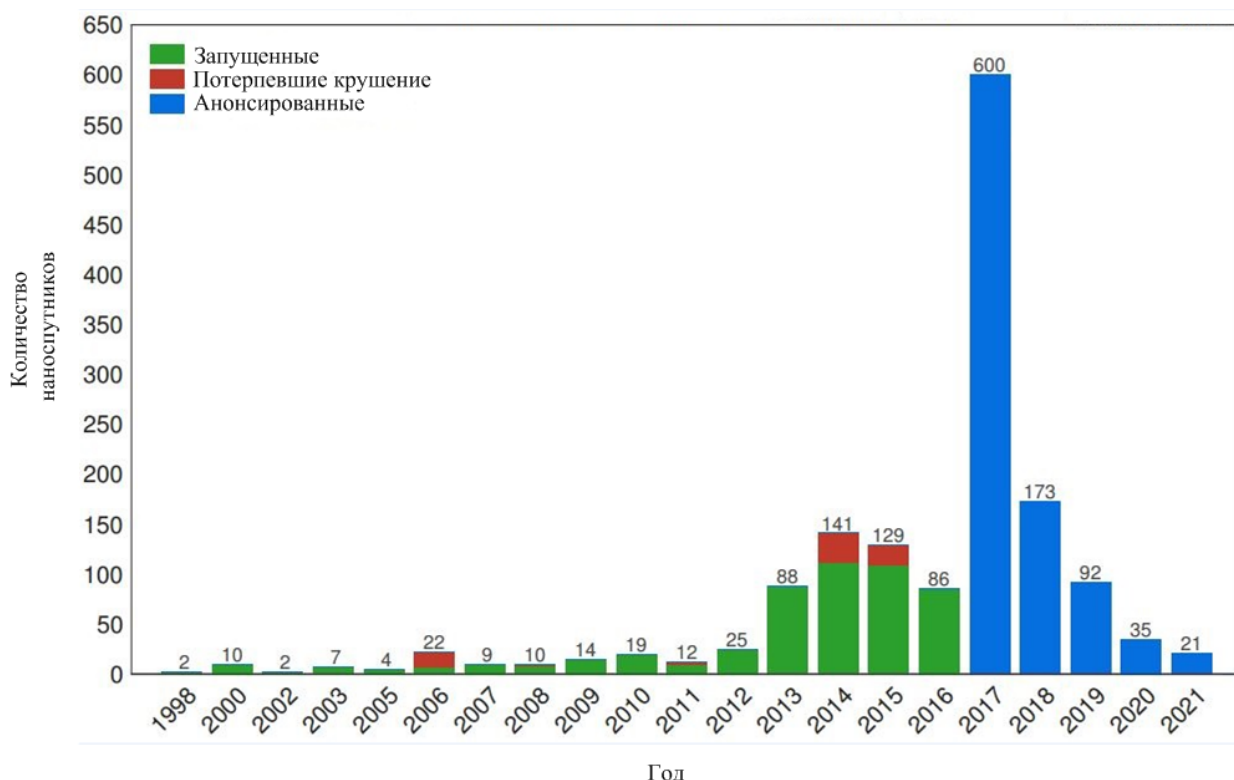


Рис. 1. Количество наноспутников по годам [1]

Основными областями применения наноспутников являются:

- образовательные задачи;
- тестирование и верификация алгоритмов и технологий управления, навигации и связи;
- тестирование новых материалов и электронных компонентов;
- мониторинг и исследование геофизических полей, дистанционное зондирование Земли;
- сбор и передача данных от удалённых терминалов;
- предоставление услуг по запросу;
- создание измерительных сетей для контроля изменений атмосферы, климата, прогнозирования землетрясений [2].

Наиболее популярным форматом образовательных наноспутников является стандарт сверхмалого космического аппарата CubeSat. В конце 1990-х годов профессор Дж. Пуч-Суари (Калифорнийский Политехнический Университет, США) и профессор Б. Твиггс (Стэнфордский Университет, США) для активного привлечения молодых специалистов к разработке космической техники создали наноспутник размером 10x10x10 см и массой 1,3 кг (1U). Появление CubeSat обусловлено в первую очередь миниатюризацией электронных вычислительных компонентов, а также усовершенствованием их энергопотребления.

Наноспутник типа CubeSat представлен на рисунке 2.

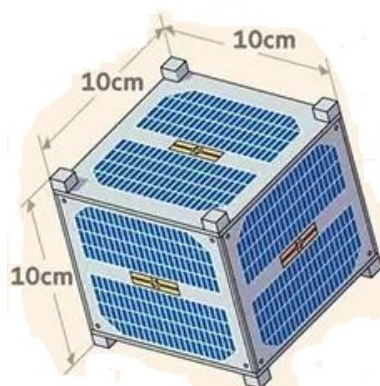


Рис. 2. Наноспутник формата CubeSat (1U)[3]

Кубические наноспутники обычно используют шасси-каркас спецификации CubeSat и покупные стандартные комплектующие - COTS-электронику и прочие узлы. Разработанный тип наноспутников позволяет объединять несколько стандартных кубов, например, наноспутники 2U или 3U, размерами 10x10x20 см и 10x10x30 см соответственно, которые представлены ниже на рисунке 3.

Во многом благодаря появлению наноспутников формата CubeSat стало возможным разработка, проектирование и запуск образовательных наноспутников университетами. Студенты в течение всего срока обучения принимают участие на всех этапах разработки – от проектирования до обработки полезных данных.

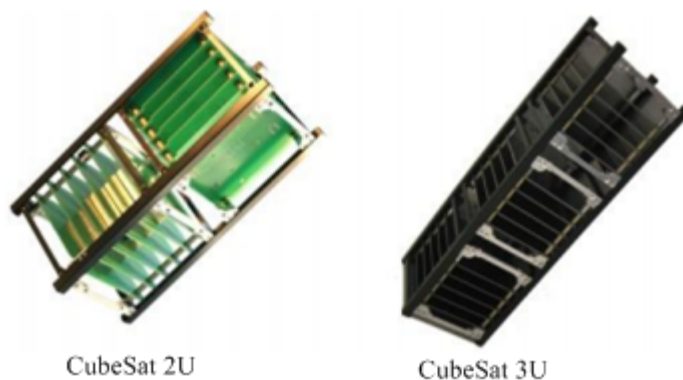


Рис. 3. Наноспутники формата CubeSat [4]

Количество наноспутников, запущенных различными организациями представлено ниже на рисунке4.

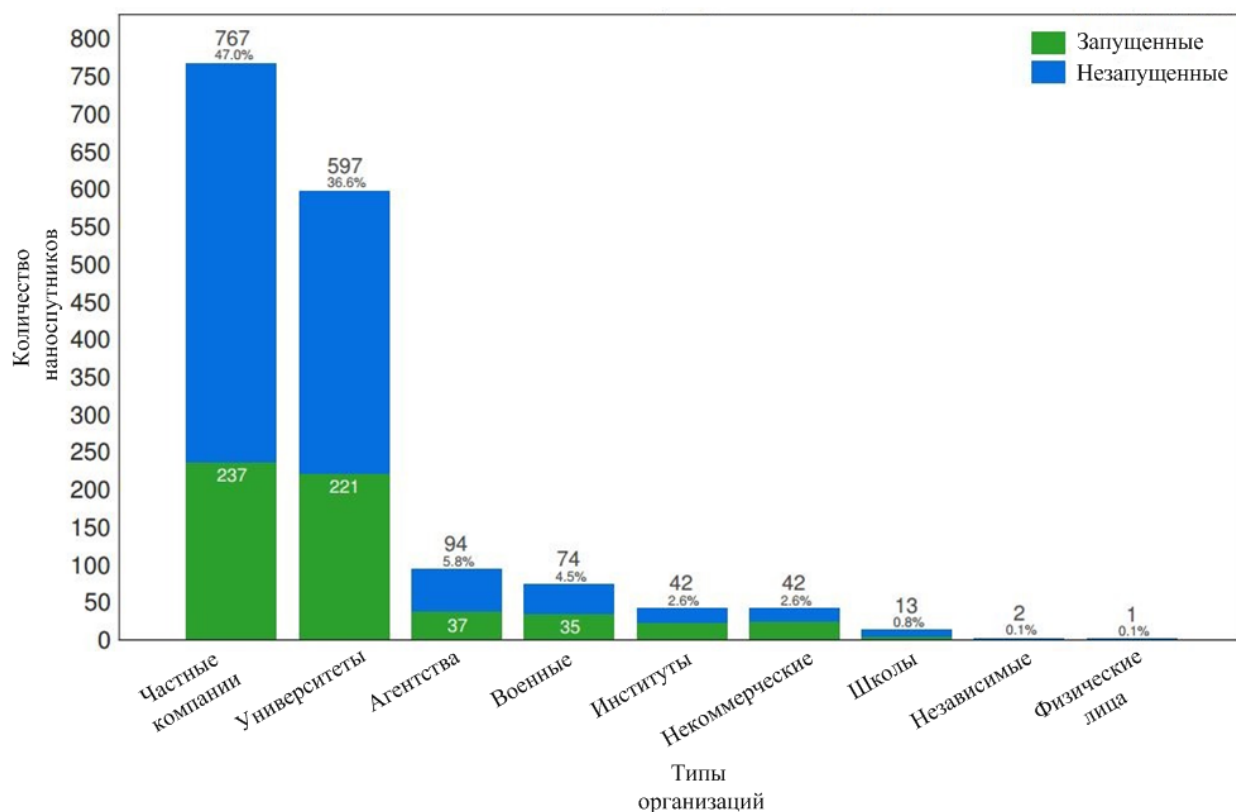


Рис. 4. Наноспутники по типам организаций [5]

Наиболее интересными проектами 2016 года стали HORYU-4, Tomsk-TPU 120, AAUSAT4, Sathyabamasat (SNSAT), BEESAT-4, Aoxiang Zhixing (Star of Aoxiang, SAOX), 3CAT2, CanX-7 [6].

17 февраля Техническим Университетом Китаюсю (Япония) на ракета-носителе H-2A был запущен наноспутник HORYU-4 массой 10кг. Цель миссии спутника заключалась в тестировании экспериментальной высоковольтной системы солнечных панелей и наблюдение за электрическими зарядами, возникающими на корпусе космического аппарата из-за высоко напряжения. Полученные данные позволят повысить надежность нынешних систем энергоснабжения и в будущем помогут в реализации высокомоощных космических систем.

31 марта Томским Политехническим Университетом (Российская Федерация) на ракета-носителе Союз-2.1a был запущен наноспутник формата CubeSat 3U – Tomsk-TPU 120. Цель миссии заключалась в тестировании новых технологий космических материалов. Является первым в мире космическим аппаратом, имеющим корпус, напечатанный на 3D-принтере. Был активирован на МКС и передал звуковой файл с записью приветствия жителей Земли на 10 языках: русском, английском, немецком, французском, китайском, арабском, татарском, индийском, казахском и португальском языках.

25 апреля Университетом Ольборга (Дания) на ракета-носителе Союз был запущен наноспутник формата CubeSat 1U – AAUSAT4. Цель миссии спутника заключалась в тестировании улучшенной версии AIS приемника, разработанного студенческой командой, который может быть использован для автоматического отслеживания и идентификации судов. Также на орбите наноспутника была протестирована 3-х осевая система ориентации, разработанная с помощью активных магнитных приводов.

22 июня Университетом Сачибама (Индия) на ракета-носителе PSLV-XL был запущен наноспутник формата CubeSat 2U – Sathyabamasat (SNSAT). Цель миссии заключалась в измерении плотности парниковых газов с помощью инфракрасного спектрометра ARGUS 1000.

22 июня Берлинским Техническим Университетом (Федеративная Республика Германии) на ракета-носителе PSLV-XL был запущен наноспутник формата CubeSat 1U –



BEESAT-4. Цель миссии заключалась в демонстрации и обучении в области спутниковых технологий. GPS приемник получал сигналы от навигационных спутников, чтобы определить точное положение спутника. Была реализована 3-х осевая система стабилизации с помощью маховиков и магнитоприводов.

25 июля Северо-западным Политехническим Университетом (Китайская Народная Республика) на ракета-носителе Long March 7 был запущен наноспутник формата CubeSat 12U – SAOX. Цель миссии заключалась в изучении возможности использования поляризованного солнечного света для определения ориентации космического аппарата и навигации, проведение исследования микрогравитации с помощью миниатюрного гравиметра, также демонстрация первого в мире наноспутника формата 12U и соответствующих технологий.

15 августа Политехническим Университетом Каталонии (Испания) на ракета-носителе Long March 2D был запущен наноспутник формата CubeSat 6U – 3CAT2. Цель миссии заключалась в выполнении океанологической альтиметрии с помощью рефлектотрии глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS-R).

Основной полезной нагрузкой является новый двухдиапазонный рефлектотр PYCARO, также звездный датчик Mirabilis и экспериментальный магнитотр для eLISA. Был применен мощный компрессор данных – FAPEC. Рефлектотр PYCARO предназначен для сравнения прямого сигнала от глобальной навигационной спутниковой системы, такой как GPS, ГЛОНАСС, Galileo и Beidou с тем же сигналом, отраженным от Земли.

26 сентября Университетом Торонто (Канада) на ракета-носителе PSLV был запущен наноспутник формата CubeSat 3U – CanX-7. Цель миссии заключалась в применении легкого, компактного, развевываемого паруса сопротивления. Демонстрация настраиваемости, модульности и эффективности паруса сопротивления, при достижении орбиты спуска рекомендованной Межведомственным космическим комитетом по координации обломков.

Был протестирован ADS-B приемник, разработанный Королевским военным колледжем при поддержке COM DEV Ltd. ADS-B является совместной технологией наблюдения для отслеживания самолетов.

Наноспутники имеют большое будущее в исследовании космических технологий, что обусловлено, ежедневно растущим числом университетов и других образовательных учреждений, вовлекаемых в столь интересные космические масштабные проекты.

### **Библиографический список**

1. База данных наноспутников [Электронный ресурс], URL: [http://www.nanosats.eu/img/fig/Nanosats\\_orgs\\_2017-01-08.pdf](http://www.nanosats.eu/img/fig/Nanosats_orgs_2017-01-08.pdf) (дата обращения 24.01.2017).
2. Молодёжная научная школа-конференция при 40-ой Ассамблее COSPAR [Электронный ресурс], URL: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwis38TOgbRAhWC3CwKHaC9DpAQFgggMAI&url=http%3A%2F%2Fspace.msu.ru%2F%3Fwpfb\\_dl%3D15&usg=AFQjCNHlstC15rtxcV2bouAKkl6KLcJdJA&sig2=EoamDNUHBtieLjgtYMFKKQ](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwis38TOgbRAhWC3CwKHaC9DpAQFgggMAI&url=http%3A%2F%2Fspace.msu.ru%2F%3Fwpfb_dl%3D15&usg=AFQjCNHlstC15rtxcV2bouAKkl6KLcJdJA&sig2=EoamDNUHBtieLjgtYMFKKQ) (дата обращения 26.01.2017).
3. Наноспутники типа CubeSat [Электронный ресурс], URL: <https://www.ft.com/content/33ca3cba-3c50-11e6-8716-a4a71e8140b0> (дата обращения 26.01.2017).
4. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 68 [Электронный ресурс], URL: <https://www.mai.ru/upload/iblock/58c/58cbdc3cb0e522efca863b4d0e651169.pdf> (дата обращения 01.02.2017).
5. База данных наноспутников [Электронный ресурс], URL: [http://www.nanosats.eu/img/fig/Nanosats\\_orgs\\_2017-01-08.pdf](http://www.nanosats.eu/img/fig/Nanosats_orgs_2017-01-08.pdf) (дата обращения 24.01.2017).
6. База данных наноспутников [Электронный ресурс], URL: <http://www.nanosats.eu> (дата обращения 31.01.17).

## **СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Рязань, morztiko@gmail.com, sk62@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с обработкой аэрокосмических снимков при мониторинге недропользования, а именно спектральный анализ. Проводится сравнительный анализ преобразования Фурье и преобразования Уолша, а также отмечается абсолютное преимущество последнего. В статье отражена важность космических исследований Земли, основанных на снимках со спутника.

*Ключевые слова:* спектральный анализ, аэрокосмический снимок, мониторинг, преобразования Фурье, преобразования Уолша, обработка изображений.

## **SPECTRAL ANALYSIS OF AEROSPACE IMAGES IN THE SYSTEMS OF MONITORING OF SUBSOIL USE**

**A. N. Kolesenkov, D. V. Fetisov**

*Ryazan state radio engineering University,*

*Ryazan, sk62@mail.ru, morztiko@gmail.com*

*Abstract.* This paper discusses the issues associated with the processing of space images for monitoring of subsoil use, namely spectral analysis. A comparative analysis of the Fourier transform and the Walsh transform, and it emphasizes the absolute superiority of the latter. The article reflects the importance of space research of the Earth based on satellite images.

*Keywords:* spectral analysis, the aerospace, monitoring, Fourier transform, Walsh transform, image processing.

### **Введение**

Аэрокосмическая съемка, которая производится с высоты не менее 150 км, выполняется со спутника, перемещающегося по определенно установленной орбите. Вследствие этого возможности его маневрирования весьма ограничены по сравнению с самолетом, что в дальнейшем усложняет работу с такими изображениями. Поэтому обработка космических снимков должна производиться с учётом формул выбранной картографической проекции и фотограмметрических преобразований, тогда влияние сферичности планеты будет находиться в пределах, которая установлена для данного масштаба карты и проекции [1].

Компьютерная обработка изображений основывается на обработке цифровых изображений с применением компьютеров или специализированных устройств, построенных на цифровых сигнальных процессорах. Они используются при автоматизации обнаружения и сопровождения объектов, управлении процессами, распознавании образов и во многом другом.

Передача снимков с помощью цифровых сигналов по каналам передачи изображений с космических аппаратов требует обеспечения надежной и быстрой передачи все больших потоков информации [2]. В системах дистанционного наблюдения широко применяется автоматический анализ при исследовании местности, например, для мониторинга недропользования, которое включает в себя поиск, добычу и охрану полезных ископаемых [3,4].

Благодаря компьютерной обработке изображений решается широкий круг задач, а именно измерение параметров, улучшение качества изображений, распознавание изображений, спектральный анализ многомерных сигналов, сжатие изображений.

### **1. Преобразование Фурье**

Для того, чтобы получить цифровые снимки, пользуются специальными сканирующими системами с аэрокосмических носителей, например, российские спутники Ресурс, американские Landsat или французские SPOT. Причем благодаря высокоточным сканерам фотограмметрические снимки могут быть сразу переведены в цифровой формат.

Цифровой снимок состоит из пикселей, которые образуют сетку, состоящую из строк и столбцов. Каждый пиксель имеет координаты положения в сетке и характеризуется яркостью, обозначаемой в условных единицах от 0 до 255. Данная величина связана со способно-



стью объектов отражать солнечное излучение. Результат дешифрирования зависит от того, как на снимках проявляются различия в яркости объектов.

При компьютерной обработке изображений часто используется анализ спектров изображений (спектральный анализ). Спектр изображения получают многими способами, один из которых с помощью прямого двумерного преобразования Фурье функции, описывающей изображениях [5,6]:

$$F(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \exp(-i(\omega_x x + \omega_y y)) dx dy, \quad (1)$$

где  $\omega_x, \omega_y$  - пространственные частоты;  $i$  - мнимая единица. Функция  $\exp(-i(\omega_x x + \omega_y y))$  описывает плоскую волну в плоскости изображения  $(x, y)$  при фиксированных значениях частот.

Формула (1) связывает вещественную функцию, которая описывает яркость изображения  $f(x, y)$  со спектром изображения  $F(\omega_x, \omega_y)$  - комплексной функцией частоты:

$$F(\omega_x, \omega_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cos(\omega_x x + \omega_y y) dx dy + i \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (-f(x, y) \sin(\omega_x x + \omega_y y)) dx dy = \\ \text{Re}(\omega_x, \omega_y) + i \text{Im}(\omega_x, \omega_y), \quad (2)$$

где  $\text{Re}(\omega_x, \omega_y)$  и  $\text{Im}(\omega_x, \omega_y)$  - реальная и мнимая часть спектра соответственно.

Амплитуда и фаза спектра определяются по формулам (3) и (4):

$$F(\omega_x, \omega_y) = \sqrt{\text{Re}(\omega_x, \omega_y)^2 + \text{Im}(\omega_x, \omega_y)^2}, \quad (3)$$

$$\varphi(\omega_x, \omega_y) = \arctg(\text{Im}(\omega_x, \omega_y) / \text{Re}(\omega_x, \omega_y)). \quad (4)$$

$$F(\omega_x, \omega_y) = F(\omega_x, \omega_y) \exp(i\varphi(\omega_x, \omega_y)), \quad (5)$$

Чтобы восстановить изображение по его спектру, применяется обратное преобразование Фурье:

$$f(x, y) = (1/4\pi^2) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega_x, \omega_y) \exp(i(\omega_x x + \omega_y y)) d\omega_x d\omega_y, \quad (6)$$

## 2. Преобразование Уолша

Основные особенности спектрального представления сигналов в базисе Уолша можно рассмотреть на интервале  $[0, T)$ . Для разложения таких сигналов в спектр обычно используют функции Уолша, которые ортогональны на отрезке  $[0, 1)$  и после преобразования записываются в виде  $wal_i(t/T)$  [7,8].

Ряд Уолша одномерного сигнала  $x(t), t \in [0, T)$  имеет вид:

$$x(t) = \sum_{i=0}^{\infty} c_i wal_i\left(\frac{t}{T}\right), \quad (7)$$

где  $c_i = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) wal_i\left(\frac{t}{T}\right) dt$ .

Усеченные ряды Уолша  $x(t) = \sum_{i=0}^{N-1} c_i wal_i\left(\frac{t}{T}\right)$  обладают среднеквадратической и равно-

мерной сходимостью и могут использоваться для аппроксимации сигналов, описываемых интегрируемыми функциями. На интервалах дискретности функции Уолша принимают значения  $\pm 1$ , что позволяет не применять операцию умножения при нахождении их коэффициентов [9]. Спектральный анализ по Уолшу также связан с меньшими затратами времени, особенно если использовать алгоритм быстрого преобразования Уолша (БПУ).

Быстрое преобразование Уолша получается с помощью специального разбиения матриц [10]. Графическая схема алгоритма представлена на рисунке 1.

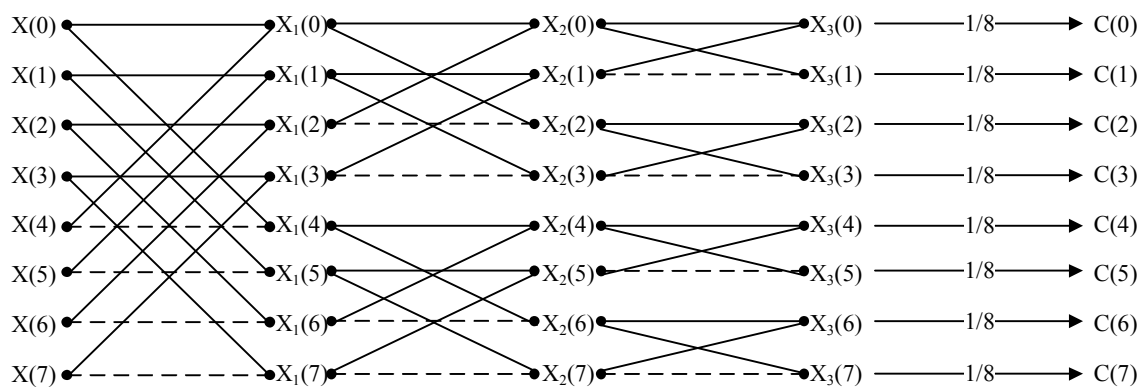


Рис. 1. Графическая схема быстрого преобразования Уолша

Для  $N = 2^n$ :

1. Общее количество итераций определяется как  $n = \log_2 N$ . Индекс  $r$  принимает значения  $r = 1, 2, \dots, n$ .

2. В  $r$  итерации принимает участие  $N/2^{r-1}$  элементов в  $2^{r-1}$  группах. В каждой группе одна половина элементов связана с операцией сложения, а другая – с операцией вычитания.

3. Для вычисления всех коэффициентов преобразования необходимо приблизительно  $N \log_2 N$  арифметических операций.

Затраты машинного времени при использовании спектрального преобразования Уолша снижаются в два раза и более по сравнению с анализом по гармоническим функциям [11]. В настоящее время функции Уолша используются с различными способами упорядочения. С общей точки зрения для спектрального разложения сигналов они равноправны. Но для некоторого определенного сигнала спектр по функциям для одной системы может сходиться гораздо быстрее такого же спектра других систем [12]. Поэтому преимущество одной системы над другой может проявляться при спектральном разложении определенных сигналов с последующим применением усеченных рядов.

### Выводы

На сегодняшний день обработка аэрокосмических снимков способна выявлять различные характеристики земной поверхности, такие как: выявление преобладающего минерального состава открытых горных пород, определение плотности и степени нарушенности растительного покрова, плотности насаждений лесов и преобладающего видового состава, создания карт земной поверхности и поверхности водных объектов, выявления участков антропогенных загрязнений на море и суше, и многое другое [13]. Спектральный анализ космических снимков при мониторинге недропользования позволяет не только получить сведения о происходящих изменениях, но и качественно оценить состояние недр, определить места еще неиспользуемых полезных ископаемых, а также осуществить контроль над охраной природных зон.

### Библиографический список

1. Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов: учебное пособие / Томский политехнический университет. – Томск: изд-во ТПУ, 2011. – 212 с.
2. Babaev S.I., Baranchikov A.I., Grichenko N.N., Kolesenkov A.N., Loginov A.A. The directions for collaborate usage of flight apparatus technical vision system information and electronic cartography // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECyPS 2016, BIOENG.MED 2016, MECO: Student Challenge 2016 5. 2016. С. 153-157.
3. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Ручкин В.Н. Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 5-2. С. 266-274.
4. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. № 37. С. 12-17.
5. Залманзон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. // «Наука. Главная редакция физико-математической литературы». – 1989. С.494-495.

6. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. //«Техносфера».- 2006. С.28-29
7. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Саблина В.А. Применение вещественно-диагональной свертки для идентификации аэрокосмических изображений // В мире научных открытий. 2011. Т. 13. № 1. С. 122-127.
8. Колесенков А.Н., Фетисов Д.В. Разработка геоинформационной системы космического мониторинга для поиска, добычи и охраны полезных ископаемых // Новые информационные технологии в научных исследованиях материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 294-295.
9. Акинина Н.В., Акинин М.В., Соколова А.В., Колесенков А.Н., Никифоров М.Б. Методы и алгоритмы фильтрации разнородных помех с применением систем искусственного интеллекта в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 9. С. 12-19.
10. Колесенков А.Н., Юрьев П.Н. Разработка алгоритма аэрокосмического гис-мониторинга экосистем // Актуальные проблемы математики и информатики: теория, методика, практика сборник научных трудов. Елец, 2015. С. 149-153.
11. Taganov A., Kolesenkov A., Babaev S. Ecological monitoring of dangerous objects on the basis of vegetation indexing and evolutionary approach // 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2016 - Including ECyPS 2016, BIOENG.MED 2016, MECO: Student Challenge 2016 5. 2016. С. 468-472.
12. Колесенков А.Н., Николаев Н.А. Исследование алгоритма нейросетевого прогнозирования нелинейных временных рядов // современное состояние и перспективы развития технических наук: сборник статей международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Сукиасян А.А.. 2015. С. 59-62.
13. Kolesenkov A., Kostrov B., Ruchkina E., Ruchkin V. Anthropogenic situation express monitoring on the base of the fuzzy neural networks // Proceedings - 2014 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2014 - Including ECyPS 2014 3. 2014. С. 166-168.

УДК 004.852, 004.855.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ АВТОЭНКОДЕРА В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ**

**Н.В. Акинина, М.В. Акинин, А.И. Таганов**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, natalya.akinina@gmail.com*

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены различные способы описания характеристик изображений. Рассматривается применение автоэнкодера для классификации изображений. Приведены результаты эксперимента, показывающие эффективность применения автоэнкодера для решения задач классификации образов.

*Ключевые слова:* классификация, распознавание образов, текстура, энергетические характеристики Лавса, текстурные признаки Харалика, автоэнкодер, автоассоциатор, анализ главных

## **USE AUTOENCODER IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS IN SATELLITE IMAGES**

**N.V. Akinina, M.V. Akinin, A.I. Taganov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, natalya.akinina@gmail.com*

*Abstract.* This paper discusses various ways to describe the characteristics of the images. The application autoencoder image classification. Are shown experimental results showing the effectiveness of the autoencoder to solve the problems of classification of images.

*Keywords:* classification, pattern recognition, image texture, Laws energy characteristics, Haralik's textural features, autoencoder, principal component analysis

### **1. Введение**

Задача классификации – формализованная задача, в которой имеется множество объектов, разделенных некоторым образом на классы. Задано конечное множество объектов, для которых известно, к каким классам они относятся, т.е. задана выборка. Классовая принадлежность элементов выборки неизвестна. Следовательно, задача классификации сводится к построению алгоритма, способного отнести произвольный элемент выборки к одному из заранее определенных классов. Для решения поставленной задачи применяются искусственные нейронные сети, обученные с учителем.

Распознавание образов – это отнесение исходных данных к определенному классу с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти данные из общей массы несущественных данных. Таким образом задача распознавания образов сводится к их

классификации. Чтобы было возможно произвести классификацию исследуемая выборка образов должна быть описана одним из известных способов.

## 2. Проблема

Существенный интерес представляет описание пикселей изображения (описание образа) посредством описания покрывающих их текстур (текстурные признаки), поскольку такие признаки учитывают не только спектральные яркости пикселя в каждом из каналов, но также спектральные яркости пикселей в окрестностях рассматриваемого пикселя и взаимосвязь между данными спектральными яркостями.

Существуют следующие способы описания текстур:

- описание текстур с помощью признаков, рассчитываемых по гистограмме изображения;

- спектральные текстурные характеристики;

- энергетические характеристики Лавса, которые обладают следующими достоинствами:

- возможно компактно описывать большинство характерных паттернов структуры текстуры (периодическое повторение элементов текстуры, множество несвязанных мелких элементов, отдельные относительные большие пятна и др.);

- возможно компактно описывать уровень яркости текстуры, масштабированного к одинаковому уровню освещения по всему снимку;

Недостатком такого подхода являются существенные временные затраты на расчет описания текстуры;

- текстурные признаки Харалика.

По сравнению с характеристиками Лавса достоинством признаков Харалика является их большая информативность и большая гибкость характера описания, а недостатком — их меньшая компактность, что можно объяснить необходимостью расчета одних и тех же характеристик для нескольких матриц вхождений;

- прочие способы.

Из перечисленных подходов к описанию текстур наиболее эффективны в задачах обработки изображений энергетические характеристики Лавса и текстурные признаки Харалика.

Следующим после описания обрабатываемого изображения шагом является классификация пикселей изображения.

Пусть имеется некоторая выборка образов  $T$  известного размера  $K(1)$ .

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_K\}. \quad (1)$$

Классификация сводится к отнесению каждого из образов  $T$  к одному из классов множества  $C$ . Классификация выполняется при помощи классификатора  $c$  (2):

$$C = [c_m] = c[T]; c_m = c[T, m]; c_m \in C; \quad m = \overline{1, M}. \quad (2)$$

В (2) множество  $C = \{c_q\}; q = \overline{1, Q}$  суть есть множество индексов  $q$  классов, к которым может быть отнесен образ. Каждый из индексов маркирует отдельный класс.

Классификация образов  $T$  происходит посредством применения классификатора  $classification$ , который по своей сути есть функция  $classification(description(T))$ , где  $description(T)$  - функция описания образа  $T$ . Так как каждый из образов  $T$  описывается при помощи некоторого набора признаков, то функция описания образов принимает вид (3).

$$description(T) = description(v^T), \quad (3)$$

где  $v^T$  - вектор признаков образа  $T$ . В свою очередь совокупность векторов признаков всех образов составляет множество  $v_i^T \in V; i = \overline{1, I}; v_i^T \in [-1, 1]$ , где  $I$  - размерность пространства признаков.

При использовании текстурных признаков для решения прикладных задач возникает проблема катастрофически больших размерностей векторных пространств, образуемых тек-

стурными характеристиками. Следовательно, необходимо предусмотреть способ понижения размерности пространства признаков, то есть способ преобразования  $V \rightarrow V^*$ , где будет выполняться условие  $\Gamma^* < \Gamma$ .

Понижение размерности пространства признаков влечет за собой проблему потери практически важной информации при выполнении преобразования. Чтобы контролировать данный процесс, необходимо определить некоторую функцию  $\inf o(V, V^*)$  как инструмент для оценки потери информации при преобразовании. Такая функция позволяет контролировать процесс предварительной обработки информации перед проведением непосредственно классификации образов, так как классифицировать разумней уже уменьшенные по размеру вектора признаков образов, и при необходимости корректировать процесс понижения размерности, чтобы избежать потери важной для решаемой прикладной задачи информации. Конкретный вариант функции зависит от способа понижения размерности.

### 3. Алгоритм

Одним из способов понижения размерности анализируемого векторного пространства является применение автоэнкодера.

Автоэнкодер (автоассоциатор) — специальная архитектура нейронных сетей, позволяющая применять обучение без учителя при использовании метода обратного распространения ошибки. Простейшая архитектура автоэнкодера приведена на рисунке 1 — сеть прямого распространения, без обратных связей, наиболее схожая с перцептроном и содержащая входной слой, промежуточный слой и выходной слой.

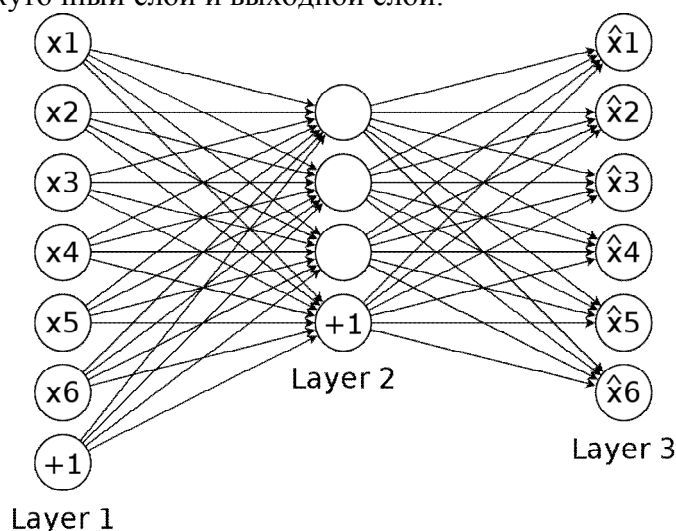


Рис. 1. Архитектура автоэнкодера

Главная цель обучения автоэнкодера — добиться того, чтобы входной вектор признаков вызывал отклик сети, равный входному вектору. То есть задача функционирования автоэнкодера сводится к нахождению аппроксимации такой функции, чтобы отклик нейронной сети равнялся значению входных признаков с точностью до заданного значения ошибки. Чтобы решение поставленной задачи было нетривиальным, на топология нейронной сети должна удовлетворять одному из следующих условий:

Количество нейронов скрытого слоя должно быть меньше, чем размерность входных данных (как показано на рисунке 1).

Такое ограничение позволяет получить сжатие данных при передаче входного сигнала на выход сети. В таком виде функционирование автоэнкодера напоминает метод анализа главных компонент (Principal component analysis, PCA);

Активация нейронов скрытого слоя должна быть разреженной.

Данное требование позволяет получить нетривиальные результаты даже когда количество нейронов скрытого слоя превышает размерность входных данных.

Автоэнкодер как способ понижения размерности пространства признаков может быть использован двумя способами:

Используя архитектуру, представленную на рисунке 1, функционирование автоэнкодера схоже с нейронной сетью, реализующей метод PCA. Подобный подход обладает следующими достоинствами:

- высокая точность результатов;
- уменьшение количества используемых ресурсов;
- высокий уровень параллелизма;
- высокая производительность;

Архитектура, представленная на рисунке 1, может быть усложнена посредством добавления еще одного внутреннего слоя (рис. 2).

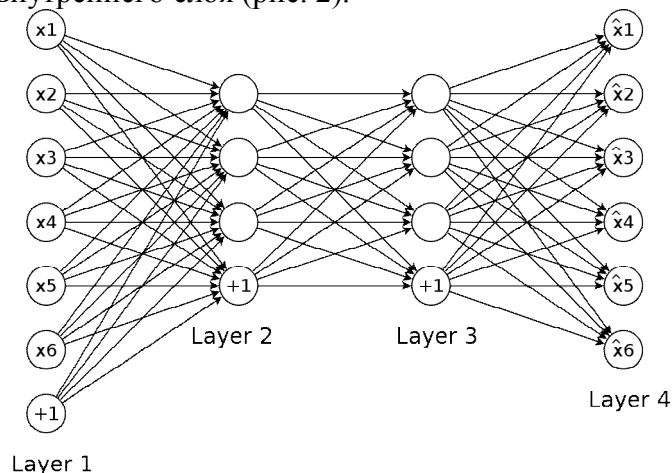


Рис. 2. Автоэнкодер усложненной структуры

Добавление дополнительного внутреннего слоя в структуру автоэнкодера позволит после проведения обучения разделить нейронную сеть на две подсети (рис. 3).

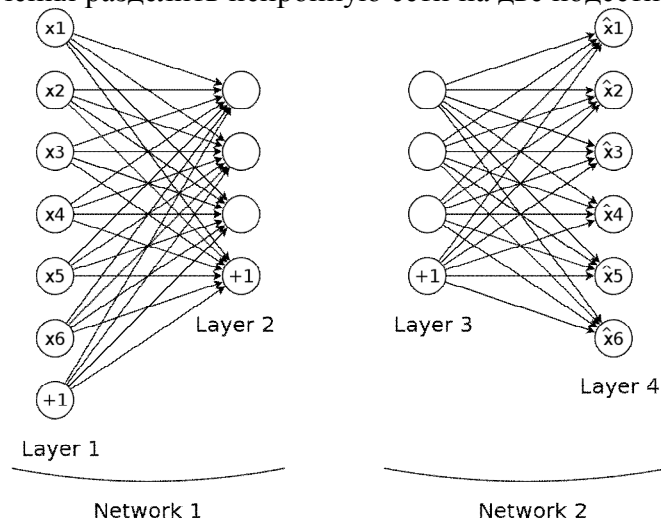


Рис. 3. Автоэнкодер, разделенный на шифратор (Network 1) и дешифратор (Network 2)

Таким образом автоэнкодер разделяется на две подсети, одна из которых (Network 1) выполняет функции шифратора, а другая (Network 2) – функции дешифратора.

При подобном взгляде на архитектуру автоэнкодера классификация образов будет производиться между применениями шифратора и дешифратора, то есть классифицироваться будут не непосредственно наборы текстурных признаков, а их представления внутри автоэнкодера. После проведения процедуры дешифрации будут получаться наборы уже разделенных по классам образов.

Подобная архитектура автоэнкодера усложняет строение непосредственно классификатора и увеличивает временные и ресурсные затраты, но позволяет более значительно уменьшить размерность классифицируемых векторов.

Функция оценки потери информации  $\inf o$  применимо к автоэнкодеру принимает вид функции оценки меры несоответствия входного образа сети его выходному аналогу. Други-

ми словами, при обучении автоэнкодера задается некоторое максимально допустимое значение отклонения реального выходного вектора от идеального, то есть от входного вектора.

#### **4. Эксперимент**

Экспериментальные исследования предложенного алгоритма были проведены в контексте составления детализированной двухмерной карты местности по данным, полученным от телевизионных камер, установленных на беспилотном летательном аппарате вертолетного типа (гексакоптер).

Для проведения эксперимента использовалась компьютерная система, имеющая следующие характеристики: CPU - Intel Core i5 3337U (рабочая частота CPU составляет 2,7 ГГц; 4 ядра; емкость кэш-памяти L3 составляет 3 МБ), RAM 4 ГБ DDR3, ОС GNU / Linux (версия ядра Linux: 3.8.6).

В ходе эксперимента предложенный алгоритм показал высокую временную эффективность (среднее время на понижение размерности пространства для одного кадра составило 0,002 секунд). Среднее время на выполнение дешифрации данных аэрофотосъемки составило 0,012 секунд, что является в 3,6 раза лучше, чем среднее время дешифрации без понижения размерности пространства признаков (0,043 секунд), при этом точность дешифрации составила 92 % правильно распознанных объектов при 93,4 % в случае дешифрации без понижения размерности пространства признаков.

#### **Выводы**

В ходе экспериментов предложенный алгоритм понижения размерности пространства признаков, основанный на применении автоэнкодера, продемонстрировал высокую вычислительную эффективность без существенной потери качества последующей дешифрации изображений.

Предложенный алгоритм может быть использован для решения практических задач построения детализированных двухмерных и трехмерных карт и моделей местности.

#### **Библиографический список**

1. Haykin S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, New Jersey: Prentice Hall, 1999.
2. Forsyth D.A., Ponce J., Computer Vision: A Modern Approach, Prentice Hall, New. Jersey, 2003.
3. Behnke S., Hierarchical Neural Networks for Image Interpretation. LNCS, vol. 2766, pp. 1–13. Springer, Heidelberg, 2003.
4. Ciresan D.C., Meier, U., Masci, J., Gambardella, L.M., Schmidhuber, J., High Performance Neural Networks for Visual Object Classification. ArXiv e-prints, arXiv:1102.0183v1 (cs.AI), 2011.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ВЫСОТАХ ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА**

**В. Ушенкин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

*Аннотация.* В данной работе проанализированы на предмет точности существующие глобальные низкодетальные цифровые модели рельефа земной поверхности, предложен алгоритм их комплексирования с целью повышения точности. Приведены примеры результатов предложенного алгоритма и результаты оценки их точности.

*Ключевые слова:* комплексирование, цифровая модель рельефа, опорная информация, точность определения высоты

### **REFERENCE ELEVATION DATA ACCURACY IMPROVING BASED ON DEM FUSION**

**V. Ushenkin**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, foton@rsreu.ru*

*Abstract.* Accuracy of existing global low resolution DEMs are analysed in this paper. Algorithm of DEM fusion for accuracy improvement is proposed. The examples of proposed algorithm results and their accuracy estimates are given.

*Keywords:* fusion, DEM, reference elevation data, elevation accuracy

## **Введение**

Опорная информация о высоте рельефа земной поверхности требуется при решении широкого класса задач, связанных с обработкой данных дистанционного зондирования Земли. Априорное знание рельефа требуется при геодезической привязке, ортотрансформировании и «сшивке» спутниковых снимков, а также при построении цифровых моделей рельефа и карт смещений земной поверхности путем интерферометрической обработки радиолокационных изображений.

В настоящее время в качестве опорной информации о высоте используется ряд глобальных низкодетальных цифровых моделей рельефа (ЦМР), содержащих высоты только естественных неживых объектов, и цифровых моделей местности (ЦММ), включающих также антропогенные и биотические высотные объекты. В дальнейшем для простоты изложения все глобальные низкодетальные модели будем называть ЦМР, подразумевая, что часть из них на самом деле является ЦММ.

Все глобальные ЦМР получены одним из двух способов: путем стереофотограмметрической или интерферометрической обработки материалов оптической или радиолокационной космической съемки Земли. Глобальный характер указанных ЦМР заключается в том, что они покрывают большую часть суши. При этом для каждой из ЦМР имеется ряд регионов, в которых нет данных о высоте. На стереофотограмметрических ЦМР пропуски вызваны наличием облачности и засветкой льдов, снега и песков при оптической съемке. На интерферометрических ЦМР пропуски вызваны низкой когерентностью сигнала радиолокационных изображений на льдах, в песках и лесах. Кроме того, наклонение орбиты космических аппаратов не позволяет получить данные для построения ЦМР в полярных и приполярных областях.

Перечисленные причины возникновения пропусков могут также приводить к ошибкам высоты, если они не были выявлены при формировании ЦМР. Дополнительными источниками ошибок являются:

- 1) невыявленные участки водной поверхности и прочие малоконтрастные объекты, на которых могут возникнуть значительные ошибки корреляционного совмещения при стереофотограмметрической обработке;
- 2) неправильное развертывание фазы при интерферометрической обработке.

Ошибки высоты и пропуски на глобальных ЦМР располагаются на локальных участках. Причем благодаря тому, что все ЦМР получены из разных источников, да еще и двумя принципиально отличающимися способами, расположение ошибок и пропусков на них в целом не совпадает. Следовательно, появляется возможность повышения точности данных о высоте объектов участка земной поверхности путем комплексирования нескольких ЦМР.

## **Анализ существующих глобальных ЦМР**

Среди всех существующих глобальных ЦМР можно выделить три, отличающиеся наилучшей детальностью и точностью высоты: Alos World 3D 30, SRTM1 версии 3 и ASTER GDEM версии 2. Все указанные ЦМР имеют проекцию пикселя в одну угловую секунду, что соответствует примерно 30 м на экваторе. Пространственное разрешение указанных ЦМР лежит в диапазоне от 30 до 90 м, а среднеквадратичная ошибка высоты – от 5 до 20 м.

ЦММ Alos World 3D 30 получена путем стереофотограмметрической обработки троек оптических изображений с космического аппарата Alos, снятых при визировании вперед, в нади́р и назад. За счет такой организации съемки на ЦММ не образуется пропусков, вызванных затенением. Исходная версия Alos World 3D имеет пространственное разрешение 5 м и распространяется Японским космическим агентством на коммерческой основе, а в открытом доступе начиная с 2016 г. представлена версия с пространственным разрешением, закругленным до 30 м. Среднеквадратичная погрешность высоты на Alos World 3D 30 составляет 5 м. Очень редко на ЦММ встречаются грубые ошибки высоты на невыявленной облачности или водной поверхности, а также ошибочное выявление водной поверхности. ЦММ покрывает всю сушу от 82° ю.ш. до 82° с.ш., за исключением регионов с постоянной облачностью и ледниками.



ЦМР SRTM1 получена путем интерферометрии с жесткой базой в результате топографической миссии шаттла «Индевор» в 2000 г. [1]. Пространственное разрешение ЦМР колеблется в различных регионах от 40 до 60 м. При этом из-за особенностей геометрии интерферометрической съемки может происходить значительное снижение детальности на горных склонах. Среднеквадратичная погрешность высоты на SRTM1 составляет 10 м, причем большая часть этой погрешности вызвана шумами, не полностью подавленными при фильтрации интерферограммы. В первых версиях ЦМР наблюдалось значительное количество ошибок из-за неправильного развертывания фазы в горной местности, однако в третьей версии практически все они исправлены путем сравнения с альтернативными источниками. ЦМР покрывает земную поверхность от 56° ю.ш. до 60° с.ш.

ЦММ ASTER GDEM получена путем стереофотограмметрической обработки троек оптических изображений в ближнем инфракрасном диапазоне с космического аппарата Тегга. Пространственное разрешение исходных изображений составляло всего 20 м, из-за чего на ЦММ наблюдается сильный шум, вызванный субпиксельной погрешностью корреляционного совмещения стереопары изображений. При этом среднеквадратичная погрешность высоты составляет 20 м. Кроме того, при формировании ЦММ была некачественно построена маска облачности и водной поверхности, что привело к локальным ошибкам высоты величиной до нескольких сотен метров, особенно часто встречающимся в приполярных и полярных областях. Пространственное разрешение ASTER GDEM версии 2 составляет порядка 80 м. ЦММ покрывает земную поверхность от 83° ю.ш. до 83° с.ш., за исключением небольших участков с облачностью и ледниками.

### **Ключевая идея комплексирования**

Поскольку все существующие глобальные ЦМР характеризуются разной точностью высоты и пространственным разрешением, среди них можно выбрать наиболее точную и детальную в качестве базовой. Результат комплексирования совпадает с базовой ЦМР во всех участках, кроме тех, где были выявлены локальные ошибки путем сравнения с другими ЦМР. Участки с локальными ошибками следует заполнять данными из других источников. При этом необходимо обеспечить отсутствие нестыковок на границе этих участков, вызванных несогласованностью данных на разных ЦМР.

Можно выделить два основных типа локальных ошибок:

- 1) ошибочное выделение водной поверхности на склоне рельефа с назначением фиксированной высоты;
- 2) ошибки большой величины из-за невыявления отдельного облака, участка ненадежной корреляции или неправильного развертывания фазы.

Ошибки первого типа могут быть выявлены на основе следующего правила: водная поверхность не может быть выше, чем берег. Области с ошибками второго типа, как правило, имеют ярко выраженные границы, на которых наблюдаются резкие изменения высоты величиной от нескольких десятков метров до нескольких километров. Это является основным признаком для их выявления. Однако при этом следует также учесть, что аналогичным признаком обладают высотные здания, которые присутствуют на ЦММ, но отсутствуют на ЦМР.

### **Критерии выявления ошибок на базовой ЦМР**

Критерий выявления ошибочно выделенной водной поверхности можно записать следующим образом:

$$N_{\text{вб}} > \varepsilon_{\text{вб}} N_{\text{б}},$$

где  $N_{\text{б}}$  – количество пикселей ЦМР, расположенных вдоль границы (берега) выделенной водной поверхности,  $N_{\text{вб}}$  – количество пикселей ЦМР, расположенных вдоль берега, в которых высота воды более чем на  $\sigma_h$  больше высоты берега, где  $\sigma_h$  – среднеквадратичная ошибка высоты на ЦМР,  $\varepsilon_{\text{вб}}$  – порог, значительно меньший единицы.

Области с ошибками, связанными с облачностью, ненадежной корреляцией или неправильным развертыванием фазы, выявляются в два этапа.

На первом этапе находятся пиксели базовой ЦМР, значение высоты в которых значительно отличается от аналогичных значений на других ЦМР. При этом допустимая степень

отличия выбирается в зависимости от типа рельефа. Для равнинной местности значения высоты должны быть максимально близки, а в горной местности следует допустить сильные расхождения, которые могут быть связаны как с разной детальностью сравниваемых ЦМР, так и с погрешностями их геодезической привязки:

$$h_{\text{баз}mn} - h_{mn} \notin [-\Delta h_{\text{ниж}}, \Delta h_{\text{верх}}] \cup [-\varepsilon_{Gh} G_{h_{\text{max}mn}}, \varepsilon_{Gh} G_{h_{\text{max}mn}}], \quad (1)$$

где  $h_{\text{баз}}$  – значение высоты на базовой ЦМР,  $h$  – значение высоты на альтернативной ЦМР,  $\Delta h_{\text{ниж}}$  и  $\Delta h_{\text{верх}}$  – пороги допустимых отличий высоты для равнинной местности,  $G_{h_{\text{max}mn}}$  – максимум модуля градиента высоты в малой окрестности  $mn$ -го пикселя альтернативной ЦМР,  $\varepsilon_{Gh}$  – коэффициент учета градиента высоты.

В результате применения критерия (1) образуется некоторое количество кандидатов в области с ошибками высоты, часть из которых отбраковывается на втором этапе выявления. областями с ошибками высоты признаются только те из кандидатов, которые удовлетворяют следующему условию:

$$\frac{1}{N_{zp}} \sum_{i=1}^{N_{zp}} |G_{h_{zp\text{баз}i}}| - |G_{h_{zp i}}| > \varepsilon_{zp},$$

где  $G_{h_{zp\text{баз}i}}$  и  $G_{h_{zp i}}$  – градиент высоты в  $i$ -м пикселе границы области-кандидата, направленный по внешней нормали к линии границы, на базовой и альтернативной ЦМР,  $N_{zp}$  – периметр области-кандидата в пикселях,  $\varepsilon_{zp}$  – неотрицательный порог, подбираемый эмпирическим путем.

#### **Заполнение пропусков и областей с ошибками на базовой ЦМР**

Пропуски и выделенные ошибочные области на базовой ЦМР требуют заполнения по альтернативной с обеспечением стыковки значений высоты на границах этих областей. Стыковку можно обеспечить с использованием корректирующей высотной поверхности  $h_{\text{корр}}$ , применяемой к значениям высоты на альтернативной ЦМР. В пикселях с корректными значениями высоты на базовой ЦМР корректирующая поверхность определяется как  $h_{\text{корр}mn} = h_{\text{баз}mn} - h_{mn}$ .

В выделенных ошибочных областях и пропусках на базовой ЦМР значения корректирующей поверхности определяются с помощью интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний [2]:

$$h_{\text{корр}mn} = \left( \sum_k \sum_l h_{\text{корр}m+k,n+l} \omega_{\text{корр}m+k,n+l} \left( \sqrt{k^2 + l^2} \right)^{-p} \right) / \left( \sum_k \sum_l \omega_{\text{корр}m+k,n+l} \left( \sqrt{k^2 + l^2} \right)^{-p} + \varepsilon \right),$$

где  $0 < \sqrt{k^2 + l^2} \leq D$ ;  $k, l$  – целые;  $\omega_{\text{корр}mn} = 1$  в пикселях с корректными значениями высоты на базовой ЦМР и  $\omega_{\text{корр}mn} = 0$  в ошибочных областях и пропусках на базовой ЦМР;  $D$  и  $p$  – радиус и показатель фильтра обратных расстояний,  $\varepsilon$  – малая величина, используемая для регуляризации.

В результате пропуски и ошибочные области на базовой ЦМР заполняются значениями  $h_{mn} + h_{\text{корр}mn}$ .

#### **Алгоритм комплексирования нескольких ЦМР**

При описании критериев выявления ошибок и заполнения ошибочных областей рассматривался простейший частный случай, когда комплексировались только две ЦМР. В общем случае комплексирование осуществляется следующим образом.

Комплексируемые ЦМР упорядочиваются по интегральному критерию точности и детальности. Сначала в качестве альтернативной выбирается худшая ЦМР, а в качестве базовой – предпоследняя по качеству, и осуществляется их комплексирование. Затем комплексировуются ЦМР, третья от конца по качеству, выбранная как базовая, и результат объединения

двух худших ЦМР. Последовательное комплексирование осуществляется до тех пор, пока в качестве базовой не будет выбрана лучшая ЦМР.

### **Экспериментальные исследования**

С учетом имеющихся в настоящее время глобальных низкодетальных ЦМР и их точности и детальности, на практике может быть реализовано комплексирование следующих из них: ALOS World 3D 30, SRTM1 версии 3, ASTER GDEM версии 2 и GMTED2010. ЦМР упорядочены в порядке убывания качества. GMTED2010 имеет низкое пространственное разрешение, варьирующееся в различных регионах от 250 м до нескольких километров, но покрывает абсолютно всю сушу на Земле, поэтому заполнение пропусков на ней не требуется.

Ввиду отсутствия точных сведений о высоте рельефа качество результатов комплексирования ЦМР оценивалось на основе визуального выявления ошибок путем сопоставления ЦМР и спутниковых снимков на тот же регион. Оценка производилась не по всему земному шару, а по небольшой выборке отдельных регионов. Результаты оценки показали, что в пределах покрытия ЦМР SRTM все крупные ошибки на ALOS World 3D устраняются при комплексировании, а остаются лишь небольшие ошибки, которые трудно отличить от сюжета или временных изменений рельефа. В полярных и приполярных регионах точность результата комплексирования снижается. Это связано с тем, что ALOS World 3D приходится сравнивать с более грубыми ЦМР ASTER GDEM и GMTED2010. Примеры комплексирования представлены на рисунках 1–3.

### **Выводы**

Предложенный алгоритм комплексирования ЦМР позволяет получить опорные данные о высоте рельефа для всей земной поверхности, предоставляющие для каждого локального участка наиболее точную из имеющейся информации. Также результат комплексирования может содержать редкие локальные ошибки, либо неотделимые в автоматическом режиме от сюжета, либо вызванные тем, что на всех комплекслируемых ЦМР в данном локальном участке нет правильных значений высоты.

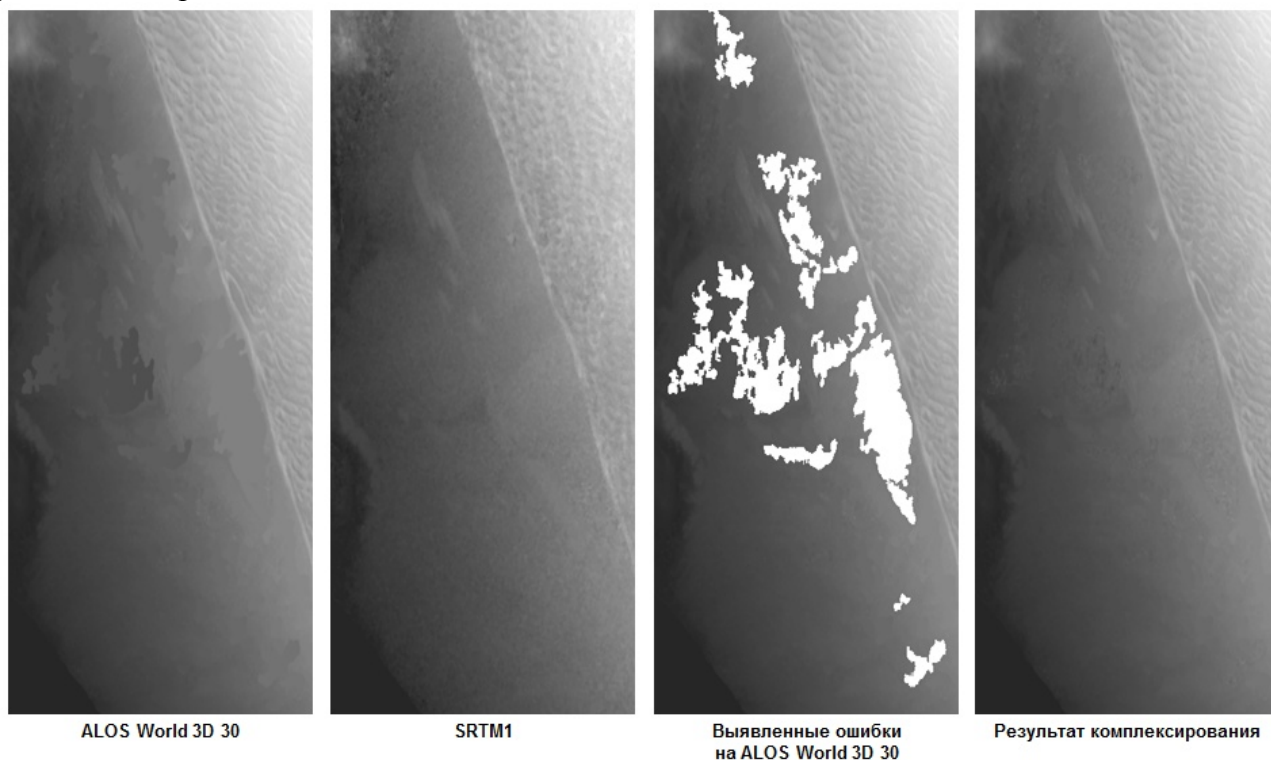


Рис. 1. Пример выявления ошибочно примененной маски водной поверхности

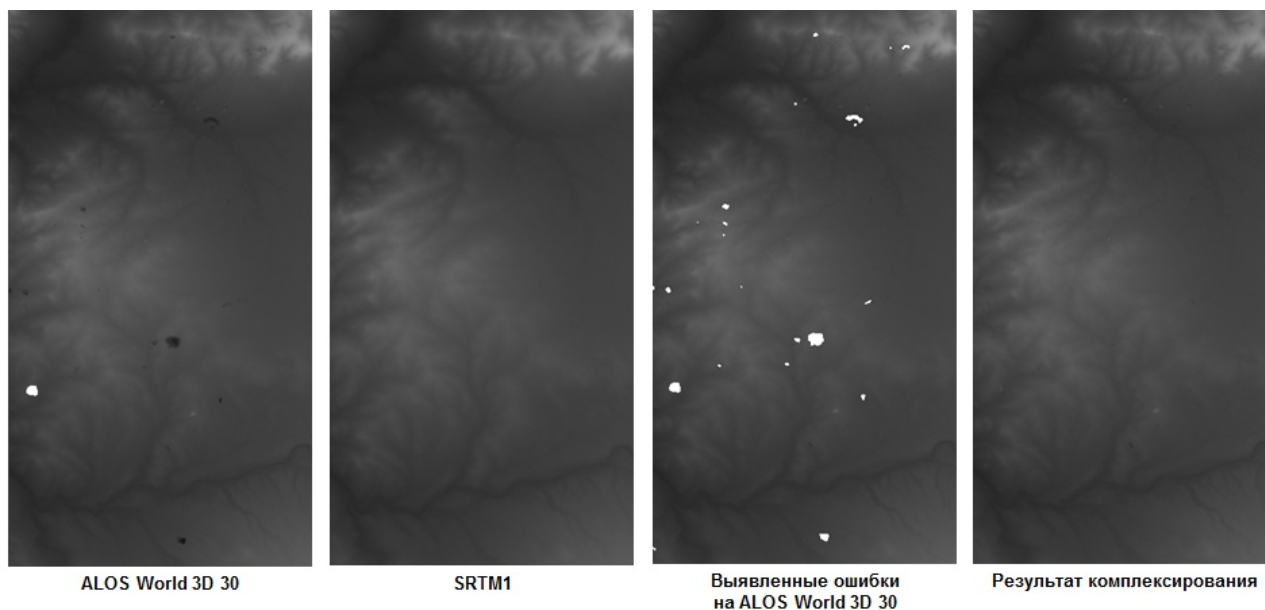


Рис. 2. Пример выявления ошибок из-за влияния облачности

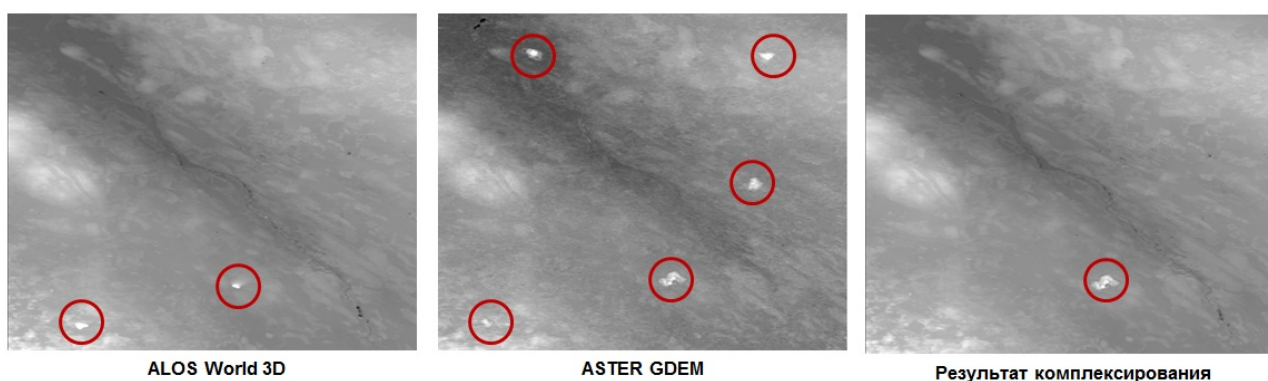


Рис. 3. Пример осточной ошибки на результате комплексирования

### Библиографический список

1. Farr T.G., Kobrick M. The Shuttle Radar Topography Mission // RTO Meeting Proceedings 61: Space-Based Observation Technology. 2000. pp. 33-1–33-3.
2. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proc. of the 1968 ACM National Conference. 1968. pp. 517–524.

УДК 004.042; ГРНТИ 89.57.35

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**А. Александриков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, pleasegogame20120@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе перечислены и описаны различные методы и средства, позволяющие обрабатывать различную космическую информацию, поступающую с космических аппаратов. Космическая информация рассматривается в рамках изучаемой тематики мониторинга водных объектов.

*Ключевые слова:* мониторинг, монохромные изображения, фильтрация, компрессия, космический аппарат Landsat-7

## METHODS AND MEANS OF PROCESSING SPACE INFORMATION FOR MONITORING OF WATER OBJECTS

**A. Alexandrikov**

*Ryazan Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan, pleasegogame20120@mail.ru*

*Abstract.* In this paper lists and describes the various methods and means to handle the various space information received from the spacecraft. Space information is considered in the framework of the study of water bodies monitoring subjects.

*Keywords:* monitoring, monochrome images, filtering, compression, spacecraft

За последнее время климат на планете сильно изменился и продолжает меняться. В особенности, изменение климата характеризуется повышением средней годовой температуры и, в связи с этим, таянием ледников, что приводит к подъёму уровня воды в реках. По весне, во время таяния льдов, существует угроза затопления различных объектов, находящихся в непосредственной близости от рек и других проточных или искусственных водоемов. Этот факт заставляет людей искать пути решения проблемы предупреждения и преднамеренного предотвращения паводков.

Решение проблемы я вижу в космическом мониторинге паводковых состояний водных объектов, так как космическая отрасль в настоящее время очень активно развивается и открывает большие возможности для исследования и наблюдения за планетой.

Таким образом, можно сделать вывод, что данная проблема является очень актуальной и требует немедленного осмысления и поиска решения.

Мониторинг – это процесс отслеживания состояния водного объекта с помощью непрерывного или периодически повторяющегося сбора данных, представляющих собой совокупность определенных ключевых показателей. Латинское происхождение этого слова многозначно и дополняет толкование понятия «мониторинг», включая значение контроля за состоянием исследуемого водного объекта.

Чаще всего, под водным объектом подразумеваются реки, где следует отслеживать площадь разлива, посредством наблюдения за её береговой линией, или, например, водохранилища, где нужно следить за уровнем воды.

При проведении космического мониторинга водных объектов значительный объем информации обеспечивается в оперативном режиме благодаря наличию крупномасштабных космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения. Благодаря им, существует возможность отслеживать локальные изменения гидрологических характеристик.

Одно из важнейших и необходимых для данной проблемы свойств космической информации является ее оперативность. Это свойство незаменимо при наблюдении за паводками, половодьями, а также катастрофическими наводнениями. Оперативный космический мониторинг наводнений позволяет предотвратить ущерб и бороться с возможными последствиями этих наводнений.

Не секрет, что для того, чтобы эффективно использовать принятую космическую информацию, необходимо преобразовать её в нужный нам вид и обработать.

Надо отметить, что во время преобразования космической информации в цифровые данные из оптического сигнала, получаемого с помощью специальных средств сбора данной информации, мы обусловлено большими технологическими трудностями. Проблема заключается в искажающих факторах, действующих на получаемую космическую информацию, и при её обработке необходимо правильно их скомпенсировать, иначе информация на выходе получится некорректная. Естественно, что устранить погрешность возможно только с определённой степенью точности.

Также, следует обратить внимание на то, что получаемые нами из космоса изображения земли само по себе уже является довольно специфичным информационным объектом, что делает необходимым для их обработки применение специальных алгоритмов и математических методов, которые смогут привести наши космические изображения водных объектов к необходимому для эффективного их использования виду. Примером источника полученных нами космических данных дистанционного зондирования может быть космический аппарат производства США – Landsat-7.

Если мы говорим об обработке полученных с космического аппарата данных, то прежде всего следует остановиться на таком методе, как применение на первом этапе, так называемой, предварительной обработки. Под предварительной обработкой я подразумеваю про-

цесс сведения, так называемых, «полос», которыми сканируют местность космические аппараты в монохромные единые полноформатные изображения, которые будут соответствовать разным спектральным каналам. После того, как у нас имеются такие данные, нужно собрать из них одно целое цветное изображение.

Таким образом, можно сказать, что мы вначале собрали набор различных монохроматических данных, а затем произвели их композицию в одно целое, построив цветное изображение, которое визуальное будет более понятно человеку. Этот процесс также называется визуализацией.

Безусловно, следует отметить тот факт, что даже во время предварительной обработке уже может присутствовать довольно большое количество различных помех, которые мешают построению корректного изображения, которое могло бы в нужной мере охарактеризовать изучаемые нами водные объекты.

Соответственно, особенно на этом этапе, имеет смысл применять различные математические методы, направленные на устранение ошибок путём их вычисления и взятия поправок.

Ошибки могут являться следствием различных шумов или же рассогласования определённых кусков строившегося изображения. Вычисление внешних искажений происходит с помощью специальных средств, каждое из которых специально предназначено для расчёта соответствующего вида шума.

У такой предварительной обработки есть свои плюсы и минусы.

К плюсам относится:

- этот процесс очень легко можно провести используя различные виды вычислительных средств (как специализированных, так и с помощью локальных сетей персональных компьютеров);

- этот процесс очень легко распараллелить, что позволяет сократить в некоторых случаях очень много времени на обработку.

К минусам относится:

- многозвенность структуры такой обработки;
- сложность её реализации.

Примером метода обработки, необходимого для сокращения уровня шумов, является линейная фильтрация. Надо сказать, что данный метод обработки является в плане вычислений очень трудоёмким.

Исходя из этого, с целью увеличить скорость преобразования данных, были разработаны специальные алгоритмы фильтрации.

Существует два вида алгоритмов линейной фильтрации изображений.

Первый использует дискретное преобразование Фурье. Суть его в том, что большеформатное изображение разбивается на блоки. А затем, беря отдельно каждый из этих блоков, мы применяем к нему быстрого спектрального алгоритма вычисления свертки с ядром конечной длины (импульсной характеристикой обрабатывающего линейного фильтра).

Второй реализует рекурсивную обработку данных. Параллельно-рекурсивные методы обработки используются, если вычислительная сложность первого вида методов оказывается слишком высокой. Второму виду методов присущ ряд положительных моментов, а именно:

- получение рекордно низкой сложности обработки (достигаемой, однако, за счет приближенного вычисления свертки);
- возможность его обобщения на случай адаптивной, то есть с параметрами, зависящими от свойств сигнала, и даже нелинейной фильтрации.

Среди различных видов обработки космических изображений важнейшее значение придается компрессии (сжатию), т.е. обработке с целью сокращения объема данных. Для космических систем высокодетального оперативного дистанционного зондирования Земли использование программно-аппаратных средств компрессии изображений непосредственно на борту космического аппарата является практически необходимым, так как исходный по-

ток данных, формируемых видеосенсорами в режиме реального времени, заведомо превышает возможности каналов передачи данных.

Специфика задачи компрессии космических изображений в реальном времени (в темпе их получения) порождает и специфичные требования к алгоритмам и информационным технологиям компрессии, отличающиеся от тех, которые обычно предъявляются к подобным алгоритмам в традиционной цифровой фотографии и других компьютерных приложениях: строгий контроль качества получаемых (восстановленных после компрессии) изображений при заданной степени сжатия, стабилизация скорости формирования потока выходных данных, помехозащищенность формируемых сжатых, низкая вычислительная и структурная сложность при программно-аппаратной реализации.

В заключение, можно сказать, что процесс космического мониторинга береговой линии природных и искусственных водоемов является современным и наиболее эффективным способом контроля за водными объектами, который имеет на вооружении новейшие достижения космической отрасли, которая сейчас очень быстро развивается и предоставляет большую точность и качество космических данных.

Также мы убедились, что данная тема является довольно актуальной для того, чтобы обратить на неё внимание.

Более того, она требует внимательного изучения, ибо контроль над водными объектами можно обеспечить, лишь благодаря тотальному мониторингу, который не был бы возможен без современных средств сбора, хранения и обработки космической информации, сфера космических технологий не была бы так развита, как сейчас и не продолжала бы развиваться с поразительной скоростью, предоставляя нам данные практически в реальном времени, благодаря постоянному зондированию земли космическими аппаратами и отработанными и оптимизированными математическими методами, а также современными высокопроизводительными и высокоскоростными средствами для обработки и анализа космической информации.

УДК 004.031.6+004.451.42 ГРНТИ 50.41

## **ОБЗОР ПОДХОДОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ АППАРАТУРЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

**В.В. Сергушкин, О.А. Бодров**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [s2xxx@yandex.ru](mailto:s2xxx@yandex.ru)*

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются подходы к проектированию встраиваемых систем, выполнен анализ их достоинств и недостатков. Данная информация является полезной при разработке встраиваемых систем любой степени сложности.

*Ключевые слова:* встраиваемые системы, архитектура «супер цикл», архитектура с переключением по расписанию, OSCP, телекоммуникация

## **REVIEW OF APPROACHES IN THE DESIGN OF SOFTWARE FOR EMBEDDED SYSTEMS ON AN EXAMPLE OF THE DATA TRANSMISSION EQUIPMENT**

**V.V. Sergushkin**

**Scientific supervisor PhD in Technical Sciences O.A. Bodrov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Ryazan, Russia, [s2xxx@yandex.ru](mailto:s2xxx@yandex.ru)*

*Abstract.* This paper discusses the approaches to the design of embedded systems, the analysis of their strengths and weaknesses. This information is useful in the development of embedded systems of any complexity.

*Keywords:* Embedded System, Super Loop architecture, Time-triggered architecture, RTOS, telecommunication

### **Введение**

В настоящее время наблюдается стремительный рост количества встраиваемых систем (Embedded System) различного назначения. Данные системы постепенно внедрились во все отрасли мирового рынка, начиная с космических технологий, автомобилестроения, воен-



ной техники и, заканчивая простой бытовой электроникой. «Умные» телевизоры, «умные» выключатели, всё больше и больше «умных» устройств окружает людей в повседневной жизни.

В области телекоммуникации и систем передачи данных также возрастают требования к оборудованию, поэтому еще на стадии проектирования программных продуктов, следует верно определить архитектуру и функциональность встраиваемой системы, а также выбрать верный подход для реализации.

### **1. Разработка без использования операционной системы с применением подхода «супер цикл»**

При разработке с применением подхода «супер цикл» все необходимые задачи выполняются последовательно друг за другом.

На псевдокоде данный подход выглядит следующим образом:

```
while(1)
{
    task1();
    task2();
    ...
    task_N();
}
```

В системе передачи данных примерами задач могут быть: task1() — обработка протокола остоного дерева (STP); task2() - обработка пользовательского ввода вывода.

В лаконичности данного подхода кроются все его достоинства и недостатки. К достоинствам данного подхода относится простота разработки, отсутствие больших требований к ресурсам и простота добавления новых задач. При необходимости добавить новую задачу, она просто добавляется в общий «супер цикл». Самым главным недостатком данного подхода является временная не детерминированность запуска задачи. К примеру, если нужно выполнять какую либо задачу раз в секунду (в приведенном примере это STP задача — необходимо отправлять «hello» сообщения), а среди задач есть такие время выполнения которых не является константной величиной (к примеру пользователь запросил у системы данные, а их обработка и выдача занимает неопределенно длительное время) гарантировать это не представляется возможным [1].

Данный подход целесообразно применять в простых устройствах, не требующих большого количества задач и при ограниченном количестве аппаратных ресурсов. Примером может служить умная лампочка, включающаяся при появлении кого нибудь в комнате.

### **2. Разработка без операционной системы при помощи архитектуры с переключением по расписанию.**

Архитектура представляет собой кооперативный планировщик задач — т.е. управление от одной задачи передается другой только после завершения выполнения текущей. В основе данного подхода лежит таймер, в обработчике прерывания от которого находится код проверяющий все задачи на необходимость запуска и ставит их на выполнение [2]. Программная реализация условно выглядит:

```
for (i=0; i<TASKCNT;i++)
{
    if (Tasks[i].func)
    {
        if (0 == --(Tasks[i].delay))
        {
            Tasks[i]. needrun = 1;
        }
    }
}
```

Переменная Tasks представляет собой массив структур описывающий задачу:



```

struct
{
    void(func*)(void);
    int delay;
    int needrun;
} Tasks[TASKCNT];

```

Примерами задач для телекоммуникации являются те же, что рассмотренные в подходе «супер цикл». TASKCNT — это общее количество задач в системе.

В основном коде программы в бесконечном цикле располагается код диспетчера задач:

```

while(1) { dispatcher(); }

```

Код диспетчера условно представляет собой:

```

for (i=0; i<TASKCNT;i++)
{
    if (0 < Tasks[i].needrun)
    {
        Tasks[i].func();
    }
}

```

т.е. в основном теле программы (в функции main) постоянно проверяется есть ли задачи для выполнения, если выполнять нечего, система может или «засыпать» уменьшая свое энергопотребление и ожидая новое прерывание или выполнять специальную задачу idle(), которая служит для мониторинга загруженности системы или вывода отладочной информации.

Время прерывания от таймера выбирается как наибольший общий делитель на основе времени запуска каждой задачи. Основным условием для каждой задачи является минимальное время выполнения которое обязательно должно быть меньше времени между прерываниями таймера.

К достоинствам данного подхода можно отнести простоту реализации, но которое всё же сложнее подхода «супер цикл», отсутствие проблемы подхода «супер цикл» связанной с периодическим, детерминированным запуском задач.

К недостаткам относится невозможность использования прерываний от периферии (правило одного прерывания на микроконтроллер [2]), так как, для обеспечения временной детерминированности, время выполнения задачи должно быть жестко регламентировано, а при наличии прерываний задача может быть отложена на неопределенный срок. Также к недостаткам относится ограничение времени выполнения задачи, так как при отсутствии прерываний всю работу с периферией необходимо осуществлять путем опроса (pooling). А при наличии медленной периферии время работы с ней может превысить время между двумя прерываниями от таймера. Чтобы обойти это ограничение необходимо написание сложного кода с использованием конечного автомата состояний для выполнения несложной (в случае линейного выполнения кода) операции.

Несмотря на некоторые неудобства данный подход получил широкое распространение и имеет международные стандарты IEC 61508 (industrial systems), ISO 26262 (automotive systems), IEC 62304 (medical systems) [3].

### **3. Разработка с применением операционной системы.**

Следующей по требовательности к ресурсам и сложности разработки после подхода «супер цикл» и архитектуры с переключением по расписанию находятся операционные системы.

Ядро операционной системы реализуется в виде переключателя задач. Выделяют вытесняющее или кооперативные операционной системы (ОС). Вытесняющая ОС может забирать управление у менее приоритетной задачи и отдавать высоко приоритетной задаче.

Во встраиваемых системах часто применяют ОС реального времени (ОСРВ) — это специализированная ОС в которой время обработки и реакции на критическое событие не

превысит определенного порога, какие бы события не происходили. Следовательно, все ОС не относящиеся к вытесняющим ОС нельзя назвать полноценными ОСПВ. Из Российских ОС следует выделить «ОСПВ МАКС» разработанных компаний АстроСофт как первую Российскую ОСПВ [4].

Код пользовательской программы в ОСПВ условно выглядит:

```
int main
{
    os_task(task1, 5);
    os_task(task2, 2);
    ...
    os_task(taskN, N);
    os_scheduler_start();
}
```

Каждая задача представляет собой бесконечный цикл.

```
while (1)
{
    do_what_need_to_be_done();
}
```

Так как каждая задача это бесконечный цикл, любая ОС при их переключении, вынуждена сохранять содержимое стека каждой задачи, а также содержимое регистров общего назначения. Переключение задач осуществляется, в зависимости от возможностей микропроцессора на котором запущена ОС, либо путем прерывания системного таймера, либо специализированного аппаратного прерывания предоставляемого разработчиками микропроцессора. К примеру в ARM-Cortex архитектуре применяются прерывания SVC\_Handler и PendSV\_Handler [5].

Основным лидером [6] в области ОС для встраиваемых устройств является ОС Linux. Несмотря на то что ОС Linux и не является ОС реального времени, ее продуманное конфигурирование, позволяет с успехом применять эту операционную систему и во встраиваемых устройствах. Постепенно ОС Linux выходит за рамки обычной технологии и превращается в мощную платформу для встраиваемых приложений [7], в том числе в области передачи данных.

В настоящее время из более чем сотни ОС, в том числе ОС реального времени (ОСПВ) разработанных в разное время, широкое распространение получили лишь некоторые [8]. Несмотря на такое изобилие, применение готовых решений не всегда возможно, в особенности в области авионики, космической и военной промышленности. Так же причиной выбора в пользу разработки собственной ОС может быть отсутствие поддержки нужной архитектуры в существующих ОС. В России регламентирующими требованиями к ОС во встраиваемых системах является ГОСТ Р 51904—2002.

Достоинством использования ОС, при условии использовании существующей, а не собственной разработки, является удобство и быстрота разработки. Недостатком является более высокие требования к аппаратуре (в частности память) и опыта разработчиков (знание принципов потокобезопасности, синхронизации данных, семафоров, мьютексов).

Применение ОС целесообразно для крупных проектов имеющих достаточные человеческие ресурсы, и на оборудовании имеющем необходимые аппаратные ресурсы.

### **Выводы**

Каждый из подходов имеет свои достоинства и недостатки. Если система простая, количество ресурсов ограничено, а время реакции на задачи не детерминировано, то целесообразней подход «супер цикл». Если же система планирует активно развиваться, кроме того задачи сами по себе различны и критичны по времени, а ресурсов достаточно, то выбор явно стоит сделать в пользу ОС. Выбрать ОС или ОСПВ уже зависит от конкретных требований и задач.

В области телекоммуникаций, при наличии поддержки имеющегося оборудования, целесообразней применение операционных систем, в частности особое внимание следует обратить на ОС Linux как наиболее активно развивающейся и имеющей большое количество поддерживаемых архитектур.

### **Библиографический список**

1. Michael J Pont. Embedded C. 2002.
2. Michael J. Pont. Patterns for Time-Triggered Embedded Systems. 2001.
3. Time-triggered architecture [Электронный ресурс], URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Time-triggered\\_architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/Time-triggered_architecture) (дата обращения 01.02.2017).
4. "АстроСофт" создал ОС для Интернета вещей [Электронный ресурс], URL: <http://www.comnews.ru/content/105718/2017-01-27/astrosoft-sozdal-os-dlya-interneta-veshchey> (дата обращения 01.02.2017).
5. Advanced RISC Machines. Application Note Cortex-M3 Embedded Software Development. 2017
6. Android, FreeRTOS top EE Times' 2013 embedded survey [Электронный ресурс], URL: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1263083](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1263083) (дата обращения 01.02.2017).
7. Greg R. Вопросы успешного применения ОС Linux во встраиваемых системах. - Мир компьютерной автоматизации, 2002 - №3
8. Золотарев С.В. Операционные системы реального времени для 32-разрядных микропроцессоров. Современная электроника, 2006 - №7

УДК 004.6

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ РЕАКТИВНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С GPS**

**Е.И. Маркин, К.М. Рябова, А.А. Воронцов**

*Пензенский государственный технологический университет,  
Пензенская область, г. Пенза, [evgeniymarkin1@gmail.com](mailto:evgeniymarkin1@gmail.com)*

*Аннотация.* В данной статье рассмотрен способ реализации работы с геолокационными данными в мобильных устройствах, оснащенных GPS модулями, при помощи реактивного программирования.

*Ключевые слова:* GPS, реактивное программирование, мобильная разработка, многопоточность.

## **USE IN MOBILE SYSTEMS REACTIVE PROGRAMMING AT WORK WITH GPS**

**E.I. Markin, K.M. Ryabova, A.A. Vorontsov**

*Penza State Technological University,  
Penza region, Penza, [evgeniymarkin1@gmail.com](mailto:evgeniymarkin1@gmail.com)*

*Abstract.* This article describes a way to implement work with geo-location data in mobile devices equipped with GPS modules, using reactive programming.

*Keywords:* GPS, reactive programming, mobile development, multithreading.

Создание мобильных приложений с геолокацией требует достаточного количества времени для обработки геолокационных данных, потому что данные о локации устройства могут поступать с GPS, Wi-Fi и т.д, что является непрерывным потоком данных. Поэтому обработка и синхронизация такого потока данных представляет собой сложную задачу для разработчика [1-13].

Стандартный метод при работе с геолокацией включает в себя вынесение всей логики получения координат в отдельный сервис, получение данных в отдельном потоке из созданного сервиса, затем передача данных в UI поток. Таким образом, рассмотренный подход вынуждает разработчика использовать дополнительные ресурсы, что является нерациональным решением, т.к. не все мобильные приложения нуждаются в постоянной обработке координат, существует приложения, которые могут получить данные один раз или в длительном промежутке времени (рис. 1).

```

public static void getGeocode(final String address, final Callback<Geocode> callback) {
    final Handler mainHandler = getHandler();
    new Thread(new Runnable() {
        @Override
        public void run() {
            try {
                final Geocode geocode = Injector.get(WeatherService.class).geocode(address);
                mainHandler.post(new Runnable() {
                    @Override
                    public void run() {
                        callback.onSuccess(geocode);
                    }
                });
            } catch (Exception e) {
                callback.onError(e);
            }
        }
    }).start();
}

@NonNull
private static Handler getHandler() {
    return new Handler(Injector.get(Application.class).getMainLooper());
}

```

Рис. 1. Пример кода работы с GPS

Поток данных о локализации устройства являются непрерывным потоком, следовательно, для повышения эффективности работы, а также с целью упрощения кода, используют библиотеку RxJava, которая применяется для осуществления концепции реактивного программирования.

RxJava представляет собой библиотеку, которая базируется на технологии ReactiveX с открытым исходным кодом, что дает возможность быстрого применения реактивного программирования в приложении.

Реактивное программирование - это программирование, которое основывается на работе с потоками данных, что лежит в основе базового метода реактивного программирования.

Потоки данных представляет собой совокупность информации, распространяющуюся во времени, а также имеющая одну ошибку и индикатор завершения потока (рис. 2).

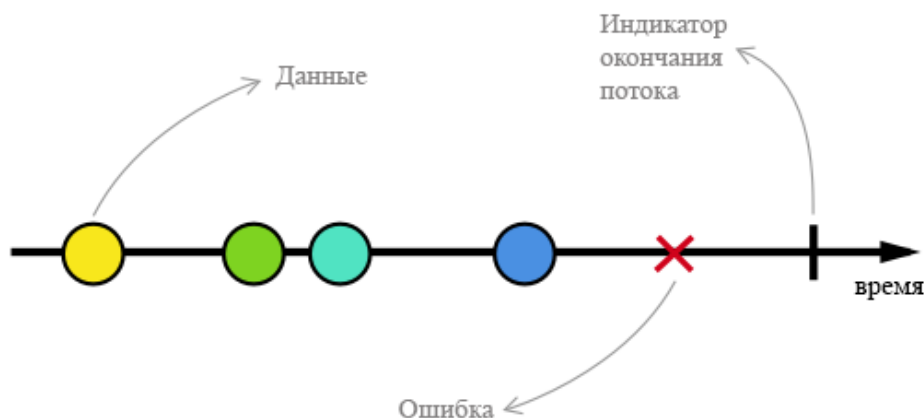


Рис. 2. Схема представления потока данных

Сообщения из WebSocket API, UI компоненты, а также различные действия пользователя являются примером потока данных.

Применение потоков данных в работе приложения имеет множество достоинств. Так, например, при использовании потоков происходит изолированность состояний, а именно: непосредственно в самом observable данные распространяются во времени, что говорит о их сохранении в прошлом, текущем или будущем состоянии. Выделяют такое достоинство потоков данных, как не изменчивость observable; в случае, когда происходит изменение observable, создается observable с новыми параметрами. Строгая типизация, также является одним из преимуществ потока данных.

Пример получения данных с помощью библиотеки RxJava представлен на рисунке 3.

```

private void getWeather(final View view, String address) {
    Snackbar.make(view, "Getting your weather :", Snackbar.LENGTH_SHORT)
        .setAction("Action", null).show();
    this.address = address;
    WeatherSDK.getGeocode(address, new WeatherSDK.Callback<Geocode>() {
        @Override
        public void onSuccess(Geocode geocode) {
            List<Result> results = geocode.getResults();
            if (results.size() > 0) {
                Location location = results.get(0).getGeometry().getLocation();
                WeatherSDK.getWeather(location.getLat(), location.getLng(), new WeatherSDK.Callback<Weather>() {
                    @Override
                    public void onSuccess(Weather weather) { updateWeather(weather); }

                    @Override
                    public void onError(Exception error) {
                        Snackbar.make(view, "Weather Error : " + error, Snackbar.LENGTH_LONG)
                            .setAction("Action", null).show();
                    }
                });
            } else {
                Snackbar.make(view, "No result in geocode :(", Snackbar.LENGTH_LONG)
                    .setAction("Action", null).show();
            }
        }

        @Override
        public void onError(Exception error) {
            Snackbar.make(view, "Geocode Error : " + error, Snackbar.LENGTH_LONG)
                .setAction("Action", null).show();
        }
    });
}
}

```

Рис. 3. Работа с GPS с использованием RxJava

При работе с координатами возникает проблема обработки потока данных, а именно получение всех или последних координат. При обработке потоков данных с применением библиотеки RxJava можно столкнуться с проблемой отсутствия встроенной функции для обработки таких потоков. Поэтому существует два оператора: `onBackpressureDrop` и `onBackpressureBuffer`, которые формируют условия для обработки потока, указывая конкретные данные обработки. `onBackpressureBuffer` позволяет занести все данные во внутренний буфер, обрабатывая их постепенно, а `onBackpressureDrop` осуществляет проверку последних пришедших данных, удаляя остальные. Применение такого метода даст возможность быстро и легко настроить обработку потоков данных, позволяя снизить времязатратность разработки приложения.

Таким образом, применение Rx в разработки приложений повышает устойчивость работы программы к возможным ошибкам, делая код простым и доступным.

Реактивный подход к программированию - это особенный подход, с использованием потоков данных и функциональных операторов с возможностями ООП, что делает его более эффективным по сравнению с традиционным.

### Библиографический список

1. Introduction to Rx / Lee Campbell. - 2012.-354с.
2. Маркин Е.И., Рябова К.М. Реализация TCP-соединения в мобильных приложениях при помощи технологии реактивного программирования // Лучшая научная статья 2016. 2017. С. 77-80.
3. Статья Cisco "Цифровое производственное предприятие в Европе": журнал [Электронный ресурс] . -Режим доступа: [http://www.cisco.com/c/dam/m/ru\\_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/Cisco\\_Europe\\_Digital\\_Manufacturer\\_ru.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/m/ru_ru/internet-of-everything-ioe/iac/assets/pdfs/Cisco_Europe_Digital_Manufacturer_ru.pdf) свободный. – Загл. с экрана.
4. Официальный сайт ReactiveX: портал [Электронный ресурс] . -Режим доступа: <http://reactivex.io/> свободный. – Загл. с экрана.
5. Маркин Е.И., Рябова К.М. Использование реактивного программирования при разработке мобильных приложений // Computational nanotechnology. 2016. №2. С. 170-173.
6. Манифест реактивного программирования: портал [Электронный ресурс] . -Режим доступа: <http://www.reactivemano.org/> свободный. – Загл. с экрана.
7. Маркин Е.И., Рябова К.М., Воронцов А.А. Межплатформенная технология мобильной разработки React Native // Новая наука: проблемы и перспективы. 2017. №1-2. С. 149-151.
8. Маркин Е.И., Рябова К.М., Воронцов А.А. Межплатформенная технология мобильной разработки React Native // Новая наука: проблемы и перспективы. 2017. №1-2. С. 149-151.
9. Калягин И.Н., Воронцов А.А. Динамика развития облачных технологий. Сборник научных трудов МНПК "Информационные технологии в экономических и технических задачах" Пенза: ПензГТУ. 2016. С. 236-239.

10. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ. - 2016. № 3 (31). С. 173-178.
11. Воронцов А.А. Частное облако ПензГТУ как средство повышения быстродействия компьютеров в сетях. Научно-исследовательские публикации. Воронеж: ООО "Вэлборн". - 2016. № 2 (34). С. 6-17.
12. Воронцов А.А. Исследование изменения быстродействия компьютеров в сети при работе с виртуальными машинами частного облака ПензГТУ. Сб. ст. XIV Всероссийской НТК "Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов". Под редакцией И.И. Сальникова. Пенза: АННМО «Приволжский Дом знаний». - 2016. С. 84-88.
13. Борисов С.А. Частное облако как средство повышения быстродействия компьютеров в компьютерных сетях ПензГТУ. / Борисов С.А., Ячменихина О.А., Воронцов А.А.// Сб. ст. V МНПК "Прорывные научные исследования". Пенза: "Наука и Просвещение". - 2016. С. 41-44.

# СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

## ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

**И.А. Костюк, В.В. Харламова, Н.А. Колесенков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет, 62nk@mail.ru*

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы по защите персональных данных при их использовании в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

*Ключевые слова:* защита персональных данных, доступ в интернет, информационная безопасность.

## PROTECTION OF PERSONAL DATA ON THE INTERNET

**I. Kostyuk, V. Kharlamova, N. Kolesenkov**

*Ryazan State Radioengineering University, 62nk@mail.ru*

*Abstract.* The issues of personal data protection were considered in their use in the information and telecommunication network Internet.

*Keywords:* protection of personal data, internet access, information security.

### 1. Введение

Вопрос, касающийся защиты персональных данных субъектов в сети Интернет, на сегодняшний день является наиболее актуальным. Главным образом это связано с невысоким уровнем грамотности населения в вопросах безопасности собственных персональных данных.

Под персональными данными понимается «любая информация, относящаяся к определенному или определяемому на основании такой информации физическому лицу (субъекту персональных данных), в том числе его фамилия, имя, отчество, год, месяц, дата и место рождения, адрес, семейное, социальное, имущественное положение, образование, профессия, доходы, другая информация» (Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ «О персональных данных»). Персональные данные, относящиеся к информации ограниченного доступа, могут распространяться только с письменного разрешения субъекта, а в случае с несовершеннолетними субъектами – их законного представителя.

На сегодняшний день сеть Интернет включает в себя множество необходимых, полезных и ценных данных, с одной стороны, и с другой – настоящее хранилище личной информации, являющейся информацией ограниченного доступа. Каждый день люди сталкиваются с проблемой безопасности персональных данных в сети Интернет. Как показывает практика, большинство людей считают, что их данные злоумышленникам не интересны, однако оказывается, что известность человека не влияет на желание злоумышленников заполучить интересующие их персональные данные и впоследствии извлечь из них выгоду. На основании вышеизложенного рассмотренную в настоящей статье тему можно считать актуальной.

Информационная безопасность становится ключевым фактором в процессе предоставления электронных услуг пользователям. Современные информационно-телекоммуникационные услуги отличаются использованием большого объема информации ограниченного доступа нуждающейся в защите: персональные данные, платежная информация и другое.

Безопасность персональных данных – это состояние защищенности персональных данных, которое характеризуется способностью пользователей, технических средств и информационных технологий обеспечить конфиденциальность, целостность и доступность персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных.

### 2. Защита персональных данных – требование законодательства

Основные требования по защите персональных данных определяются с Федеральным Законодательством, Постановлениями Правительства Российской Федерации, руководящими документами ФСТЭК России.

В соответствии с законом «О персональных данных» оператор при обработке персональных данных обязан принимать необходимые организационные и технические меры для защиты от неправомерного или случайного доступа к персональным данным, уничтожения, изменения, блокирования, копирования, распространения, а также от иных неправомерных действий.

Обеспечение безопасности информации (конфиденциальности) в соответствии с Законодательством Российской Федерации не требуется для обезличенных и общедоступных персональных данных. Персональные данные являются обезличенными, в случае, если над ними были произведены действия, в результате которых не предоставляется возможности определить их принадлежность конкретному субъекту персональных данных. Общедоступными персональные данные могут стать только с письменного согласия субъекта персональных данных. Они могут включать в себя фамилию, имя, отчество, год и место рождения, адрес места жительства, сведения о профессии и иные личные данные, предоставленные субъектом персональных данных.

### **3. Угрозы безопасности персональных данных в сети Интернет**

Рассмотрим ниже конкретные случаи нарушения безопасности персональных данных в сети Интернет.

Во-первых, *электронная почта*: она используется для регистрации на большинстве сайтов и сервисов, а значит, получив доступ к электронной почте интересующего субъекта, злоумышленник имеет возможность взломать и другие аккаунты, имеющие связь с данной электронной почтой, также никто не отменял и угрозу тайне переписки. Если электронная почта используется пользователем для работы, то к злоумышленнику может попасть закрытая корпоративная информация.

Во-вторых, *социальные сети и интернет-магазины*: субъекты персональных данных при регистрации в социальных сетях, интернет-магазинах и подобных сайтах предоставляют свои персональные данные, такие как фамилия, имя, отчество, адрес места жительства, номер мобильного телефона, электронный почтовый адрес и другая личная информация. Кроме того, при регистрации субъект проставляет метку в поле электронной формы регистрации, содержащей информацию о его согласии с правилами и условиями обработки предоставленных персональных данных. И тем самым в соответствии законом "О персональных данных" субъект персональных данных принимает решение о предоставлении своих персональных данных и дает согласие на их обработку, которое должно являться конкретным, информированным и сознательным.

В-третьих, *банковские данные*: на сегодняшний день банковскими картами оплачивают и коммунальные услуги через интернет-банк, и покупки в онлайн-магазинах, с помощью карты бронируют пассажирские билеты и проживание в гостиницах, но возникает один очень главный вопрос «Где мы оставляем свои данные?».

В-четвертых, *незащищённая Wi-Fi-точка*: злоумышленники пользуются незащищённостью открытых Wi-Fi-точек и неосторожностью пользователей, с легкостью считывают все данные, хранимые на устройстве пользователя, подключенного к данной незащищенной сети. Таким образом к злоумышленнику могут попасть и персональные данные пользователя: его фотографии, переписки и другое, и данные, вводимые с клавиатуры.

### **4. Основные способы защиты персональных данных в сети**

Рассмотрим основные способы защиты персональных данных, которые целесообразно применять на практике.

*Двухфакторная аутентификация*. Двухфакторная аутентификация представляет собой метод идентификации пользователя в сервисе, использующем два различных типа аутентификационных данных. Введение такого дополнительного уровня безопасности обеспечивает более эффективную защиту аккаунта пользователя от несанкционированного доступа злоумышленника. Так, к первому уровню относятся различные пароли, секретные фразы и тому подобное, то есть то, что пользователь запоминает и вводит в систему при соответствующем запросе при аутентификации. Ко второму уровню относится токен, то есть ком-



пактное устройство, находящееся в собственности пользователя. Существуют токены, которые не требуют физического подключения к компьютеру – у них имеется экран, где отображается число, которое пользователь вводит в систему для осуществления входа. Помимо этого для более надежной защиты применяются токены, подключаемые к компьютерам посредством USB и Bluetooth-интерфейсов. На сегодняшний день в качестве токенов могут выступать мобильные телефоны, ставшие неотъемлемой частью жизни людей: в этом случае с помощью специального приложения генерируется пароль или приходит на мобильный телефон SMS с кодом подтверждения – максимально простой и понятный пользователю метод, который некоторые эксперты оценивают как недостаточно надежный.

*Защищённое соединение.* Обмен данными по сети происходит по протоколу HTTP. Данный протокол как устанавливает правила обмена информацией, так и служит транспортом для передачи данных. Не смотря на удобство и популярность настоящего протокола, HTTP у него есть один недостаток: обмен данными осуществляется в открытом виде, следовательно, данные никак не защищены. Для установки безопасного соединения используется протокол HTTPS с поддержкой шифрования. Защиту данных в HTTPS обеспечивает криптографический протокол SSL/TLS, шифрующий передаваемую информацию. По сути этот протокол является оболочкой для HTTP. Он обеспечивает шифрование данных и делает их недоступными для просмотра злоумышленнику. Преимущества протокола SSL/TLS заключается в том, что он позволяет двум незнакомым между собой субъектам сети установить защищённое соединение между ними через незащищённый канал для безопасного обмена данными.

*Использование VPN-сервера, при работе с публичными Wi-Fi-точками.* Виртуальная частная сеть VPN – технология, которая обеспечивает защищенную связь логической сети поверх частной или публичной при наличии высокоскоростного интернета. При подключении через VPN в заголовке сообщения передается информация об IP-адресе VPN-сервера и удаленном маршруте. Инкапсулированные данные, проходящие по общей или публичной сети, таким образом невозможно перехватить, так как вся информация оказывается зашифрованной. Этап VPN шифрования реализуется на стороне отправителя, а этап расшифрования данных – у получателя по заголовку сообщения (при наличии общего ключа шифрования). После правильной расшифровки сообщения между сетями устанавливается VPN – соединение, которое позволяет также работать в публичной сети.

*Уведомление об обработке персональных данных.* Владельцам ресурсов и систем сети Интернет, а также провайдерам с целью защиты интересов граждан и соблюдения принципов и норм российского законодательства нужно детально определять характер информационных процессов по сбору и использованию персональных данных и в обязательном порядке уведомлять пользователей, запрашивая предварительное разрешение пользователя на сбор и обработку его персональных данных.

*Использование сложных и надежных паролей.* На сегодняшний день пароли часто применяются для защиты информации пользователя от несанкционированного доступа злоумышленника. Поэтому именно о пароле необходимо задуматься при создании регистрации на каком-либо сайте в сети Интернет. Дело в том, что в настоящее время подобрать простой пароль не представляет значительной сложности. В связи с данным фактом можно отметить следующие рекомендации по созданию паролей. Во-первых, нельзя никогда использовать один и тот же пароль дважды: злоумышленник, получив доступ к одному из ваших аккаунтов, может автоматически проникнуть и во все остальные, в которых используется этот же пароль для аутентификации. Во-вторых, целесообразно создать собственную стратегию по смене паролей, для того чтобы не запоминать десятки разных комбинаций, а просто немного разнообразить единственный пароль.

*Использование надежных веб-браузеров.* Компания Microsoft в настоящее время является самой одной из главных целей всех кибератак, поэтому не рекомендуется пользователям для доступа в сеть Интернет использовать веб-браузер, выпущенный данной компанией. Целесообразно выбирать более надежные альтернативы: Google Chrome или Mozilla Firefox, ко-

которые могут защитить пользователя от несанкционированного доступа злоумышленника. Для этого необходимо полностью заблокировать всплывающие окна, включить оповещения при попытке зайти на сайт, чья безопасность не подтверждена, заблокировать передачу данных и cookies-файлов третьим сторонам и различным рекламным сервисам, а самое главное – при возможности на всех сайтах выбирать опцию «Не отслеживать», потому что данная опция блокирует для сайтов возможность сбора персональной информации, хранимой на устройстве, подключенном к сети Интернет, или вводимой с клавиатуры.

## 5. Вывод

Таким образом, вопросы защиты персональных данных в сети Интернет в настоящее время являются актуальными. При регистрации на веб-сайтах, требуется ввод персональных данных каждого пользователя (фамилия, имя, отчество, дата рождения и так далее). Для защиты своих данных необходимо регистрироваться только на проверенных веб-сайтах (в целях избежания угрозы злоумышленника), также следует учитывать количество потребителей пользующихся той или иной сетью, не следует отправлять SMS-сообщения, запрашиваемые подозрительными веб-сайтами, с различными кодами, употреблять простые однотипные пароли.

При соблюдении вышеуказанных требований по защите персональных данных, проблемы с их хищением и несанкционированным разглашением будут сведены до минимума.

## Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ «О персональных данных» // СПС «КонсультантПлюс».
2. Приказ ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. N 21 «Об утверждении состава и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных»
3. Волков А., Токаренко А., Царев Е. Персональные данные: от Европы до России.
4. Гаврюшина Н.И. Проблема правовой защиты персональных данных // Актуальные вопросы современного российского права: межвузовский сборник научных статей.-Пенза: Изд-во ПГУ, 2013, Вып 1.

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

А.А. Акилин, А.В. Шкапова, Н.А. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань*

*Аннотация.* Рассматривается сущность и составляющие комплексного подхода к обеспечению защиты информации и анализируются его преимущества по сравнению с избирательным подходом.

*Ключевые слова:* защита информации, комплексная защита информации.

## COMPREHENSIVE APPROACH TO INFORMATION PROTECTION

A.A. Akilin, A.V. Shkapova, N.A. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russian Federation, Ryazan*

*Abstract.* The article considers the entity and the components of comprehensive approach to information protection. The advantages over selective approach are analyzed.

*Keywords:* information protection, comprehensive information protection.

## 1. Введение

В настоящее время увеличивается доля специалистов узкого профиля, что вызвано переходом к новой системе высшего образования. Однако подготовка специалистов по защите информации в ведущих университетах России осуществляется с применением как современных, так и традиционных образовательных программ. В результате услуги по защите информации оказываются с применением двух подходов – комплексного и избирательного. В данной статье рассматриваются преимущества комплексного подхода к обеспечению защиты информации.

## 2. Комплексный подход к обеспечению защиты информации

Защита информации, как и любая другая деятельность, включает в себя различные составляющие. В рамках данной статьи будем разделять защиту информации на:

1. Правовую защиту информации;
2. Физическую защиту информации;
3. Техническую защиту информации;
4. Криптографическую защиту информации;
5. Программно-аппаратную защиту информации.

Правовая защита информации – это защита информации, осуществляемая правовыми методами.

Правовой защитой информации занимаются органы законодательной власти и специальные ведомства. Они разрабатывают законодательные и нормативные правовые акты (документы), регулирующие отношения, возникающие между субъектами в процессе обеспечения защиты информации. Примерами таких документов могут служить федеральные законы № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [1], № 152-ФЗ «О персональных данных» и др.

Под физической защитой информации понимается защита информации, осуществляемая путём создания препятствия для физического доступа к ней.

Физическая защита информации включает в себя как организационные меры, например установление пропускного режима, так и собственно физические – применение турникетов, сейфов и т. д.

Под технической защитой информации в данной статье понимается защита информации от утечки по техническим каналам.

В качестве примеров технической защиты информации можно привести использование генераторов шумов, обеспечивающих защиту от подслушивания, экранирование помещений и пр.

Под криптографической защитой информации понимается защита информации с помощью её криптографического преобразования, т.е. зашифрования.

В результате такого преобразования данные превращаются в бессмысленный набор символов, извлечь информацию из которого может только легальный пользователь, обладающий специальным ключом. На начальном этапе развития криптографии зашифрование информации осуществлялось вручную, однако сейчас существует значительное количество программных криптосредств.

Под программно-аппаратной защитой информации в данной статье понимается защита информации некриптографическими методами с помощью программных, аппаратных или программно-аппаратных средств.

Примерами программно-аппаратных средств защиты информации могут служить программные системы разграничения доступа, системы обнаружения вторжений, антивирусные программы и пр.

Комплексная защита информации – есть сбалансированное применение методов и средств правовой, физической, технической, криптографической и программно-аппаратной защиты информации для обеспечения необходимого уровня защиты информации.

Существуют другие варианты разделения защиты информации на составляющие, например [2] расширяет понятие технической защиты информации, фактически объединяя её с программно-аппаратной защитой информацией. Однако различные варианты выделения составляющих защиты информации в рамках данной статьи не будут противоречить друг другу, поскольку будет рассматриваться их комплексное применение, которое не зависит от того, какие именно составляющие и каким образом были выделены. Поэтому в настоящей статье будем придерживаться рассмотренной выше терминологии.

### **3. Основные недостатки избирательного подхода к обеспечению защиты информации**

Избирательным (в противовес комплексному) подходом к обеспечению защиты информации назовём такой подход, при котором преимущественное внимание уделяется от-

дельным составляющим защиты информации при отсутствии или недостаточном внимании к другим составляющим.

В настоящее время существует большое количество стандартов безопасности, как отечественных, так и зарубежных. Все эти стандарты содержат одно общее правило: объект имеет защиту определенного уровня тогда и только тогда, когда он удовлетворяет всем необходимым требованиям безопасности для этого уровня. Если хотя бы одно из требований не выполняется, то такой объект не имеет защиты данного уровня. Подобное правило находит применение со времен появления первых стандартов безопасности (например, «Trusted Computer System Evaluation Criteria» так же известный как «Оранжевая книга») по настоящее время.

Таким образом, избирательный подход не обеспечивает минимально гарантированный уровень защиты в соответствии с этими стандартами. Проиллюстрируем низкую эффективность такого подхода на конкретных примерах.

Одним из таких примеров может служить информационная система, рассмотренная в [3]. Такая система является изолированной, то есть отключенной от сетей обмена информацией, и следовательно защищенной от сетевых угроз. Кроме того в этой системе используется программно-аппаратное средство защиты информации, реализующее разграничение доступа, защиту от изменения аппаратной конфигурации системы и выполняющее другие типовые функции. Также в данной системе применяется средство криптографической защиты информации, которое обеспечивает хранение защищаемой информации в зашифрованном виде и расшифрование информации для её обработки легальным пользователем. Помещение, в котором находится защищаемая система (ЭВМ), оборудовано сигнализацией, системой видеонаблюдения, а на территории помещения установлен пропускной режим, т. е. обеспечена физическая защита. Тем не менее такая ЭВМ не может считаться защищенной, поскольку не применены меры технической защиты информации. Каждая ЭВМ, во время своей работы, испускает побочные магнитные излучения (ПЭМИ). Злоумышленник, с помощью специальных технических средств, может перехватить эти излучения и извлечь из них защищаемую информацию. Это говорит о значительной функциональной неэффективности такой системы защиты. Более того, затраты материальных средств на обеспечение программно-аппаратной и криптографической защиты информации сколь угодно высокого уровня не увеличивают эффективности защиты данной системы, поэтому можно также сделать вывод и о её экономической неэффективности.

Рассмотрим другой пример. Защищаемая ЭВМ находится в экранированном помещении, оборудованном генераторами шумов и другими средствами технической защиты информации. Также ЭВМ оборудована средствами высоконадежной программной защиты информации, однако не оборудована аппаратными. Злоумышленник может получить физический доступ к автоматизированной системе, подкупив обслуживающий персонал. Поскольку отсутствует контроль аппаратной целостности, возможно похищение физического носителя информации (жесткого диска) с последующим получением доступа к информации в обход программных средств защиты. Такой доступ возможен, например, при обращении к физическому носителю с помощью средств другой операционной системы, не содержащей средств защиты. Криптографическое средство защиты информации может предотвратить это, однако если ключевые документы хранятся на том же носителе, то злоумышленник аналогичным образом получит доступ сначала к ним, а затем и к защищаемой информации. Таким образом недостаточное внимание к организационным мерам физической защиты, а так же аппаратным средствам защиты сводит на нет эффективность программных и технических средств.

#### **4. Основные преимущества комплексного подхода к обеспечению защиты информации**

Комплексный подход к обеспечению защиты информации позволяет преодолеть недостатки избирательного подхода. К основным преимуществам комплексной защиты информации можно отнести:

*1.Повышение гарантированного уровня защищенности информации.*

Как было сказано выше, каждый стандарт безопасности определяет уровень защищенности объекта защиты на основании требований, которым удовлетворяют все элементы объекта. При повышении уровня защищенности каждого элемента объекта, а не отдельных его элементов, уровень защищенности объекта также повышается.

### *2. Более высокая экономическая эффективность.*

При равномерном распределении финансовых средств каждое вложение увеличивает эффективность системы защиты в целом. При избирательном подходе это происходит не всегда, как это было продемонстрировано в примере выше.

### *3. Более высокая эффективность взаимодействия составляющих системы защиты.*

Различные составляющие комплексной системы защиты информации могут взаимодействовать друг с другом. Например, если пользователь сделает несколько неуспешных попыток ввести свой пароль, возможно включение сигнализации и блокирование дверей помещения. Для этого средства программно-аппаратной и физической защиты должны поддерживать такую возможность, а это осуществимо только при применении комплексного подхода.

Применение комплексного подхода не должно означать уменьшение внимания к каждому отдельному компоненту системы защиты. Для создания высокоэффективной системы защиты необходима координация усилий инженеров узкого профиля под руководством специалистов широкого профиля.

Также следует помнить что создание абсолютно защищенной системы невозможно, и уровень защиты системы измеряется временем и средствами, затраченными на преодоление этой защиты. Кроме того, чем более высокой степенью защиты обладает система, тем большие сложности будут возникать у операторов такой системы. Все это необходимо учитывать при оказании услуг по защите информации.

## **Библиографический список**

1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения.
3. Панченко А.А. Особенности оценки эффективности блокирования узкополосных аналоговых и широкополосных цифровых радиосигналов с помощью генератора электромагнитного шума. // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 [текст]: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 т. Т.2./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2016; Рязань. - С. 93-96.

УДК 004.42; ГРНТИ 20.53.19

## **АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ИГРОВЫХ СИТУАЦИЙ**

**А. Михайлов**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Российская федерация, Рязань, lexpest08@gmail.com*

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены варианты практической реализации некоторых средств визуализации при моделировании игровых ситуаций на примере авторского проекта "WindSoul".

*Ключевые слова:* игровая ситуация, визуализация, моделирование

## **APPLICATION ASPECTS OF VISUALIZATION TOOLS IN GAME SITUATIONS MODELLING**

**A. Mikhaylov**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russian Federation, Ryazan, lexpest08@gmail.com*

*Abstract.* In this paper the variants of implementing of certain visualization tools in the simulation of game situations on the example of the author's project "WindSoul" have been considered.

*Keywords:* game situation, visualization, simulation

## **1. Введение**

Авторский проект с кодовым названием «WindSoul» является компьютерной реализацией популярной игры для двух игроков «Морской бой». Для проектирования за основу были взяты классические правила. Первая версия игры разработана на языке Turbo Pascal в Turbo (DOS) среде, она полностью функционирует и в графическом виде отображает и предоставляет пользователю взаимодействие с программой на протяжении всего игрового процесса, при этом возможно использование нескольких режимов игры.

Кратко математическую модель игры можно описать следующим образом.

Для каждого из игроков существует поле, представляющее собой двумерную матрицу 10 на 10 элементов. Каждый элемент матрицы представляет собой объект-клетку, который имеет 2 обязательных атрибута: «Уничтожена ли клетка» (атрибут равен «D», если клетка уничтожена) и «Содержится ли в клетке корабль» (атрибут равен «X», если корабль содержится в клетке, атрибут равен «A», если клетка пуста). Корабли размещаются в соответствии с определенными правилами, клетки, где размещены корабли, помечаются атрибутом «X». Все пустые клетки помечаются атрибутом «A». Во время боевых действий выбирается любая неуничтоженная (т.е. не имеющая атрибута «D») клетка, проверяется наличие в ней корабля и ставится атрибут «D». Как только все элементы матрицы с атрибутом «X», принадлежащей игроку P, помечаются атрибутом «D», игрок считается проигравшим, а его противник – победителем.

Помимо алгоритма, отвечающего непосредственно за игровой процесс, необходимо реализовать графический интерфейс и отображение этого игрового процесса, т.е. его визуализацию. Данная задача при поставленном обязательном условии написания решения только на Turbo Pascal и последующем исполнении в Turbo (DOS) среде усложнялась несколькими факторами:

- встроенные функции и процедуры, входящие в состав графического модуля Graph, предполагали лишь отрисовку на экране графических примитивов (прямоугольник, круг, линия, пиксель и т.п.), чего явно недостаточно для создания красивого пользовательского интерфейса, который по моему мнению должен не только соответствовать основным принципам проектирования программных интерфейсов, но и выглядеть эстетично [1];
- ограничения памяти для исполняемой программы в прим. 624 Кб, при возможности загрузку спрайтов из файлов необходимо осуществлять по частям с одновременной отрисовкой [4];
- отсутствие штатной подсистемы графических «слоев» [3];
- для графического режима после тестирования десятка различных драйверов и графических режимов было решено использовать SVGA256, в разрешении 640x480 пикселей и с 256 цветами (единственным ограничением данного режима была возможность работы только с одной видеостраницей (для большего количества не хватает памяти)).

## **2. Применение средств визуализации**

Было принято решение об использовании в проекте красивых заранее заготовленных 2D-спрайтов из файлов с динамической подгрузкой. Время разработки существенно увеличилось за счет подготовки 2D-спрайтов, которые были нарисованы и адаптированы вручную для корректного отображения в Turbo-среде (рис. 1). Адаптация включала в себя, главным образом, уменьшение разрешения и оптимизацию количества используемых цветов (с ограничением в 256 цветов).

Графические файлы для вывода на экран загружаются из bmp-файлов. Для этого используется специальный модуль. Все bmp-файлы состоят из двух частей: заголовочная часть, где описаны параметры изображения, и непосредственно изображение, описание каждого пикселя, причем в порядке «снизу-вверх». Модуль обрабатывает файл и одновременно со считыванием данных о пикселях сразу же производит отрисовку. Но из-за особенностей заголовочной части bmp-файла, содержащего служебную информацию о контенте, и реализацию вывода его на экран в соответствующем модуле на экране рядом с изображением появлялись графические артефакты в виде черных полос. Избавление от них послужило дополнительным стимулом реализовать систему графических псевдо-слоев. Так как в выбранном ре-

жиме работы памяти хватает лишь для одной видеостраницы и отсутствует подсистема работы со слоями, а некоторые элементы интерфейса (например, корабли) должны находиться на переднем плане и при необходимости должны быть убраны, а то, что было на заднем плане, вновь отрисовано, то было решено дополнить алгоритм рендеринга следующим образом. Для практически всех элементов, которые выводятся на переднем плане поверх других элементов, существует графический буфер `graphBuffer`, который представляет собой нетипизированный указатель. В процессе вывода этого элемента на экран, для `graphBuffer` выделяется память процедурой `GetMem`, соответствующая размеру области, занимаемой объектом, и в него копируется содержимое этой области процедурой `GetImage`. При удалении объекта с экрана содержимое `graphBuffer` выводится на экран процедурой `PutImage`, а память, занимаемая `graphBuffer` освобождается с помощью процедуры `FreeMem` [3, 4].

Математическая матричная модель воплощена в виде сетки для двух игроков на красивом морском пиксельном фоне, средства управления выполнены в соответствующем «пиратском» стиле, и это всё – в 256-цветном режиме (рисунки 2 и 3). Несмотря на хорошее внешнее впечатление реализованного инструментария визуализации, среди существенных недостатков стоит отметить невозможность реализации анимаций, которых очень не хватает. Анимации являются важнейшей частью пользовательского интерфейса, также играют огромную роль в иллюстрации разных игровых ситуаций, например, взрыв корабля или их расстановка. От анимаций пришлось отказаться по причине использования в проекте музыки, так же динамически воспроизводящейся из файлов; так как в Turbo Pascal нет реализации многопоточности, воспроизведение происходит в цикле, использование `Delay()` для анимации спрайтов недопустимо. Без `Delay()` анимации проигрываются настолько быстро, что их даже не видно.

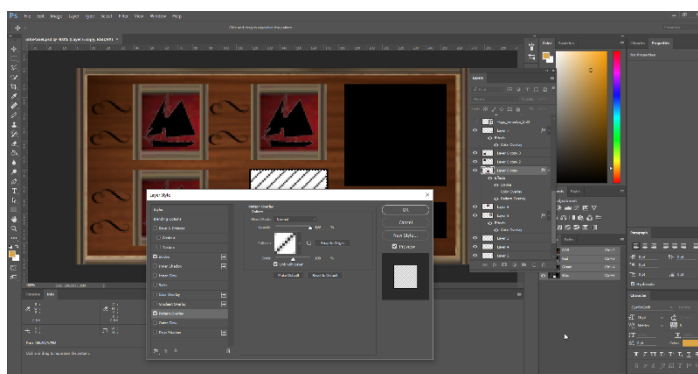


Рис. 1. Скриншот из Adobe Photoshop, работа над спрайтами интерфейса информационной панели

После реализации пилотной версии игры была проработана идея о переносе игры на современные платформы и современный движок, при сохранении относительной совместимости со старой DOS-версией и расширении её функционала и получаемого игрового опыта с помощью специально написанной программы-оболочки. Это позволит, в частности, реализовать «псевдо-многопоточность». При этом интерфейс должен соответствовать платформе по удобству, «эпохе» по эстетичности и желательно иметь некоторые дизайнерские тонкости. Ведь это именно та самая часть программы, самая близкая к пользователю, ведь непосредственно через нее происходит взаимодействие с программой.

Для DOS-версии была использована дизайнерская концепция «деревянного» интерфейса, как можно более соответствующего и эпохе парусных судов и морских пиратов 17 века, и общей тенденции эпохи старых DOS-овских игр быть как можно более красочными (рисунки 4 и 5) [2]. В “WindSoul Remastered” версии решено было полностью использовать современные дизайнерские «фишки» и тенденции, такие как минимализм, простота, несложные быстрые анимации, частое, но разумное использование прозрачности [1]. На рисунке 6 и 7 представлены прототипы интерфейса. Необходимо обратить внимание прежде всего на размытие заднего фона, что усиливает эффект простоты и минимализма, однако делает интерфейс более ярким в восприятии. Кнопки также преобразились.





Рис. 2. Первый прототип экрана игрового процесса



Рис. 3. Экран игрового процесса в версии 0.8 for Beta Testing

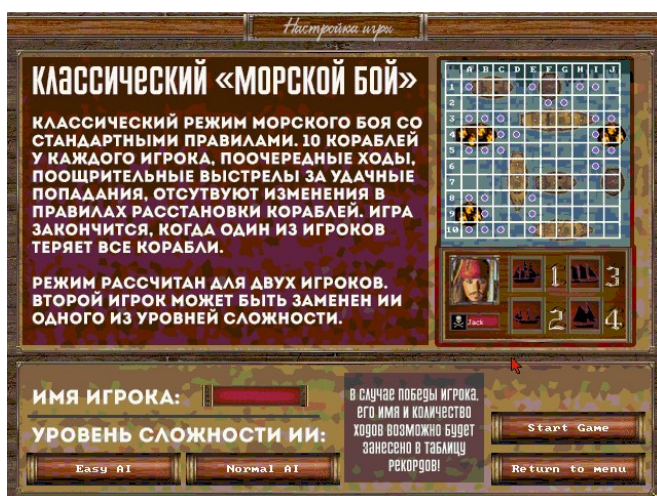


Рис. 4. Экран главного меню финальной версии игры



Рис. 5. Экран настроек игровой сессии в версии 0.9 Prerelease

Десятилетиями менялся дизайн, и в моде крупные элементы управления с минимумом информации и крупными пиктограммами. Авторским развитием этой идеи следует считать простой и минималистичный вид элементов интерфейса в «idle»-состоянии и выдача более подробной информации при наведении на нее, таким образом и пространство, занимаемое этой кнопкой, задействуется более эффективно (рис. 8). Экран игрового процесса также претерпел значительные изменения. Теперь это трехмерная сцена с моделями кораблей вместо спрайтов, с анимациями выстрелов, повреждений и т.п. (рисунки 9 и 10). Необходимо полностью использовать возможности 3D-движка, грамотно реализованные средства визуализации игровых ситуаций оказывают огромное влияние на пользовательский опыт, но здесь необходимо строго соблюдать стилистику и не позволять этим средствам оказывать чрезмерное влияние на производительность [1, 2].

На данный момент проект находится в стадии активной разработки. Но уже намечены основные правила построения интерфейса и выбор средств визуализации игрового процесса.





Рис. 6. Прототип экрана главного меню современной версии игры

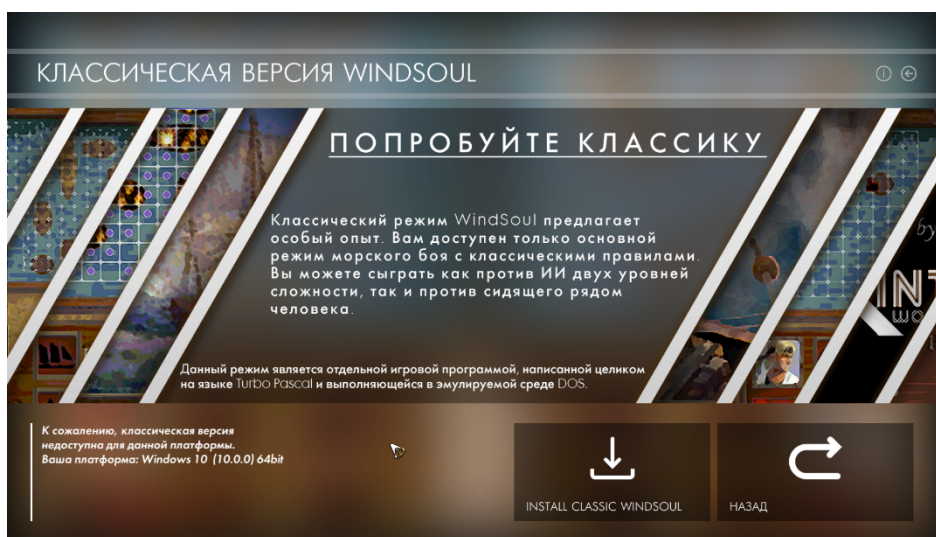


Рис. 7. Прототип экрана установки и запуска DOS-версии игры

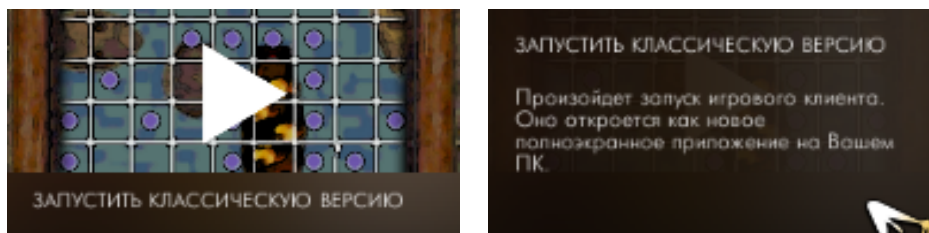


Рис. 8. Два состояния кнопки

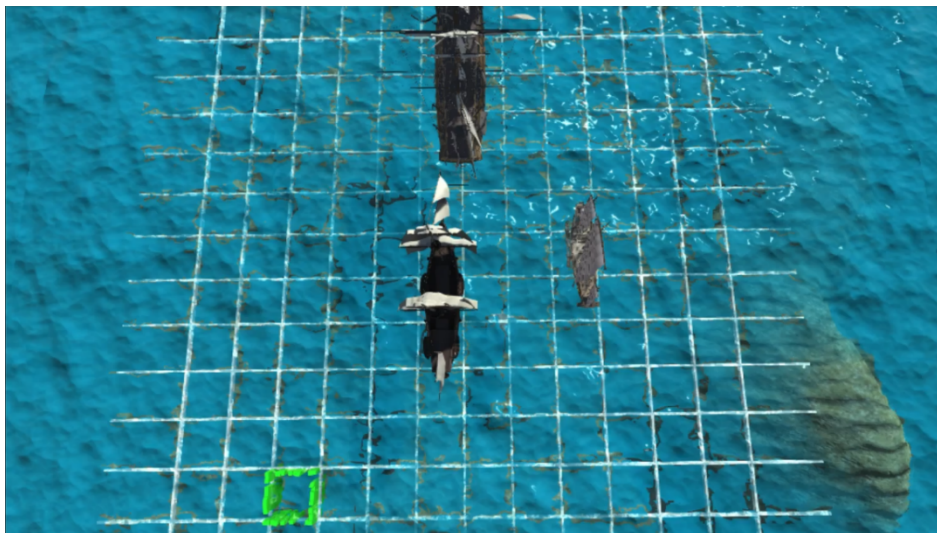


Рис. 9. Демосцена игрового процесса. Этап расстановки кораблей

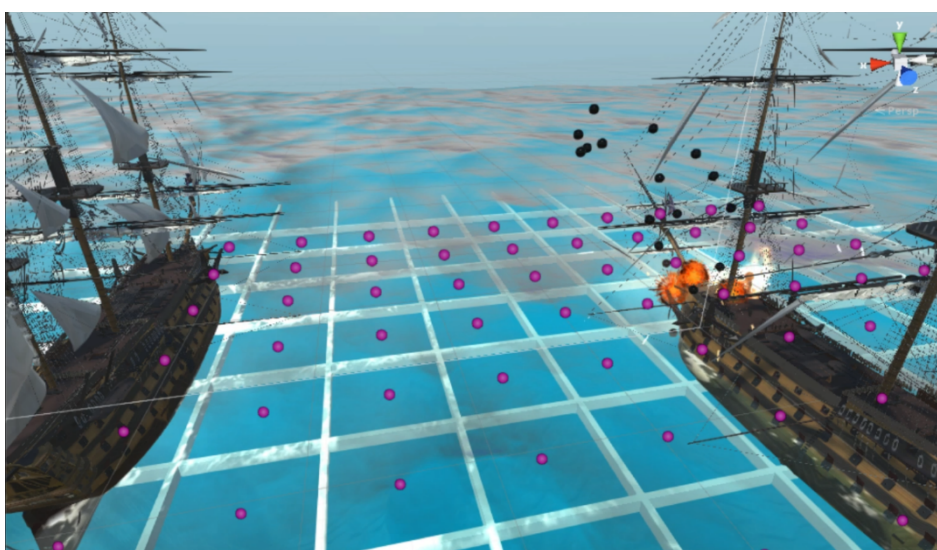


Рис. 10. Демосцена игрового процесса. Демонстрация эффектов повреждений и выстрела

### Выводы

По результатам применения средств визуализации при моделировании игровых ситуаций для авторского проекта “WindSoul” можно сделать вывод о целесообразности их грамотного проектирования и воплощения. При этом при проектировании должны быть учтены такие факторы как целевая аудитория приложения, примеры и сценарии использования, а также современные дизайнерские тенденции. Проект безусловно будет развиваться и дальше, впереди работа по созданию новых режимов, разработка новой концепции-«паттерна» визуализации и наполнение контентом.

### Библиографический список

1. Купер А. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. 4-е изд. Издательство «Питер». 2017. 720 с.
2. Уильямс Р. Дизайн. Книга для недизайнеров. 4-е изд. [Электронный вид]. 2016. 192 с.
3. Веб-ресурс «Всё о Паскале». URL: <http://pascal.net.ru/> дата последнего обращения: 25.12.2016.
4. Bill McDaniel. An Introduction to Turbo Pascal Object Oriented Programming. 1992. URL: <http://www.comsc.uco.edu/~mcdaniel/cam/tpoop.html> дата последнего обращения: 10.12.2016.

## **ГАРАНТИРОВАННОЕ УНИЧТОЖЕНИЕ И ЗАТИРАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

**Ю.М. Кузьмин, А.В. Шкапова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, kuzmin\_yurii@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе описаны особенности работы с программными средствами гарантированного уничтожения информации и затирания места на носителе, занимаемого файлами с информацией.

*Ключевые слова:* информация, данные, удаление, затирание, гарантированное

### **DATA ERASURE AND DATA CLEARING BY PROGRAMS**

**Y.M. Kuzmin, A.V. Shkapova**

*Ryazan State Radioengineering University,  
Russia, Ryazan, kuzmin\_yurii@mail.ru*

*Abstract.* This paper deals with the features of using programs for data erasure and data clearing.

*Keywords:* information, data, clearing, erasure

#### **1. Введение**

Существует несколько причин для уничтожения файлов с ценными (по мнению владельца) данными, хранящимися на носителе данных, и затирания места на носителе, занимаемого такими файлами после их уничтожения. В случае личной информации к таким причинам можно отнести:

- передача владельцем съемного носителя с ценной информацией другому лицу;
- передача компьютера, включающего жесткий диск с ценной информацией, другому лицу или организации;
- сдача съемного носителя информации или компьютера, включающего жесткий диск с ценной информацией, в ремонт;
- другие причины.

Проблема состоит в том, что после удаления файла с информацией штатными средствами или после редактирования файла (когда он изменяется в размере) на носителе информации остаются «следы», включающие:

- сам файл (его содержимое);
- временные копии файла;
- фрагменты файла.

По этим «следам» с помощью разнообразных программ восстановления информации (R-Studio, GetDataBack, EasyRecovery) можно достаточно легко восстановить содержимое удаленного файла полностью или частично (даже после полного форматирования или уничтожения раздела на носителе, например, средствами Acronis Backup).

Поэтому относительно информации ограниченного доступа (государственная тайна, конфиденциальная информация) в данной ситуации действуют строгие требования руководящих документов по защите информации. Так согласно ГОСТ Р 50739-95 «Средства вычислительной техники. Защита от несанкционированного доступа к информации. Общие технические требования» комплекс средств защиты информации должен осуществлять гарантированную очистку оперативной и внешней памяти при ее освобождении и перераспределении путем записи маскирующей информации в память.

#### **2. Сертифицированные программные средства удаления и затирания информации**

В соответствии с указанными выше требованиями для гарантированного уничтожения конфиденциальной информации обычно рекомендуется использовать программу поиска и гарантированного уничтожения информации на дисках «Terrier» версии 3.0" (далее «Terrier»), сертифицированную ФСТЭК России. С помощью данной программы можно:

- сформировать (вручную или из заранее подготовленного файла) список ключевых слов (для поиска файлов с конфиденциальной информацией);

- гарантированно в автоматическом режиме или с подтверждением стереть все найденные ключевые слова (из списка) во всех файлах, где эти слова содержатся (стирание производится записью на место ключевого слова символов 0x00, 0xFF и снова 0x00);

- найти (для уничтожения) все файлы, содержащие ключевые слова из списка.

После того, как «Terrier» удалит все найденные ключевые слова, файлы, где эти слова находились, останутся на носителе, но вместо символов заданных ключевых слов будут записаны символы 0x00 (ноль).

С использованием последней из перечисленных выше функциональной возможности «Terrier» рекомендуется следующая последовательность уничтожения данных:

- а) с помощью «Terrier» производится поиск всех заданных ключевых слов;
- б) с помощью «Terrier» производится поиск файла, содержащего ключевые слова;
- в) с помощью программных средств защиты информации (Secret Net 7, Dallas Lock 7.5) и других (Paragon Hard Disk Manager 15) производится удаление файла с данными ключевыми словами и гарантированно затирается свободное пространство диска;
- г) действия пунктов а), б) и в) повторяются до полного уничтожения информации с нужными ключевыми словами.

Для гарантированного уничтожения (затирания) данных в программах удаления (затирания) данных могут использоваться следующие способы:

- простое обнуление (запись нулей на место данных);
- DoD 5220.22-M (замена данных числами из спецификации циклами от 3 до 7 раз);
- алгоритм Гутмана (замена данных числами из спецификации циклами до 35 раз).
- алгоритмы из национальных стандартов: российского ГОСТ Р 50739-95, стандарта Министерства обороны США US DoD 5220.22-M, военно-морского стандарта США NAVSO P-5239-26, немецкого VSIIR, британского HMG Infosec No.5, австралийского ASCI 33 и др.

«Terrier», к сожалению, имеет ряд функциональных ограничений, не позволяющих его использовать для решения поставленной задачи:

- позволяет стирать с диска только найденные ключевые слова;
- гарантированное уничтожение найденных ключевых слов осуществляется только под управлением ОС Windows 98, Windows NT 4.0, Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003;
- позволяет определить имя и расположение файла, содержащего найденное ключевое слово, только для файловых систем типа FAT12, FAT16, FAT32 (которые в настоящее время встречаются только на дискетах и флэш-накопителях, но не на жестких дисках);
- не содержит функций по полному стиранию с диска остаточной информации.

Гарантированно затирать данные позволяет другое сертифицированное ФСТЭК России программное средство защиты информации - Secret Net версий 6 и выше.

Для гарантированного уничтожения (затирания) данных в Secret Net необходимо:

1. В настройке «Управлении Secret Net» на вкладке «Защитные механизмы Secret Net» включить затирание данных (см. ниже рис. 1)

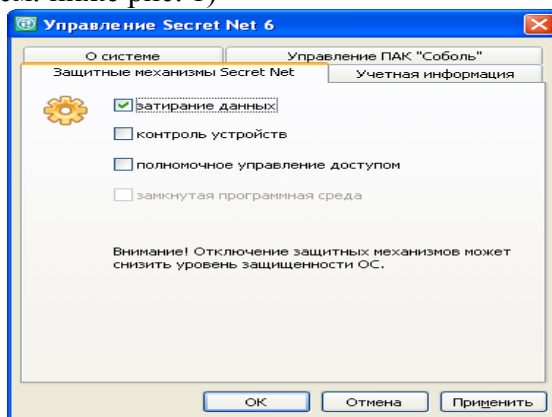


Рис. 1. Управление Secret Net



2. В настройке «Локальная политика безопасности» выбрать «Параметры Secret Net» и «Настойки подсистем» (см. ниже рис. 2).

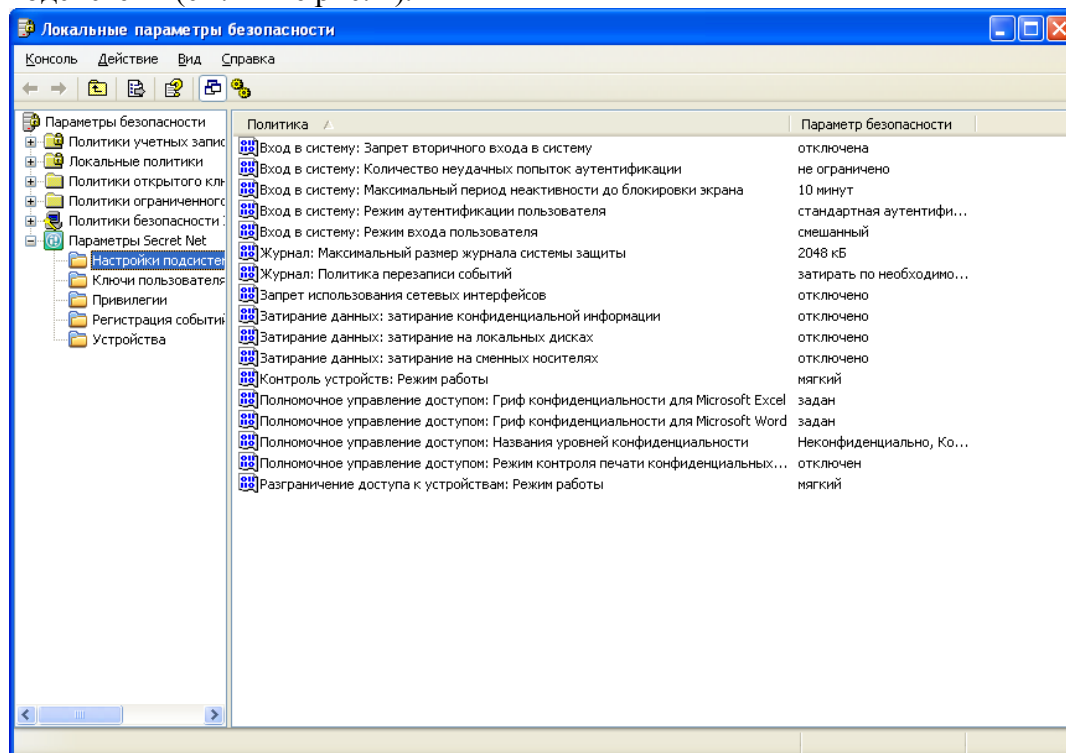


Рис. 2. Локальные параметры безопасности

3. Включить затирание конфиденциальной информации, затирание на локальных дисках и затирание на сменных носителях (см. ниже рис.3).

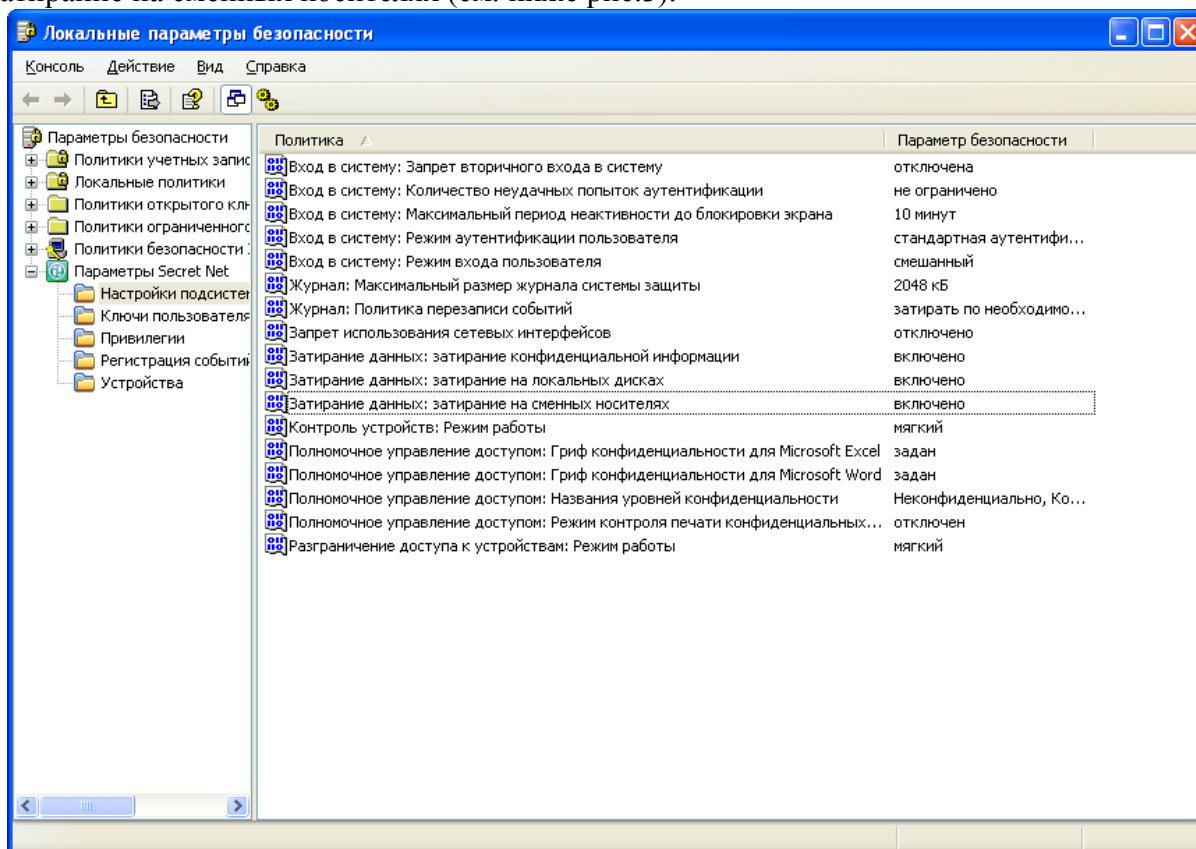


Рис. 3. Включенные параметры затирания данных

После этого Secret Net при каждом удалении файлов гарантированно затирает свободное пространство носителя заданное число раз. При этом восстановить удаленный файл с помощью программ восстановления информации (типа R-Studio) будет можно, но содержимое его будет безвозвратно уничтожено (потеряно).

### 3. Бесплатные программные средства удаления и затирания информации

Информация о наиболее широко используемых бесплатных программах уничтожения и затирания информации на носителях, функционирующих в среде Windows, представлена ниже в таблице 1.

Таблица 1 - Бесплатные программы удаления и затирания информации

Название	Возможности	
	Удаляет данные	Затирает свободное пространство
CCleaner	Да	Да
Eraser	Да	Да
File Shredder	Да	Да
Freeraser	Да	

Для решения тех же задач, но в Linux-подобной среде, можно указать следующие средства:

а) команду shred

Эта команда реализована, например, в Ubuntu Linux. Будучи запущенной без параметров

shred <имя файла или путь к файлу>

эта команда физически затирает занимаемое файлом (имя которого указано) место, но не удаляет сам файл. Поэтому для затирания с удалением надо при запуске команды указать:

- параметр (ключ) `-u` (в виде «-u»);

- число циклов перезаписи содержимого файла случайными числами (в виде «`n 99`»), где 99 - число циклов перезаписи (по умолчанию 25).

В этом случае команда shred и удалит файл, и заполнит место, отведенное под него, случайными числами заданное число раз.

б) команду wipe

Команда shred, к сожалению, не позволяет гарантированно уничтожать каталоги (папки). Но это может выполнить команда wipe:

wipe -rf <имя каталога или путь к каталогу>.

## УЯЗВИМОСТИ И ЗАЩИТА ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

**И. Савин**

*Тульский государственный университет,  
Россия, Тула, ne@ilyasavin.ru*

*Аннотация.* В данной работе рассматриваются наиболее актуальные на сегодняшний день уязвимости веб-приложений с высокой степенью вероятности реализации атаки. Приведены способы защиты для нейтрализации перечисленных угроз.

*Ключевые слова:* веб-приложение, веб-ресурс, подбор паролей, утечки информации.

## THE VULNERABILITIES AND WEB APPLICATION PROTECTION

**I. Savin**

*Tula State University,  
Russia, Tula, ne@ilyasavin.ru*

*Abstract.* This article gives us the information about the most actual vulnerability of web applications with a high degree of probability of an attack. There are some protection methods to removal these threats.

*Keywords:* web-application, web-resource, password brute force, information leakage.

## 1. Введение

Сложно представить современную организацию, у которой не было бы своего официального сайта или странички на веб-ресурсе. Корпоративные приложения, требующие установки и обновления программного обеспечения, уходят в прошлое. Веб-технологии позволяют значительно упростить бизнес-процессы. Однако проникновение в информационную корпоративную среду через уязвимости веб-приложений является одним из самых распространённых способов проникновения в корпоративную сеть. Поэтому обеспечение безопасности веб-приложений является одной из приоритетных задач служб информационной безопасности современных компаний.

## 2. Наиболее распространённые уязвимости

В результате проведения специалистами по информационной безопасности исследований, касающихся безопасности веб-приложений, был сделан вывод, что каждая третья найденная угроза критически опасна (34%) [1]. А большинство обнаруженных уязвимостей имеют средний уровень риска (62%). На рисунке 1 показана доля уязвимостей в зависимости от степени риска.

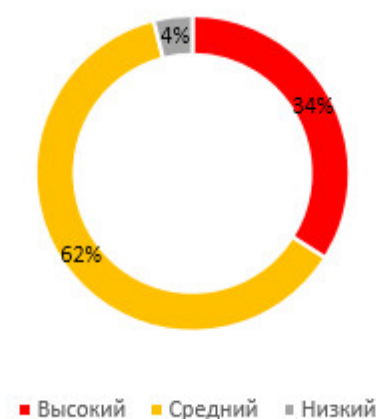


Рис. 1. Доля уязвимостей в зависимости от степени риска

В последние годы особое распространение получила уязвимость среднего уровня «Межсайтовое выполнение сценариев» (Cross-Site Scripting, XSS). Она была найдена в коде 80% исследованных ресурсов. XSS позволяет злоумышленнику внедрить клиентский сценарий в web-страницы, просматриваемые другими пользователями [2]. Таким образом у атакующего появляется возможность получить идентификатор сессии жертвы и нанести ущерб безопасности, например провести фишинговую атаку.

На втором месте – утечки информации. Эта уязвимость выявлена у 50% веб-приложений. В эту группу входят:

- 1) персональные и учетные данные;
- 2) фрагменты исходных кодов;
- 3) конфигурации серверов и т.д.

Такие данные особенно ценны для злоумышленника при планировании и проведении атак.

Почти половина веб-приложений содержат уязвимости, связанные с подбором паролей методом грубой силы (Brute Force). Цель такой атаки заключается в получении доступа к учетным записям путём многократных попыток подбора пароля.

Большая доля недостатка высокого уровня у уязвимости «Внедрение внешних сущностей XML» (XML External Entities). Занимая 4-е место по распространённости, ошибка позволяет атакующему получить доступ к файлам, находящимся на сервере жертвы, данные об открытых сетевых портах узла, либо отправлять запросы в локальную сеть от имени атакуемого сервера. Такая уязвимость может привести к разглашению конфиденциальной информации, получению злоумышленником исходных кодов приложения, файлов конфигураций и другой информации о системе.

Уязвимость низкого уровня риска «Идентификация программного обеспечения» (Fingerprinting) была обнаружена у 30% веб-приложений. Используя её, злоумышленник получает необходимую информацию об используемом программном обеспечении и может планировать на какие уязвимости он будет воздействовать.

На рисунке 2 изображены самые распространённые уязвимости, обнаруженные на наибольшем количестве сайтов.

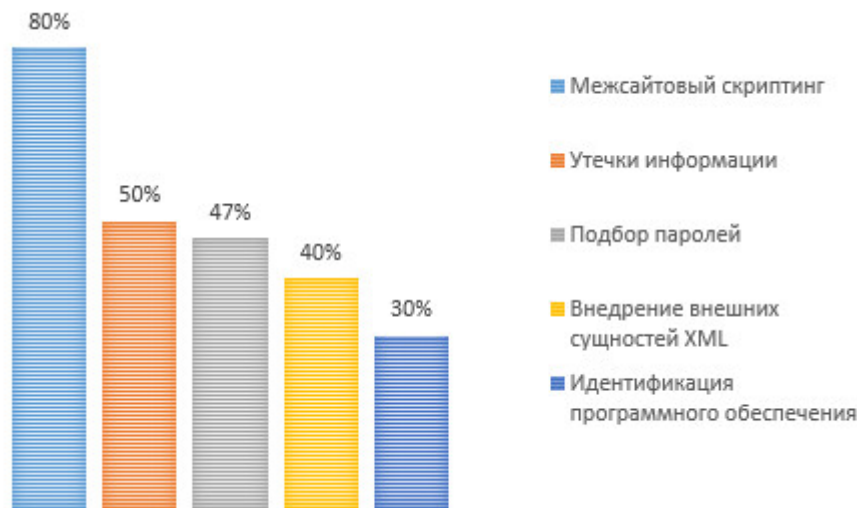


Рис. 2. Наиболее распространённые уязвимости (доля сайтов)

### 3. Защита от уязвимостей

Для обеспечения стойкого защитного контура необходим комплексный подход. Проведение аудита собственного веб-приложения и принятие комплекса мер по предотвращению использования наиболее популярных уязвимостей в значительной степени может снизить риск проведения атаки на веб-приложение, а также уменьшить вероятность дальнейших потерь.

Для защиты от межсайтового скриптинга необходимо перед работой с входными данными пропустить их через фильтр и заменить опасные символы безопасными:

```
$filter = array("<", ">");  
$_GET['q'] = str_replace($filter, "|", $_GET['q'])
```

На этом примере показан способ защиты только одной переменной, но на практике будет необходимо пропускать через подобный фильтр все входные параметры на всех страницах с XSS уязвимостями.

Альтернативным рубежом защиты может стать использование штатных PHP функций:

- 1) strip\_tags() - удаляет все HTML-теги, кроме допустимых;
- 2) htmlspecialchars() - заменяет все спецсимволы на их HTML-аналоги.

Чтобы защититься от утечек информации, необходимо, как минимум, использование DLP-систем. Они анализируют потоки данных и при обнаружении в этом потоке конфиденциальной информации предотвращают её передачу. Хорошим дополнением будет инструктаж персонала в вопросах информационной безопасности.

Для защиты от подбора паролей методом грубой силы (Brute Force) необходимо использовать сложные пароли. Для того, чтобы пароль было сложно подобрать, необходимо увеличить его стойкость. Стойкость увеличивается, если пароль:

- 1) не содержит персональных данных: имени, даты рождения, номера автомобиля – такие пароли считаются слабыми;
- 2) его длина составляет не менее 8 символов. Больше- лучше;
- 3) содержит в себе заглавные буквы и специальные символы;
- 4) изменяется как минимум 2 раза в год.



Атаке «Внедрение внешних сущностей XML» подвержены 40% исследуемых веб-сайтов. Для записи спецсимволов в XML используются сущности-именованные данные, как правило текстовые. Они делятся на 3 категории:

- 1) внутренние;
- 2) внешние;
- 3) предопределенные.

Для защиты от такой атаки достаточно запретить использование внешних сущностей.

Чаще всего хакерская атака начинается с fingerprinting – сбора информации о точной версии операционной системы и публичных сервисов. Для того, чтобы не допустить использование такой уязвимости необходимо:

- 1) закрыть неиспользуемые сетевые порты;
- 2) настроить систему таким образом, чтобы она не отвечала на пакеты, пришедшие на закрытый порт;
- 3) нормализовать сетевой трафик для отброса пакетов с нестандартными функциями;
- 4) запретить прохождение АСК-пакетов для неустановленных соединений.

Для проведения аудита веб-приложения следует применять две основные модели нарушителя:

- 1) злоумышленник из сети Интернет, который не владеет информацией об атакуемой системе и правами доступа;
- 2) злоумышленник из сети Интернет, которому известна информация об атакуемой системе и распределении прав доступа.

По итогам проведенного аудита необходимо сформировать отчет, который должен содержать:

- 1) полное представление о безопасности тестируемого веб-приложения;
- 2) вероятные векторы атаки, учитывая различные модели нарушителя;
- 3) выявленные уязвимости, особенности и примеры их эксплуатации;
- 4) результаты и оценка рисков эксплуатации найденных уязвимостей
- 5) рекомендации, позволяющие повысить защищенность веб-приложения с учетом всех его особенностей.

### **Выводы**

Большинство приложений позволяют проводить атаки на пользователей. Уязвимость «Межсайтовое выполнение сценариев» была обнаружена в 80% веб-приложений. Каждое второе веб-приложение оказалось не защищено от утечки информации. Атаке подбора паролей грубой силы оказалась неспособна противостоять практически половина из всех изучаемых веб-приложений.

Для предотвращения угроз веб-приложению и несанкционированного доступа к конфиденциальной информации необходим комплексный подход, обязательно включающий в себя защиту от наиболее популярных уязвимостей, а также проведение аудита. Защита от наиболее популярных у злоумышленников уязвимостей, таких как утечка информации, межсайтовое выполнение сценариев, внедрение внешних сущностей XML, уязвимости идентификации программного обеспечения и подбора паролей, должна быть предусмотрена на всех этапах проектирования и разработки. Проведение аудита позволит выявить слабые места в уже существующем веб-приложении и своевременно их устранить.

Невозможно гарантировать абсолютную безопасность веб-приложения, но предприняв указанные меры, устойчивость к взлому можно значительно повысить.

### **Библиографический список**

1. Уязвимости веб-приложений. URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/ptru/analytics/Web-Vulnerability-2016-rus.pdf> (дата обращения: 6.02.2017).
2. Безопасность Web-приложений. URL: <http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/bezopasnost-web-prilozhenij> (дата обращения: 6.02.2017).

## ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ ШИФРОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ

**В.Н. Пржегорлинский, А.С. Овчинникова, Т.И. Калинкина**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, anienn.ovchin@gmail.com*

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены основные подходы к применению математических основ эллиптических кривых в криптографии.

*Ключевые слова:* эллиптические кривые, криптография, шифры.

## APPROACHES TO MODERN CIPHERS CREATING USING ELLIPTIC CURVES

**V.N. Przhgorlinsky, A.S. Ovchinnikova, T.I. Kalinkina**

*Ryazan State Radio Engineering University,*

*Russia, Ryazan, anienn.ovchin@gmail.com*

*Abstract.* This paper reviews the main approaches to mathematical base of elliptic curves applying in cryptography.

*Keywords:* Elliptic Curves, cryptography, ciphers.

### 1. Введение

Одна из основных проблем современной криптографии заключается в изучении новых математических областей для поиска возможных способов повышения криптостойкости известных криптосистем и для создания новых. Необходимость применения альтернативных методов шифрования связана со стремительным развитием современных компьютерных технологий и, как следствие, с увеличением возможностей злоумышленников при взломе шифров.

Использование математических основ эллиптических кривых при преобразовании и создании криптосистем является перспективной ветвью развития криптографии ввиду достаточно большой вычислительной сложности математических проблем данной области.

Существуют два общих подхода к внедрению теории эллиптических кривых в криптографию: преобразование уже известных шифров путём замены определённых частей вычислений на операции над точками кривых и создание новых методов шифрования, основанных только на применении эллиптических кривых.

Необходимо следить за тем, чтобы изменение алгоритмов при преобразовании не приводило к снижению криптостойкости шифра и определять ограничения, накладываемые на используемые уравнения кривых. Также важной задачей является предотвращение чрезмерного усложнения вычислений и, как следствие, снижения производительности при применении таких криптосистем в работе.

### 2. Замена операции возведения в степень по модулю на операцию скалярного умножения точки эллиптической кривой на число

Наиболее распространённым подходом к созданию шифра, использующего свойства эллиптических кривых, является замена в известных шифрах операции возведения числа в степень по большому модулю на умножение точки эллиптической кривой на константу. Подобным способом можно преобразовать алгоритмы шифров, основанных на проблеме дискретного логарифмирования.

Проблема дискретного логарифмирования заключается в большой вычислительной сложности нахождения решения  $x$  уравнения  $a^x = p$  в некоторой конечной мультипликативной группе (например, в группе кольца вычетов по модулю) [1].

Скалярное умножение точки эллиптической кривой на число заключается в вычислении точки  $cP$ , где  $c$  - константа, а  $P(x_1; y_1)$  - точка на кривой. Такое умножение можно заменить многократным сложением точки  $P$  с самой собой (удвоением). Координаты результирующей точки  $P(x_3; y_3) = 2P(x_1; y_1)$  в таком случае вычисляются по следующим формулам [2]:

$$\lambda = \frac{3x_1^2 + a}{2y_1} \pmod{p};$$

$$x_3 = \lambda^2 - 2x_1 \pmod{p};$$

$$y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1 \pmod{p}$$

Известны такие изменённые криптографические алгоритмы, как криптосистемы Эль-Гамала и Мэсси-Омуры на эллиптических кривых, алгоритм цифровой подписи ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm), государственный стандарт ГОСТ Р 34.10-2001, протокол обмена ключами ECDH (Elliptic Curve Diffie-Hellman) и другие. Рассмотрим пример перехода на эллиптические кривые на криптосистеме Мэсси-Омуры.

Первоначальный алгоритм (без использования свойств эллиптической кривой) можно представить следующей последовательностью действий сторон А и В [3].

1. Выбирается достаточно большое простое число  $x$ , вычисляется соответствующая функция Эйлера  $\varphi(p) = p - 1$ .
2. Вычисляются секретные ключи каждой из сторон: случайное число  $e : \text{НОД}(e, \varphi(p)) = 1$  и мультипликативно обратное ему число  $d : de \equiv 1 \pmod{\varphi(p)}$ . Секретными ключами сторон А и В будут соответственно пары  $(e_A, d_A)$  и  $(e_B, d_B)$ .
3. Сторона А шифрует сообщение М своим закрытым ключом:  $M_1 = M^{e_A} \pmod{p}$  и отправляет его стороне В.
4. Сторона В шифрует полученное сообщение своим ключом :  $M_2 = M_1^{e_B} \pmod{p} = M^{e_A e_B} \pmod{p}$  и пересылает его обратно.
5. Сторона А возвращает следующее:  $M_3 = M_2^{d_A} \pmod{p} = M^{e_B} \pmod{p}$ .
6. Наконец, сторона В восстанавливает сообщение:  $M = M_3^{d_B} \pmod{p}$ .

Рассмотрим переход данного алгоритма на эллиптические кривые [2].

1. Определяется общее уравнение кривой и поле  $F$ . Сообщению сопоставим точку  $M$  на эллиптической кривой.
2. Аналогично первоначальному варианту, секретные ключи будут представлены парами  $(e_A, d_A)$  и  $(e_B, d_B)$ . При этом  $\text{НОД}(e, N) = 1$ ,  $N$  - порядок выбранной эллиптической кривой (количество её точек), и  $d \equiv e^{-1} \pmod{N}$ .
3. Сторона А вычисляет точку  $P_1 = e_A M$  и пересылает её получателю В.
4. Сторона В умножает полученную точку на свой секретный ключ:  $P_2 = e_B P_1 = e_A e_B M$ .
5. На стороне А эта точка умножается на второй секретный ключ:  $P_3 = d_A P_2 = d_A e_A e_B M = e_B M$ .
6. Для восстановления исходного сообщения (точки М) сторона В использует свой второй секретный ключ:  $d_B P_3 = d_B d_A e_A e_B M = M$ .

Приведённые алгоритмы иллюстрируют переход к эллиптическим кривым с помощью замены операций возведения в степень по модулю скалярным умножением точки эллиптической кривой на число.

### 3. Использование билинейной проблемы Диффи-Хеллмана (BDHP)

Для формулировки необходимо определить понятие спаривания. Спаривание – невырожденное билинейное отображение  $\hat{e} : G_1 \times G_2 \rightarrow G_3$ , где  $G_1$  - циклическая аддитивная группа, а  $G_2$  - мультипликативная группа одного порядка. Тогда билинейную проблему Диффи-Хеллмана можно определить следующим образом: как наиболее эффективным способом по известным значениям  $P, aP, bP, cP$  вычислить  $\hat{e}(P, P)^{abc}$ ;  $a, b, c \in N$ .

Как и при первом подходе, в качестве групп могут быть использованы группы точек эллиптической кривой. Известны следующие виды отображений: спаривание Вейля на эллиптических кривых, спаривание Тейта и другие.

Одним из примеров применения спариваний в криптографии может служить однорундовый протокол Диффи-Хеллмана генерации общего ключа [4]. Основная его идея заключается в использовании свойства билинейности для вычисления группового ключа при пересылке не более одного сообщения группе от одного участника. При использовании билинейных отображений число участников равно трём (на единицу больше размерности отображения).

Весь процесс обмена ключевой информацией можно записать следующей последовательностью действий.

1. Выбираются циклические группы  $G_1$ ,  $G_2$  и вид используемого отображения (спаривания).  $g$  - Образующий элемент  $G_1$ .
2. Каждый из участников генерирует свой секретный ключ  $a_i$ .
3. Каждый участник пересылает всем остальным значение  $h_i = g^{a_i} \in G_1$ .
4. После получения всех значений  $h_i$  участник вычисляет общий ключ  $K = \hat{e}(h_1, \dots, h_n)^{a_j}$  с помощью своего секретного ключа.

Благодаря свойству билинейности:  $\hat{e}(aP, bP) = \hat{e}(P, P)^{ab}$ , этот ключ будет иметь одно значение при вычислении каждой из сторон. При этом для трёхстороннего обмена достаточно пересылки шести сообщений (по два сообщения от каждого участника остальным), что меньше, чем при использовании классического протокола Диффи-Хеллмана для обмена ключами трёх сторон.

Обобщением рассмотренного протокола является алгоритм ключевого соглашения Диффи-Хеллмана на основе мультилинейных отображений. При этом число участников соглашения, как и в случае билинейных спариваний, равно  $n+1$  при использовании  $n$ -мультилинейного отображения.

### Выводы

Как видно из рассмотренных подходов к применению эллиптических кривых для создания шифров, наиболее распространённым из них на сегодняшний день является использование эллиптической алгебры для модифицирования уже созданных шифров.

При таком подходе удаётся ускорить вычисление таких медленных действий, как возведение числа в степень по модулю большого простого числа, заменив их более быстрым умножением точки эллиптической кривой на константу. Недостатком можно считать тот факт, что часть вычислений, которая остаётся неизменной, может быть скомпрометирована, если будут найдены эффективные алгоритмы взлома первоначальных схем шифрования, и развитие второго подхода, при котором создаются независимые криптосистемы, также является важной задачей для противостояния потенциально более мощным атакам злоумышленников.

Таким образом, перспективными к созданию современных шифров с использованием эллиптических кривых являются оба рассмотренных подхода для достижения различных целей.

### Библиографический список

1. Odlyzko A.M. Discrete logarithms in finite fields and their cryptographic significance // LNCS. – 1984. – Т.209. – С.224-316.
2. Болотов А.А., Гашков С.Б., Фролов А.Б. Элементарное введение в эллиптическую криптографию. – М.: Ком-Книга, 2006. – 280 с.
3. Василенко О.Н. Теоретико-числовые алгоритмы в криптографии. – М.: МЦНМО, 2003. – 328 с.
4. A. Joix. One round protocol for tripartite Diffie-Hellman. Lecture Notes in Computer Science. 2000.

## СКРЫТИЕ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТЕГАНОГРАФИИ

К.Ю. Фомина, Е.В. Сухих

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Рязань, [tech141@yandex.ru](mailto:tech141@yandex.ru), [suhih.catia@yandex.ru](mailto:suhih.catia@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье рассматривается метод встраивания информации в bmp-файл с последующим jpeg-сжатием. Данный метод основывается на известном стенографическом алгоритме «плюс/минус один».

*Ключевые слова:* стеганография, bmp-изображение, jpeg-сжатие, пиксели, субпиксели, метод LSB, защита информации.

## HIDING OF CONFIDENTIAL INFORMATION USING STEGANOGRAPHY METHOD

K. Fomina, E. Sukhikh

Ryazan State Radio Engineering University,

Ryazan, [tech141@yandex.ru](mailto:tech141@yandex.ru), [suhih.catia@yandex.ru](mailto:suhih.catia@yandex.ru)

*Abstract.* In the article the method of embedding information in a bmp-file followed jpeg-compression. This method is based on a certain algorithm verbatim "plus / minus one".

*Keywords:* steganography, bmp-picture, jpeg-compression, pixels, sub-pixels, the LSB method, protection of information.

### 1. Введение

Впервые следы применения методов стеганографии можно заметить в глубокой древности. Существует гипотеза, что древние шумеры были первыми, кто воспользовался стеганографией, т. к. на месте поселения этой цивилизации было найдено множество глиняных клинописных табличек, покрытых в несколько слоев глины. На первый слой такой таблички наносилась информация, которую необходимо было скрыть, а затем табличка вновь покрывалась глиной, и на втором слое писалась другая информация. Первое упоминание о стеганографических методах в литературе приписывается Геродоту. Геродот в своих трудах рассказывает о передаче сообщений Демартом, который соскабливал воск с дощечек, писал письмо прямо на дереве, а потом заново покрывал дощечки воском. Период средневековья породил новый виток в развитии как криптографии, так и стеганографии. Это было связано с тем, что в этот период стремительно развивается следственный и карательный орган – инквизиция. XVII - XVIII века стали называть эрой "черных кабинетов". «Черными кабинета» назывались специальные государственные органы по перехвату, перлюстрации и дешифрованию переписки. В штат таких кабинетов входили не только дешифровальщики и криптографы, но и такие специалисты, как, к примеру, химики. Различные симпатические чернила использовали и русские революционеры в начале XX века. Так Куканов в своей повести "У истоков грядущего" описывает применение молока в качестве чернил для написания тайных сообщений.

Компьютерные технологии придали новый импульс к развитию и совершенствованию стеганографии, появилось новое направление в области защиты информации — компьютерная стеганография.

Целью криптографии является скрытие содержимого сообщений за счет их шифрования. В отличие от этого, при стеганографии скрывается сам факт существования тайного сообщения, т.е. злоумышленник, возможно, заметит обмен сообщениями между абонентами, но не найдет информацию, представляющую ценность.

Слово «стеганография» в переводе с греческого языка означает «тайнопись». Исторически это направление появилось первым, но затем во многом было вытеснено криптографией. Стеганография — это наука о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи. Тем самым стеганография позволяет передавать секретную информацию через открытые каналы, скрывая сам факт её передачи [1].

Главным понятием в стеганографии является понятие стегосистема. Под стегосистемой понимают совокупность контейнера, стегоконтейнера, ключа, методов встраивания тек-

ста в файл и методов извлечения информации из изображения, а также канал передачи информации.

Под контейнером понимают последовательность данных, в которую заносят встраиваемый текст. А стегоконтейнер – это контейнер, который уже содержит в себе скрытую информацию.

На рисунке 1 показана общая модель встраивания скрытого текста в изображение:

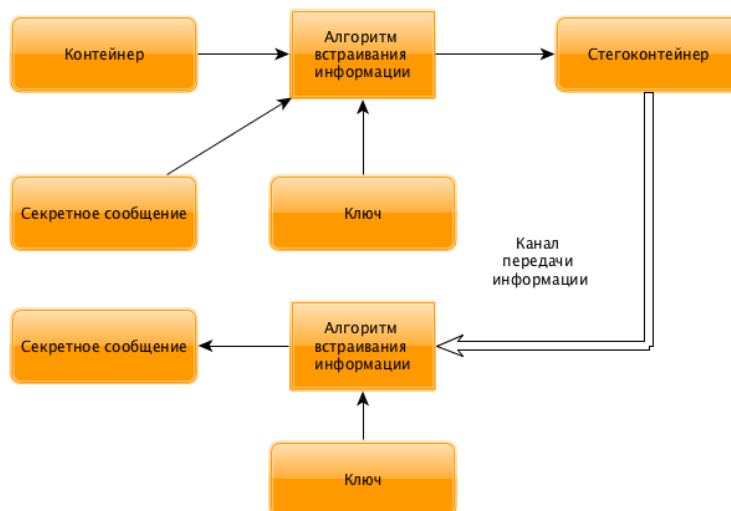


Рис.1. Общая модель скрытия информации

## 2. Обзор методов стеганографии

Существуют два основных направления в компьютерной стеганографии: связанный с цифровой обработкой сигналов и не связанный. При не связанной с цифровой обработкой стеганографией информация, которую необходимо скрыть, встраивается в заголовки файлов или в заголовки пакетов данных. Такой метод ограничен в применении в связи с легкостью вскрытия и/или уничтожения/искажения скрытой информации. Поэтому широкое распространение получило второе направление стеганографии – стеганография связанная с цифровой обработкой сигнала, иначе цифровая стеганография.

Основными причинами популярности стеганографии в настоящее время служат:

1. Ограничение на использование криптографических средств в некоторых странах;
2. Проблемы защиты авторского права.

Проанализировав применяемые на практике методы компьютерной стеганографии, можно выделить основные методы, применяемые при скрытии данных:

1. Методы, основанные на наличии свободных участков в представлении/хранении данных.
2. Методы, основанные на избыточности представления/хранения данных.
3. Методы, основанные на применении специально разработанных форматов представления/хранения данных.

Методы внедрения скрытой информации в объекты прежде всего зависят от назначения и типа объекта, формата файлов, в которых будут встраивать скрытое сообщение. То есть, для любого формата представления компьютерных данных могут быть предложены собственные стеганографические методы.

Наиболее распространенными являются форматы представления такие, как *gif*, *bmp* и *jpeg*. Рассмотрим методы встраивания информации в последние два формата, а именно *bmp*→*jpeg*→*bmp*, т.к. в файле формата *bmp* легче скрыть встраиваемое сообщение.

Самым популярным методом скрытия информации в изображении является метод метода *LSB* (*Less Significant Bit*). Данный метод вносит изменения в наименее значащие биты, которые отвечают за субпиксели зеленого, синего и красного цвета. Ощутимым преимуществом данного метода является простота реализации и неизменность изображения для челове-

ческого глаза (натренированные люди, а именно художники, фотографы, способны различать по цветовым тонам около 150 цветов, по насыщенности – около 25 [3]) даже если человек одновременно рассматривает оригинальное и измененное изображения.

Однако, метод LSB не подходит для внедрения текста в изображение, если изображение затем будет подвергнуто сжатию jpeg, т. к. jpeg-сжатие уничтожает значение наименее значимых бит, т.е. тех бит, в которые и вносились изменения. Поэтому для того, чтобы скрыть текст в изображении формата bmp, а затем подвергнуть такое изображение jpeg-сжатию, необходим иной метод, а именно метод внедрения информации в файлы bmp формата, устойчивый к jpeg-сжатию с использованием алгоритма «плюс/минус один».

### 3. Исследование метода устойчивого к jpeg-сжатию

Для начала рассмотрим из чего состоит bmp-файл (рис. 2) Любой bmp-файл содержит в себе четыре части:

BITMAPFILEHEADER - заголовок файла;

BITMAPINFOHEADER - заголовок изображения (может отсутствовать);

RGBQUAD array - палитра (может отсутствовать);

Color-index array – пиксели самого изображения [2].

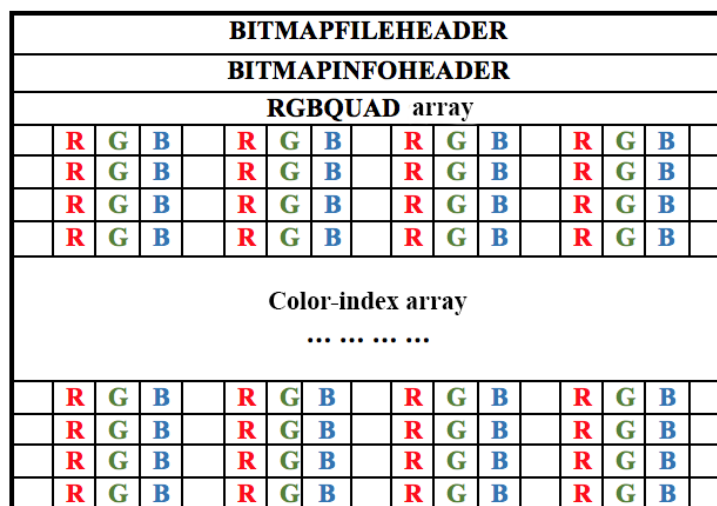


Рис.2. Структура файла bmp

BITMAPFILEHEADER содержит служебную информацию такую, как разрядность рисунка. Если bmp-файл имеет 24-х разрядный, то в структуре такого файла будет отсутствовать палитра (RGBQUAD array). В данной статье будут рассмотрены именно такие файлы.

Каждый пиксель исходного изображения разбивается на субпиксели (красный, зеленый и синий цвета) и каждый такой субпиксель кодируется 8 битами, таким образом каждый пиксель кодируется 24 битами. Значит, мы можем зашифровать 16777216 цветов.

Рассмотрим квадрат 8x8 пикселей (некую квадратичную область изображения) (рис. 3):

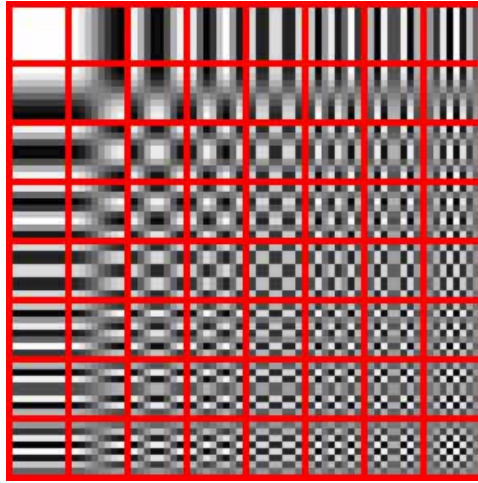


Рис. 3. Квадрат изображения 8\*8

Таким образом, получаем 192 байта и в каждый наименее значащий бит (8-й бит) этих байт записать, например, «0», то число ошибок вследствие трансформации  $\text{bmp} \rightarrow \text{jreg} \rightarrow \text{bmp}$  может быть как больше 96, так и меньше 96. Приблизительно такое же количество ошибок получим, если будем записывать информацию в 7-й или 6-й биты. И только при записи в 5-й бит  $\text{jreg}$ -сжатие уничтожает меньше половины значений битов. Однако, если записывать в 5-й и последующие биты в изображении происходят изменения, которые становятся заметны человеческому глазу. Замечательным свойством  $\text{jreg}$ -сжатия является то, что оно не меняет яркости блоков пикселей.

Исходя из этого свойства рассчитаем яркость пикселя  $L(P)$ . Пусть  $R(P)$ ,  $G(P)$ ,  $B(P)$  – значения байт субпикселей, отвечающих за красный, зеленый и синий цвет пикселя  $P$  соответственно. Тогда яркость пикселя  $L(P)$  можно вычислить по следующей формуле (1):

$$L(P) = 0.299 * R(P) + 0.587 * G(P) + 0.114 * B(P) \quad (1)$$

Можно заметить, что сумма коэффициентов в этой формуле равна 1.

Тогда, исходя из формулы (1), яркость блока пикселей вычисляется как средняя яркость пикселей этого блока, а именно:

$$L(BLOCKS) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 L(P_{i,j})}{64} \quad (2).$$

Именно величину  $L(BLOCKS)$   $\text{jreg}$ -сжатие и оставляет нетронутым. Очевидно, что значение этой величины всегда представляет собой вещественное число [4].

Суть алгоритма, основанного на добавлении/удалении единицы, состоит в том, что если нужно записать «0», то необходимо величину  $L(BLOCKS)$  сделать четным числом, а при записи «1» –  $L(BLOCKS)$  сделать нечетным числом.

Пусть  $X = |L(BLOCKS)|$  и нам необходимо внедрить некоторый  $b_i$  бит. Если  $|X| \bmod 2 = b_i$ , тогда величина  $L(BLOCKS)$  остается без изменений, в противном случае – уменьшаем значение  $X$  на единицу. Тогда значение  $L(BLOCKS)$  уменьшится на единицу соответственно.

Для того, чтобы уменьшить яркость блока пикселей на единицу, т.е. изменить величину  $L(BLOCKS)$  на величину  $\tilde{L}(BLOCKS) = L(BLOCKS) - 1$ , необходимо уменьшить на единицу все байты, отвечающие за субпиксели изображения, относящиеся к данному блоку. На основании формул (1) и (2) получим:

$$\begin{aligned} \tilde{L}(BLOCKS) &= \{R(P_{i,j}) = R(P_{i,j}) - 1, G(P_{i,j}) = G(P_{i,j}) - 1, B(P_{i,j}) = B(P_{i,j}) - 1 \forall i = \\ &= \overline{1 \dots 8} \forall j = \overline{1 \dots 8}\} = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 0.299 * (R(P_{i,j}) - 1) + 0.587 * (G(P_{i,j}) - 1) + 0.114 * (B(P_{i,j}) - 1)}{64} = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 L(P_{i,j})}{64} - \\ &- 1 = L(BLOCK) - 1. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, исходя из выведенных формул, в каждые 192 байта информации можно сохранить 1 бит. Например, в изображении 1024\*768 можно включить 1.5 килобайта информации.



## Заключение

В данной статье был рассмотрен новый метод вставки скрытого текста в графический формат данных 24-х битный bmp-файл, а также извлечение полезной (скрытой) информации из файла при jpeg-сжатии.

Рассмотренный метод может использоваться в виде отдельного инструмента, а так же в составе сложных систем по обеспечению проверки графической информации в автоматическом режиме при пересылке по каналу передачи информации.

## Библиографический список

1. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: Солон-Пресс, 2002. — 272 с, ил.
2. Трухильо Стэн. Графика для Windows средствами DirectDraw [Электронный ресурс], URL: <http://www.etextlib.ru/Book/Details/3012> (дата обращения 14.02.17)
3. Физическая энциклопедия.. Под ред. А.М.Прохорова – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998
4. Bender W., Gruhl D., Morimoto N., Lu A. Techniques for Data Hiding, IBM Systems Journal. 1996. Vol. 35

УДК 004.42(075.8); ГРНТИ 20.23.17

## ПРЕЗЕНТАЦИЯ УЧЕБНИКА «ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА SQL»

**А.В. Маркин**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Российская Федерация, Рязань, avm-52@mail.ru*

*Аннотация.* Подробно рассмотрены основные синтаксические конструкции, применяемые при построении запросов на SQL, а также программировании хранимых процедур и триггеров для СУБД Firebird, Microsoft SQL Server и Oracle Database. Теоретический материал в полной мере проиллюстрирован примерами запросов и скриптов для учебной базы данных, являющейся упрощенной моделью базы данных реальной информационной системы.

*Ключевые слова:* базы данных, SQL, запрос, таблица, ключ, хранимая процедура, триггер

## PRESENTATION OF THE TEXTBOOK «PROGRAMMING IN SQL»

**A. V. Markin**

*Ryazan state radio engineering university,  
Russian Federation, Ryazan, avm-52@mail.ru*

*Abstract.* Considered in detail the basic syntax for building queries in SQL and programming stored procedures and triggers for Firebird, Microsoft SQL Server and Oracle Database. The theoretical material is fully illustrated with examples of queries and scripts for the training database, which is a simplified database model of real information system.

*Keywords:* database, SQL, query, table, key, stored procedure, trigger

Представленная книга является практико-ориентированным межвузовским учебником и написана в соответствии с разделом действующих программ дисциплин по базам данных достаточно большого количества современных направлений академического бакалавриата, магистратуры и специалитета. Она содержит основы программирования на языке структурированных запросов SQL.

В связи с тем, что многие задачи, которые стоят перед современными специалистами, занимающимися анализом, проектированием, созданием и сопровождением информационных систем различного назначения, требуют развития профессиональных компетенций, выходящих за пределы дисциплин, в некоторых главах материал несколько расширен по сравнению с программами курсов. Он рассчитан на самостоятельную проработку, что является вполне оправданным в связи с современной тенденцией увеличения объема внеаудиторной работы студентов. В то же время автор не ставил перед собой задачу рассмотреть все вопросы программирования на SQL для большинства современных реляционных систем управления базами данных. Однако, несмотря на это, он надеется, что учебник облегчит читателям восприятие материала, содержащегося в других многочисленных источниках.

Настоящий учебник написан на основе многолетнего опыта автора, приобретенного в результате разработки, внедрения, эксплуатации, администрирования и сопровождения информационных систем для подразделений ПАО «Газпром», жилищно-коммунальных и других организаций, а также чтения лекций, проведения лабораторных практикумов, руково-

дства курсовым и дипломным проектированием в Рязанском государственном радиотехническом университете.

Издание учебника «Программирование на SQL» следует за тремя предыдущими изданиями учебных пособий «Построение запросов и программирование на SQL» с грифами «Допущено» и «Рекомендовано» учебно-методического объединения вузов по политехническому университетскому образованию, в которых рассматривался SQL Firebird Server соответственно версий 2.1, 2.5 и 3.0.

Учебник адресован в первую очередь студентам и начинающим пользователям систем реляционных баз данных в архитектуре «клиент-сервер» (как программистам, так и администраторам, а также конечным пользователям) и содержит всю необходимую информацию для эффективного применения SQL на практике.

По базам данных вообще и по SQL в частности издано большое количество учебной и специальной литературы, в Интернет рекламируются многочисленные очные и online-курсы. Однако по SQL системы управления базами данных (СУБД) Firebird выбор очень ограничен. Кроме того, нет единого отечественного учебника по SQL разных СУБД с поддержкой дистанционным курсом и комплексным Интернет-тестированием. Настоящий учебник восполняет имеющийся пробел и в сравнительно небольшом объеме решает основные вопросы программирования на SQL. Настоящий учебник — система знаний, умений и навыков, отражающая специфику программирования на SQL и обеспечивающая освоение компетенции обучающимися в рамках профессионального модуля по реляционным базам данных информационных систем.

В учебнике описываются реализации SQL тремя популярными реляционными СУБД: Firebird, Microsoft SQL Server и Oracle Database. Наиболее подробно рассматривается SQL СУБД Firebird — компактной, кроссплатформенной, свободной СУБД, работающей на Linux, Microsoft Windows и разнообразных UNIX-платформах с 32- и 64-битовой архитектурой.

Все примеры запросов и скриптов в учебнике выполнены на SQL СУБД Firebird 3.0 в среде IBExpert, Microsoft SQL Server Express 2014 и Oracle Database 11g Express Edition — в соответствующей среде dbForge Studio. Эти компоненты выбраны, прежде всего, потому, что их последние версии без всяких материальных затрат и особых затруднений можно получить, установить на личном компьютере и использовать для самостоятельного изучения SQL, а в случае Firebird — и для профессиональной разработки баз данных коммерческих информационных систем. Несмотря на то, что примеры разработаны для реализаций SQL конкретными СУБД, они также, за некоторым исключением, будут работать в любой из современных промышленных реляционных СУБД в архитектуре «клиент-сервер».

В рамках учебника создан одноименный дистанционный курс для смешанной формы обучения студентов, а также для всех желающих самостоятельно изучить основы SQL [1]. Авторский дистанционный учебный курс в модульной объектно-ориентированной, динамической, обучающей среде Moodle размещен на сайте виртуальной кафедры автоматизированных систем управления Рязанского государственного радиотехнического университета <http://rgrty.ru>. Кроме того, разработан сетевой SQL-тренажер [2], с помощью которого любой желающий может самостоятельно проверить и закрепить полученные теоретические знания, зарегистрировавшись на сайте <http://rgrty.ru/sqltest>.

Учебник рекомендован для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки академических бакалавров и магистров «Бизнес-информатика», «Информатика и вычислительная техника», «Информационные системы и технологии», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», «Прикладная информатика», «Прикладная математика и информатика», «Программная инженерия», «Фундаментальная информатика и информационные технологии», а также специалистов — «Информационная безопасность», «Информационная безопасность автоматизированных систем», «Компьютерная безопасность» при изучении дисциплин «Базы данных», «Управление данными», «Проектирование баз данных», «Проектирование информационных систем», «Системы управления базами данных». Кроме того, он может использоваться в учреждениях среднего профес-

сионального образования и дополнительного профессионального образования по направлениям, связанным с разработкой, эксплуатацией, администрированием и сопровождением реляционных баз данных информационных систем.

Изложение материала настоящего учебника строится в соответствии с рекомендуемым порядком изучения языка SQL. Описываются самые последние версии запросов SQL, соответствующие стандарту SQL:2011, приводится реализация этих запросов для платформ Firebird 3.0, Oracle Database 11g Express Edition (Oracle 11.2 XE) и Microsoft SQL Server 2014 (MS SQL Server).

В гл. 1 даны общие минимальные сведения из систем реляционных баз данных, необходимые для понимания всего последующего материала. Здесь изложены основные понятия и принципы организации реляционных баз данных на примере учебной, кратко описывается процесс проектирования, рассматриваются особенности работы с базами данных в архитектуре «клиент-сервер».

Глава 2 является кратким введением в язык SQL. В ней приведено определение основных объектов базы данных, описаны функции и достоинства структурированного языка запросов, дана классификация запросов, проанализированы различные формы языка, рассмотрены особенности функционирования и состав СУБД Firebird, Oracle Database и MS SQL Server.

В гл. 3 рассмотрены возможности SQL по выборке данных из базы данных. Здесь изучены практически все указанные в стандарте SQL средства выборки данных и, кроме того, представлены некоторые дополнительные возможности, реализованные в СУБД Firebird, Oracle Database и MS SQL Server.

В гл. 4 описан язык определения данных DDL, который позволяет создавать, изменять и удалять основные объекты базы данных.

В гл. 5 объясняется, каким образом с помощью языка DML осуществляется манипулирование данными в уже созданной базе данных.

Глава 6 знакомит читателей с особенностями использования процедурных расширений SQL. На процедурном SQL создаются хранимые процедуры, функции, триггеры, пакеты и выполняемые блоки, позволяющие реализовать многие бизнес-задачи в рамках СУБД, не обращаясь к прикладному программированию в другой среде.

В гл. 7 рассмотрены вопросы защиты данных. Изложены общие правила разграничения прав доступа пользователей к объектам базы данных, изучены методы управления доступом к данным.

Глава 8 посвящена описанию транзакций. Рассмотрены механизмы управления параллельностью работы в многопользовательских системах.

В конце каждой главы приведены контрольные вопросы, с помощью которых можно проверить усвоение теоретического материала. Также имеется описание лабораторного практикума по всем главам учебника. Материал сопровождается большим количеством как простых, так и довольно сложных примеров запросов и скриптов на учебной базе данных, являющейся весьма сокращенным вариантом базы данных расчетно-аналитической информационной системы «Абонент», коллектив разработчиков которой многие годы возглавляет автор. Система «Абонент» эффективно используется во многих регионах РФ для информационного обеспечения деятельности ресурсоснабжающих и газораспределительных организаций, управляющих компаний, единых расчетно-кассовых центров и других жилищно-коммунальных предприятий.

Предметной областью, используемой в примерах построения запросов и программирования на SQL, является расчет с абонентами за оказанные жилищные услуги и израсходованные ими коммунальные ресурсы. Данная область хорошо знакома практически каждому гражданину нашей страны. Поэтому освоение читателем данной предметной области, во-первых, не составит особого труда и, во-вторых, позволит лучше понять тонкости постоянно усложняющихся алгоритмов расчета платы за жилищно-коммунальные услуги.

Изучив данный курс, читатели кроме теоретических знаний могут приобрести практические навыки построения запросов и программирования, выполнив предлагаемый лабораторный практикум по всем разделам учебника. Лабораторный практикум содержит восемь работ. Кроме того, заинтересованные читатели, зарегистрировавшись на сайте <http://rgrty.ru/sqltest>, самостоятельно могут проверить полученные теоретические знания по языку SQL и приобрести навыки его практического использования. В лабораторных работах 1, 6—8 контроль знаний ведется с помощью традиционного тестирования. В работах 2—5 необходимо построить, ввести и выполнить SQL-запросы под контролем информационной системы согласно предлагаемым заданиям различной сложности.

В приложении А дано описание учебной базы данных, в приложении Б — краткое описание системных таблиц СУБД Firebird, а в приложении В — скрипты для создания учебной базы данных.

Все запросы и скрипты, приведенные в учебнике, а также приложение В можно скопировать со страницы учебника на сайте <http://rgrty.ru>. Здесь также предоставляется возможность обратной связи с автором.

По итогам изучения материала учебника студент должен:

**знать**

- методологические основы структурной организации реляционных баз данных современных информационных систем с архитектурой «клиент-сервер»;
- возможности SQL в системах управления базами данных;
- принципы построения запросов к реляционным базам данных;
- синтаксис запросов и основы процедурного программирования на SQL;
- принципы извлечения и обновления данных;
- основы разработки и использования программируемых объектов баз данных для реализации логики и поддержки бизнес-правил предметной области;
- механизмы обеспечения безопасности и ограничений целостности данных;
- основные особенности и отличительные признаки декларативного и процедурного программирования на SQL в различных СУБД;

**уметь**

- выбирать и обосновывать применение необходимых систем управления базами данных для разработки и реализации базы данных информационных систем;
- решать задачи, связанные с проектированием и созданием объектов реляционных баз данных, с хранением и обработкой информации;
- использовать SQL для построения запросов на создание, удаление, и модификацию объектов базы данных; на выборку и модификацию данных;
- разрабатывать хранимые процедуры, функции и триггеры;
- реализовывать на SQL механизмы разграничения прав доступа и защиты данных;
- выбирать и реализовывать необходимые методы обеспечения безопасности и ограничений целостности данных;

**владеть**

- методами и приемами декларативного и процедурного программирования на SQL;
- навыками построения, программирования, выполнения и отладки запросов на SQL к базам данных информационных систем с использованием современных технологий и инструментальных средств;
- навыками поиска информации, необходимой для принятия решений;
- методами обеспечения безопасности и реализации ограничений целостности данных;
- навыками программирования на SQL в СУБД Firebird, в Microsoft SQL Server и Oracle Database.

Знания, умения и уверенное владение технологиями баз данных необходимы современному студенту, так как они дают надежную гарантию трудоустройства на высокую должность и с достойной заработной платой. Умение быстро и грамотно программировать на

языке структурированных запросов может прийти только с большим объемом практики и, конечно, с теорией.

В создании настоящего учебника и его Интернет-ресурсов в той или иной степени участвовало немало много заинтересованных лиц. Хочется от души поблагодарить заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, доктора технических наук, профессора кафедры автоматизированных систем управления Рязанского государственного радиотехнического университета Г.И. Нечаева за всестороннее содействие, Е.Е. Шубенкова — за материалы и советы по содержанию учебника, В. Л. Дубинину — за оказание неоценимой практической помощи в оформлении, Б.А. Шувырденкова и Д.В. Аникева — за участие в разработке сетевого SQL-тренажера.

Автор глубоко признателен рецензентам и экспертам, чьи ценные замечания позволили улучшить качество учебника. Особую благодарность следует выразить всем разработчикам СУБД Firebird и авторам отличных программных средств IVExpert и dbForge Studio.

Книга рекомендована Учебно-методическим отделом высшего образования в качестве учебника и практикума для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям, и издан в 2017 году издательством «Юрайт» г. Москва (<http://urait.ru>) в двух частях.

### **Библиографический список**

1. Маркин А. В. Свидетельство о регистрации электронного ресурса «Электронный учебный курс «Построение запросов и программирование на SQL», № 19251, ИНИПИ РАО ОФЭРНИО, 30.05.2013.
2. Истомин П. В., Маркин А. В. Система дистанционного обучения SQL. Свидетельство об официальной регистрации разработки в отраслевом фонде алгоритмов и программ. № 2004620167, 07.07.2006.

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

## **ОСОБЕННОСТИ ФИКСАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ АНАЛИЗАТОРОМ СПЕКТРА MS2721B**

**М.А. Сёмин, Н.А. Колесенков**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, mixa43873@yandex.ru*

*Аннотация.* В данной работе описаны особенности фиксации электромагнитных излучений анализатором спектра MS2721B. Приведены его основные характеристики. Описана совместимая антенна Rhode&Schwarz RS HE300. Описаны характеристики антенны применительно к фиксации излучений. Приведен пример фиксации электромагнитных излучений.

*Ключевые слова:* анализатор спектра, MS2721B, фиксация ЭМИ, антенна, Rhode&Schwarz

## **SPECIAL REGISTRATION TECHNIQUES OF ELECTROMAGNETIC RADIATION USING MS2721B SPECTRAL ANALYZER**

**M.A. Syomin, N.A. Kolesenkov**

*Ryazan State Radioengineering University,  
Russia, Ryazan, mixa43873@yandex.ru*

*Abstract.* This paper deals with the registration features of electromagnetic radiation. Main specifications of MS2721B spectral analyzer are shown. Compatible antenna Rhode&Schwarz RS HE300 are reviewed. Antenna's specifications in context of registration of electromagnetic radiation are described. The example of registration of electromagnetic radiation are shown.

*Keywords:* spectral analyzer, MS2721B, registration of electromagnetic radiation, antenna Rhode&Schwarz

### **1. Введение**

В современных условиях научно-технического прогресса в результате развития различных видов энергетики и промышленности электромагнитные излучения занимают одно из ведущих мест по своей экологической и производственной значимости среди других факторов окружающей среды. В целом общий электромагнитный фон состоит из источников естественного (электрические и магнитные поля Земли, радиоизлучения Солнца и галактик) и искусственного (антропогенного) происхождения (телевизионные и радиостанции, линии электропередачи, электробытовая техника и другие) излучений.

Фиксация естественного электромагнитного фона представляет интерес только в специфических научных изысканиях, например, астрономия или биология. В рамках данной статьи будет рассмотрена фиксация электромагнитных излучений антропогенного характера. Это обусловлено тем, что именно искусственные источники электромагнитного излучения представляют интерес с точки зрения защиты и перехвата информации.

В данной статье описана именно фиксация электромагнитных излучений, т.е. регистрация факта наличия сигнала с частичной оценкой его параметров, таких как уровень и ширина спектра.

## **2. Применение анализатора спектра**

Анализатор спектра Spectrum Master MS2721B является портативным анализатором спектра с диапазоном частот от 9.1 кГц до 7.1 ГГц (рис.1). Данный анализатор спектра обладает высокой чувствительностью, поэтому он может зафиксировать сигналы с уровнем от -60 дБм. Функционал данного анализатора спектра позволяет проводить фиксацию электромагнитных излучений и анализ их характеристик. Он может применяться для обнаружения электромагнитных излучений в качестве устройства анализа уязвимостей безопасности информации, передаваемой по радиоканалам, либо излучаемой как побочные электромагнитные излучения. Дальнейший перехват и детектирование данное устройство обеспечить не в состоянии. Для этого должны применяться другие специальные устройства перехвата. Широкий частотный диапазон позволяет фиксировать излучения как от бытовых приборов, так и от специализированных СВЧ устройств.



Рис. 7. Анализатор спектра MS2721B

## **3. Измерительный комплекс на базе анализатора спектра MS2721B**

В комплект анализатора спектра не входят антенные устройства. Для организации измерительного комплекса целесообразно использовать антенны фирмы Rhode-Schwarz, которые полностью совместимы с данным анализатором спектра. Одним из лучших вариантов для работы совместно с анализатором спектра MS2721B является антенна R&S HE300 (рис. 2). Полный диапазон частот от 9 кГц до 7,5 ГГц перекрывается четырьмя сменными широкополосными антенными модулями, каждый из которых имеет четко выраженную диаграмму направленности. Антенные модули не нуждаются в настройке в пределах четырех поддиапазонов (4-й модуль HE300HF для диапазона от 9 кГц до 20 МГц поставляется опционально).

Для повышения чувствительности можно использовать широкополосный усилитель (активный режим). В пассивном режиме усилитель отключен, и антенна может использоваться вблизи мощных передатчиков. Однако даже без усилителя (пассивный режим) анализатор спектра способен зафиксировать даже самый слабый сигнал (до -60 дБм). Это осуществляется с помощью встроенного в анализатор спектра предусилителя на входе.



Рис. 8. Антенна RS HE300 с модулем 20-200 МГц

Антенна имеет изменяемую поляризацию – горизонтальную или вертикальную. Также данная антенна имеет ярко выраженную направленность (рис. 3). Главный лепесток проходит через ось антенны. Антенна подключается к анализатору спектра с помощью экранированного коаксиального кабеля через BNC разъем. Входное сопротивление антенны – 50 Ом. Максимальный регистрируемый уровень мощности сигнала – 20 дБм.

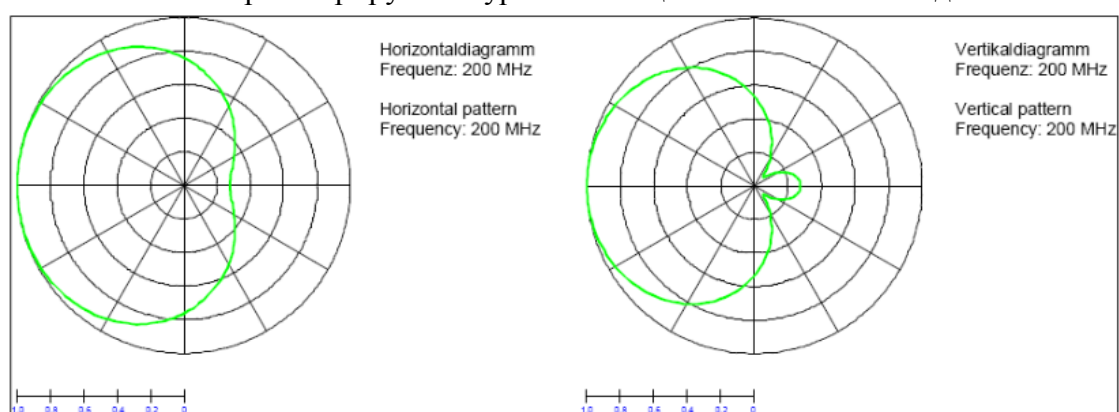


Рис. 9. Диаграмма направленности антенны на частоте 200 МГц

#### 4. Пример фиксации электромагнитных излучений

Данный анализатор спектра и антенна реализуют полноценный комплекс фиксации ЭМИ от различных источников (с уровнем сигнала на антенне от -60 дБм до 20 дБм). Это подтверждает пример: при фиксации побочного излучения от гетеродина приемника данный комплекс позволил не только зафиксировать спектр сигнала, но и оценить его характеристики, такие как частота и уровень сигнала. Фиксация проводилась в условиях сильных помех, создаваемых радиовещательными станциями, так как частота гетеродина приемника лежит в FM-диапазоне. Этот пример подтверждает тот факт, что данный анализатор спектра обладает высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном.

#### 5. Вывод

Анализатор спектра MS2721B в составе измерительного комплекса можно использовать для организации лабораторных работ по изучению технических каналов утечки информации, а также в реальных условиях для проведения аттестации автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе ЭВМ в целях выявления технических каналов утечки защищаемой информации и оценки соответствия защиты информации требованиям нормативных и правовых документов в области безопасности информации.

#### Библиографический список

1. Руководство пользователя анализатора спектра MS2721B



2. Техническое описание анализатора спектра MS2721B
3. Техническое описание антенны RS HE300
4. Хорев А.А. «Техническая защита информации», 2008

УДК 004.056.5; ГРНТИ 20.53

## **ДВУХФАКТОРНАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ - ОСНОВА НАДЕЖНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ К РЕСУРСАМ В ИНТЕРНЕТЕ**

**О.А. Назарова\*, Н.С. Жбанов\*\***

*\* Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова,  
Россия, Рязань, punek12@mail.ru,*

*\*\* Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева,  
Россия, Рязань, nikitazhbanov@mail.ru*

*Аннотация.* Данная работа содержит краткий обзор наиболее популярных способов аутентификации в вычислительных системах. Также в ней приведено определение двухфакторной аутентификации и рассмотрено использование ее в интернет-сервисах.

*Ключевые слова:* аутентификация, двухфакторная аутентификация, ДФА, интернет-сервис.

## **TWO-FACTOR AUTHENTICATION IS A BASIS OF RELIABLE CONTROL OF ACCESS TO THE INTERNET RESOURCES**

**O.A. Nazarova, N.S. Zhbanov**

*\* Ryazan State Medical University named after academician I. P. Pavlov,  
Russia, Ryazan, punek12@mail.ru,*

*\*\* Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev,  
Russia, Ryazan, nikitazhbanov@mail.ru*

*Abstract.* This paper contains the short review of the most popular ways of authentication in computing systems. Also the definition of two-factor authentication is given and the use of it in Internet services is considered.

*Keywords:* authentication, two-factor authentication, 2FA, Internet service.

Интернет на современном этапе развития общества, науки и техники охватил все сферы жизни человека, и это подтверждается темпами роста числа интернет сайтов. Интернет предоставляет большие возможности для людей разной социальной принадлежности и для каждого он играет свою роль, обеспечивая доступ к любой информации, удовлетворяющей их потребности, от научных открытий до телепрограмм, дает возможность побывать в разных уголках мира, познакомиться с шедеврами мирового искусства, найти единомышленников, получить образование, организовать свой бизнес и т.д.

Многие люди для своего самообразования и развития активно используют Интернет: читают полезные статьи, просматривают видеоуроки, записываются на дистанционные онлайн курсы и тренинги, тем самым пополняя свои знания и умения в разных сферах жизни. Всемирная Сеть предоставляет большие возможности в плане заработка и денежных операций: приобретать акции, обменивать деньги, совершать покупки.

Трудно представить функционирование предприятий и организаций без использования глобальной мировой системы передачи информации с помощью информационно-вычислительных ресурсов.

Любые компании, организации: финансово-кредитные, коммерческие, государственные, которые хранят и обрабатывают данные в информационных системах и вынуждены предоставлять внешний доступ к своим ресурсам информации, особенно нуждаются в надежных средствах защиты своей информации. Острая проблема защиты пользовательских данных подталкивает крупнейшие мировые технологические компании к созданию новой средств в сфере информационной безопасности.

Проблема предотвращения несанкционированного доступа к вычислительным ресурсам и к данным, хранящимся в вычислительных системах, возникла сразу же после их появления.

На начальном этапе вычислительные системы были малочисленны, являлись чрезвычайно громоздкими устройствами, работающими в однопользовательском режиме, и для ра-



боты с ними требовалась достаточно высокая квалификация, поэтому проблема предотвращения несанкционированного доступа решалась чисто организационными мерами. Достаточно было ограничить физический доступ в помещения с терминалами для людей с соответствующей квалификацией, чтобы исключить несанкционированный доступ к критичным ресурсам.

В процессе развития вычислительные системы стали более дешевыми и, соответственно, более многочисленными, основным режимом их использования стал многопользовательский (многотерминальный), что привело к значительному увеличению числа людей, взаимодействующих с такими системами. Конкретные данные в них могли принадлежать уже не одному пользователю, а разделяться группой пользователей, поэтому задача предотвращения несанкционированного доступа к вычислительным ресурсам и данным переросла в задачу разграничения доступа к ним. Естественно, что эта задача решалась программно средствами операционных систем.

Любая реализация разграничения доступа требует идентификации и аутентификации пользователя. Идентификация — это процедура распознавания субъекта по его уникальному признаку (идентификатору). В свою очередь аутентификация является процедурой, связанной с выявлением подлинности, которая позволяет достоверно убедиться в том, что субъект, предъявивший свой идентификатор, на самом деле является именно тем, кем он себя представляет. Для решения этих задач появился и стал основным в вычислительной технике способ идентификации и аутентификации пользователя по его системному имени (login) и паролю. Для систем с повышенными требованиями к защищенности данных (банковские системы, системы в оборонной промышленности и в крупных корпорациях) создавались специализированные программно-технические средства аутентификации и ограничения доступа к оборудованию, основанные на других принципах, но применение этих средств не носило массового характера.

До тех пор, пока вычислительные системы не были связаны в единую глобальную сеть (Интернет), доступ к каждой из них имело ограниченное число людей через ограниченное число терминалов, поэтому возможности взлома простой парольной защиты были также достаточно ограничены. Достаточно было реализовать программные средства, не позволяющие пользователям использовать слишком простые пароли, заставляющие пользователей регулярно менять их, и блокирующие аккаунт после нескольких последовательных неудачных попыток входа в систему, чтобы сделать практически невозможным взлом парольной защиты простым перебором (методом грубой силы). Фактически обойти парольную защиту можно было только либо подсмотрев пароль, либо угадав его, используя методы социальной инженерии (например, используя знание того, что часто люди используют в качестве пароля имя любимого животного или человека). Поэтому и в настоящее время простая аутентификация по паролю широко используется для аутентификации в локальных системах, имеющих ограниченный доступ из глобальной сети.

После появления интернета, когда стали появляться многочисленные интернет-ресурсы с ограниченным доступом, для решения задачи разграничения доступа на начальном (довольно длительном) этапе также использовался способ идентификации и аутентификации пользователя по его системному имени и паролю. Однако ситуация сильно изменилась после широкого распространения интернета и появления критичных интернет-сервисов, таких, как интернет-банкинг и онлайн-торговля. Трудно ожидать от массового пользователя хорошего знания и строгого соблюдения правил работы с паролями, таких как составление достаточно сложного пароля, хранение пароля так, чтобы никто не мог узнать его, и т.д. Необходимо методически грамотно подойти к вопросу создания надежного пароля и организации его хранения. Отсутствие надежного средства аутентификации становилось тормозом на пути развития интернета, и тогда стали широко использоваться различные способы двухфакторной аутентификации, добавившей второй слой защиты к существовавшей ранее простой парольной защите, что значительно увеличило надежность процедуры.

Двухфакторной аутентификацией называют метод контроля доступа, при котором пользователь должен предъявить два доказательства того, что он действительно является тем субъектом, за которого себя выдает, причем эти доказательства должны относиться к разным категориям. Такие доказательства называют факторами аутентификации, отчего и пошло название «Двухфакторная аутентификация».

Вообще, все средства доказательства подлинности субъекта принято делить на три категории:

- Знания субъекта - это некоторые тайные сведения, доступные только авторизуемому субъекту. Обычно это пароль. Иногда это могут быть ответы на дополнительные вопросы, касающиеся жизни субъекта (имя любимого животного, имя друга детства и т.д.).
- Исключительное владение - это некоторый объект (возможно материальный, вроде мобильного телефона или смартфона, а возможно и нематериальный, вроде аккаунта электронной почты), которым владеет субъект. Причем доступ других субъектов к этому объекту должен быть существенно ограничен (лучше невозможен).
- Свойство субъекта - некоторое уникальное свойство, присущее только данному субъекту. Это может быть, например, биометрия: отпечатки пальцев, радужная оболочка глаз, т.е. любые природные уникальные отличия.

Для использования биометрии и других природных уникальных отличий человека требуются специальные аппаратные средства, которые являются частью защищаемой системы, поэтому эта категория доказательств обычно используется для аутентификации не в интернет-сервисах, а в физических устройствах. Эти методы аутентификации являются достаточно сложными и, соответственно, дорогостоящими, но, в тоже время, они имеют дополнительное преимущество, заключающееся в том, что они обеспечивают не только аутентификацию, но и идентификацию субъекта. В последнее время очень популярны стали устройства аутентификации на основе отпечатков пальца в смартфонах и планшетах.

При аутентификации в интернет-сервисе обычно первым фактором является пароль, т.е. то, что пользователь помнит, а вторым - что-то, чем пользователь владеет, например, мобильный телефон или почтовый аккаунт. При регистрации в интернет-сервисе пользователь вводит системное имя и пароль, после чего сервис отправляет пользователю SMS со случайным кодом. Пользователь получает это SMS и сообщает сервису полученный код, тем самым подтверждая владение мобильным телефоном этого пользователя. Если же в качестве второго доказательства используется почтовый аккаунт, то сервис генерирует некоторое сообщение и/или ссылку на временный сетевой ресурс и посылает их в письме на этот аккаунт. Пользователь подтверждает владение этим почтовым аккаунтом, сообщая сервису содержащееся в письме сообщение или переходя на содержащуюся в нем ссылку. Иногда в качестве второго доказательства используется файл с характеристикой пользователя. Этот файл может быть помещен на смарт-карту или USB-ключ. Также достаточно популярны такие устройства, как токены, генераторы одноразовых паролей (OTP-брелоки), RFID-метки.

Все большее распространение получает использование приложений на смартфонах, используемых одновременно с доступом к интернет-сервису с другого устройства, например, через веб-браузер на десктопе. Использование такого приложения является гораздо более дешевым, чем использование SMS, и зачастую более удобным, т.к. в современных приложениях пользователь даже не должен ничего вводить руками, а достаточно просто сканировать изображение 3d штрих кода в браузере.

На данный момент двухфакторная аутентификация признана достаточно надежным способом аутентификации, чтобы использоваться в большинстве интернет-сервисов. Возможность ее использования уже реализована во многих популярных сервисах, таких как Google, Apple, Microsoft, "ВКонтакте", Twitter, Facebook и многих других. Существуют также десятки крупных компаний, специализирующихся на предоставлении программно-аппаратных инструментов для реализации двухфакторной аутентификации. Самые крупные из них – компании VASCO, SafeNet (Aladdin), RSA (EMC) имеют годовой оборот в миллиар-

ды долларов. Эти компании выпускают аппаратные токены и смарткарты, а также программное обеспечение для работы с ними и предоставляют интернет-сервисы для поддержки двухфакторной аутентификации с API для встраивания в прикладные интернет-сервисы.

УДК 004.056.53; ГРНТИ 81.93.29

## **КЛАВИАТУРНЫЙ ПОЧЕРК КАК СПОСОБ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ**

**В.Н. Пржегорлинский, А.И. Шмакова**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, smakovaanastasia7@gmail.com*

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются основные положения, а также особенности использования аутентификации пользователей по клавиатурному почерку

*Ключевые слова:* клавиатурный почерк, аутентификация, защита информации, защита от несанкционированного доступа

## **KEYBOARD HANDWRITING AS A METHOD OF USER AUTHENTICATION IN COMPUTER SYSTEMS**

**V. N. Przhgorlinsky, A. I. Shmakova**

*Ryazan Government RadioTechnical University,  
Russia, Ryazan, smakovaanastasia7@gmail.com*

*Abstract.* In this paper we consider the main provisions, and especially the use of user authentication on keyboard handwriting

*Keywords:* authentication keyboard handwriting, information security, protection against unauthorized access

В настоящее время особое внимание в информационной сфере уделяется деятельности по защите информации. Одним из направлений этой деятельности является защита информации от несанкционированного доступа (ЗИ от НСД). Для ЗИ от НСД в компьютерных системах используют различные методы аутентификации.

Определение аутентификация содержится в пункте 3.3 ГОСТ Р 50.1.053 – 2005 «Информационные технологии. Основные термины и определения в области технической защиты информации»:

«аутентификация: Действия по проверке подлинности субъектов доступа к объектам доступа в автоматизированной информационной системе».

Часто используемые в настоящее время методы аутентификации, в основе которых лежит использование паролей, переносных идентификаторов, имеют главный недостаток, атрибутивные и опознавательные характеристики для установления подлинности пользователя в системе можно украсть либо подменить. Поэтому одними из наиболее активно развивающихся методов аутентификации на сегодняшний день являются методы биометрической аутентификации. Среди таких методов есть наиболее известные способы аутентификации, такие как аутентификация по отпечаткам пальцев, аутентификация по голосу. Одним из мало распространенных способов биометрической аутентификации является аутентификация по ритму работы на клавиатуре - клавиатурный почерк.

При помощи клавиатурного почерка можно проводить не только аутентификацию, но и скрытую идентификацию. Также при помощи клавиатурного почерка можно выявить нарушителя безопасности не только на этапе аутентификации, но и на протяжении всего сеанса его работы в системе, иными словами, если после авторизации в системе будет работать нарушитель безопасности под именем авторизованного пользователя, то почерк измениться и система заблокируется.

«Клавиатурный почерк - это поведенческая биометрическая характеристика, которую описывают следующие параметры:

- количество ошибок при наборе;
- интервалы времени между нажатиями клавиш;
- время удержания клавиш;

- степень аритмичности при наборе;
- скорость набора». [1]

Время удержания клавиш и временные интервалы между их нажатиями, а также скорость набора позволяют достаточно точно определить почерк пользователя на клавиатуре. Темп работы определяется временными интервалами между нажатиями клавиш, а стиль работы с клавиатурой (плавное нажатие или резкий удар) определяется временем удержания клавиш.

Исходя из выше сказанного, целесообразно использовать для сбора биометрической информации измерения интервалов времени между нажатиями клавиш и замеры времен удержания клавиш.

Наиболее надежный метод аутентификации - это совместное использование биометрической защиты и парольной. Совместное использование анализа клавиатурного почерка и парольной защиты при аутентификации возможно по набору ключевой фразы (пароль задается при регистрации пользователя в системе) и произвольного текста (пароль генерируется системой в момент аутентификации пользователя).

Разрабатываемая система аутентификации по клавиатурному почерку должна функционировать в трех режимах:

- 1) режим «обучения»;
- 2) режим «анализа»;
- 3) режим «блокировки».

В режиме «обучения» система должна предложить пользователю ввести необходимое число раз предлагаемые текстовые фразы. На данном этапе рассчитываются эталонные характеристики клавиатурного почерка пользователя, которые поступают в систему в виде вектора входных параметров и могут храниться в базе данных либо в матрице.

Рассмотрим, как формируется вектор входных параметров.

Пусть имеется ключевая фраза, длинна которой составляет  $n$  символов. Обозначим время нажатия и отпускания  $i$ -й клавиши -  $td_i$  и  $tu_i$ , соответственно. ASCII код  $i$ -й клавиши -  $c_i$ . Вычислим время удержания  $i$ -й клавиши -  $tpr_i$  и время паузы между отпусканием  $i$ -й клавиши и нажатием  $(i+1)$ -й клавиши -  $tpa_i$ :

$$tpr_i = tu_i - td_i, \text{ где } i = \overline{1, n},$$

$$tpa_i = td_{i+1} - tu_i \text{ где } i = \overline{1, n}.$$

Теперь вычислим оценку математического ожидания длительности паузы между следующими друг за другом нажатиями клавиш, при наборе ключевой фразы -  $mpr$  и аритмичность скорости набора -  $\alpha$ :

$$mpr = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} tpa_i}{n-1},$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (tpa_i - mpr)^2}{n-2}}.$$

Вычислим оценку математического ожидания времени удержания клавиш в нажатом положении  $mpr$  и аритмичность удержания клавиш -  $\beta$ , а также скорость набора -  $s$ :

$$mpr = \frac{\sum_{i=1}^n tpr_i}{n}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (tpr_i - mpr)^2}{n-1}},$$

$$s = \frac{tu_n - td_1}{60} S_{max},$$

где  $S_{max}$  – максимальная скорость набора текста (900 знаков/мин).

Введем определение перекрытия следующих друг другом символов клавиш при наборе ключевой фразы (далее перекрытие). Перекрытие – это нахождение одновременно в нажатом состоянии двух или более клавиш.

Перекрытие определяется, если выполняется следующие условия:  $td_i \leq tu_{i+1}$  и  $td_{i+1} \leq tu_i$ . Если данное условие не выполняется, то факт перекрытия клавиш не наблюдается. Для клавиш, у которых наблюдается этот фактор, выполняется подсчитывание числа клавиш с перекрытиями  $k_c$  и суммарное время перекрытий  $t_c$ :

$$k_c = k_c + 1,$$

$$t_c = t_c + tu_i - td_{i+1}.$$

После проведенных ранее вычислений необходимо рассчитать нормированное среднее время перекрытий  $\bar{t}_c$  и среднеквадратичное отклонение  $d_c$ :

$$\bar{t}_c = \frac{t_c}{k_c \cdot tpr_{max}},$$

$$d_c = \sqrt{\frac{\sum_i (\frac{tu_i - td_{i+1}}{tpr_{max}} - \bar{t}_c)^2}{k_c - 1}}.$$

В результате на основе выполненных ранее вычислений можно сформировать вектор входных параметров  $v$ , используемый для аутентификации пользователя при фиксированной длине ключевой фразы, и его длину  $l$ :

$$v = \{tpr_1, \dots, tpr_n, tpa_1, \dots, tpa_{n-1}, \bar{c}_1, \dots, \bar{c}_n, mpa, \alpha, mpr, \beta, s, t_c, d_c\},$$

$$l = 3n - 6 = 3(n - 2).$$

Где  $\bar{c}_i$  – нормированное значение ASCII кодов клавиш, которое вычисляется следующим образом:

$$\bar{c}_i = \frac{c_i - 32}{223}.$$

В режиме «анализа» в систему аутентификации по клавиатурному почерку поступает вектор входных параметров, который сравнивается с эталонным вектором входных параметров, полученным на этапе обучения. После чего производится сравнение данных, полученных системой, на основании которого делается вывод о совпадении параметров клавиатурного почерка. После приведенных действий система может оставаться в режиме «анализа», или перейти в режим «блокировки».

В режиме «блокировка» система затребует ввести пароль, который будет снова проверен на подлинность и будет проведена проверка клавиатурного почерка. Если проверка прошла, успешна, то система переходит в режим «анализа». Обобщенная система аутентификации по клавиатурному почерку приведена на рисунке 1.

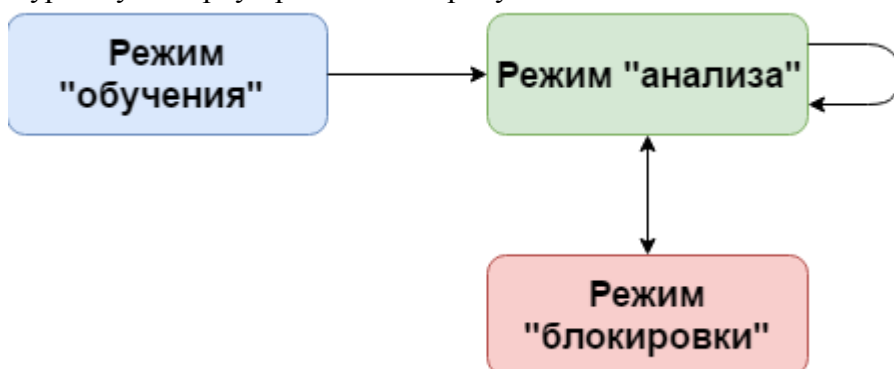


Рис. 1. Обобщенная схема работы системы

Преимущества рассмотренного метода аутентификации пользователя в компьютерных системах являются:

1) реализация метода аутентификации на программном уровне, что делает его наименее затратным среди других методов биометрической аутентификации, например, аутентификация по отпечаткам пальцев требует сканера отпечатков пальцев;

- 2) отсутствие у пользователя дополнительных действий, кроме привычных;
- 3) внедрение скрытой аутентификации.

Аутентификация по клавиатурному почерку в компьютерных системах обладает и рядом недостатков:

- 1) высокая зависимость от характеристик клавиатуры;
- 2) высокая зависимость от психофизического состояния пользователя;

Таким образом, аутентификация только с использованием клавиатурного почерка не надежна в системах, требующих высокого уровня защиты, но сочетание данного вида аутентификации с другими видами аутентификации, например, парольной, аутентификации с использованием рукописного почерка, является эффективной.

### **Библиографический список**

1. Горбунов И. В., Мещеряков Р. В. Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники - № 2-3 (24) / 2011
2. Salthouse T.A. Perceptual., cognitive, and motoric aspects of transcription typing // Psychol.Bull.1999.Vol. 3. P. 303 – 319.

# СЕКЦИЯ «МИКРОВОЛНОВАЯ, ОПТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А.Н. Дармаев, М.А. Кравченко, Э.К. Муравьев, В.М. Саблин

АО «НПП «Торий», г. Москва, Россия

*Аннотация.* В работе представлены результаты измерений температурных деформаций деталей катодно-подогревательного узла (КПУ) мощного многолучевого клистрона сантиметрового диапазона. Также приведены результаты численного моделирования КПУ, показывающие хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными данными.

*Ключевые слова:* электронная пушка, тепловые деформации, теплофизика, электронно-оптическая система.

## ELASTIC THERMAL DEFORMATIONS IN EOS UNITS MEASURING AND SIMULATION

A.N. Darmaev, M.A. Kravchenko, G.V. Melnichuk, E.K. Muravyev, V.M. Sablin

JSC «RPE«Toriy», Moscow, 117393Russia

*Abstract.* This paper presents the results of the thermal movement measurements of cathode-heating unit (CHU) details for a powerful C-band multi-beam klystron. There are also the numerical simulation results of the CHU, that shows the good agreement between the experimental and the calculated data.

*Keywords:* electron gun, thermal deformations, thermal physics, electron-optical system.

### I. Введение

При расчете электронно-оптической системы (ЭОС) параметры электронного потока (ток, радиус пучка в кроссовере и его положение относительно катода) определяются размерами деталей ЭОС и их взаимным расположением. Однако реальные параметры ЭОС отличаются от расчетных, из-за изменения взаиморасположения деталей ЭОС, обусловленных высокой температурой катода. Вопросы формирования электронных потоков с учетом термомеханических процессов в электронных пушках рассматривались в работах [1,2] и остаются актуальными вплоть до настоящего времени.

На рисунке 1 изображена конструкция исследуемого катодно-подогревательного узла. Требования к времени готовности клистрона, минимальной мощности накала подогревателя и электрической прочности устанавливают ограничения на минимальные габаритные размеры узла. Керамическая изоляция, материалы катодов, фокусирующего электрода, тепловых развязок и других деталей КПУ имеют разные теплофизические и термомеханические свойства, которые могут меняться в процессе нагрева. Кроме того, детали, изготовленные из одного и того же материала, могут находиться в разных температурных условиях и иметь резко неоднородное распределение температуры по своему объему. Совокупность этих факторов делает невозможной приближенную оценку изменений межэлектродных расстояний, которые особенно критичны в приборах коротковолновой части СВЧ диапазона.

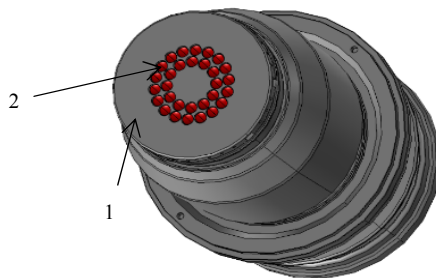
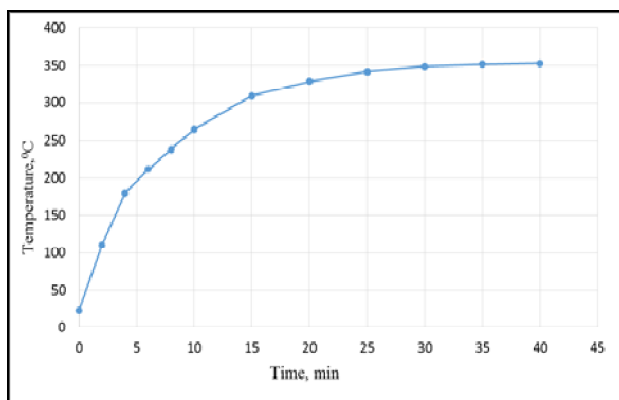


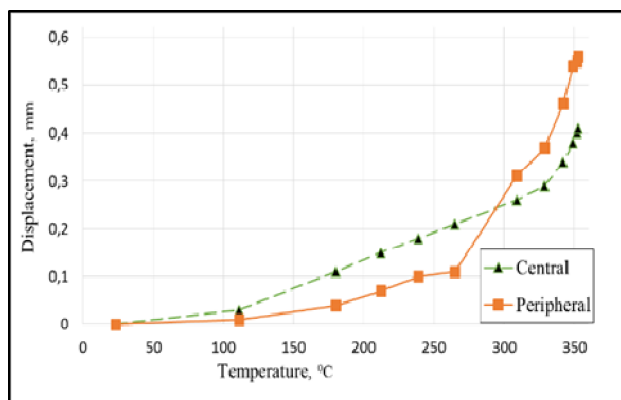
Рис. 1. Конструкция катодно-подогревательного узла: 1 – фокусирующий электрод; 2 – катоды

### II. Экспериментальное исследование

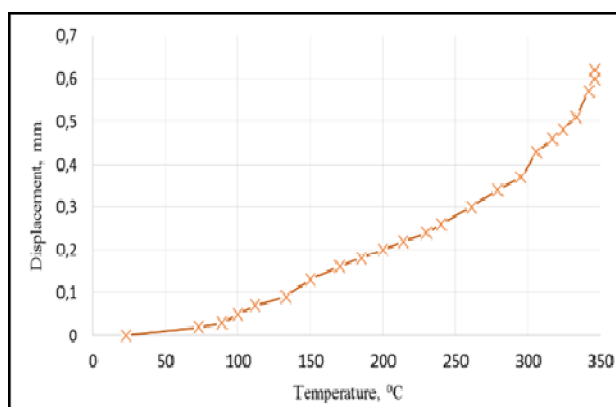
Экспериментальное определение деформаций узлов КПУ проводилось в вакуумной камере бесконтактным оптическим методом. Была проведена серия измерений зависимостей удлинения периферийной части фокусирующего электрода, центральной части электрода и катодов от времени. Температура фокусирующего электрода контролировалась термопарой. Температура катодов измерялась оптическим пирометром.



а)



б)



в)

Рис. 2. Зависимость температуры фокусирующего электрода от времени (а), тепловое выдвигание фокусирующего электрода (б), выдвигание катода (в)

На рисунке 2 представлен график зависимости температуры фокусирующего электрода от времени (а), графики зависимости выдвигания фокусирующего электрода от температуры (рис. б), график зависимости выдвигания катода от температуры (рис. в). Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с результатами расчетов.

### III. Численное моделирование

Был проведен численный расчет радиационно-кондуктивного теплообмена и анализ напряженно-деформированного состояния КПУ. Тепловое излучение является основным механизмом теплопередачи от подогревателя к деталям КПУ и в окружающее пространство, что осложнило процесс расчета. Величины потоков результирующего излучения определялись численными методами [3]. На рисунке 3 представлена картина распределения температуры (а), картина деформаций (б), эпюра деформации фокусирующего электрода (в).



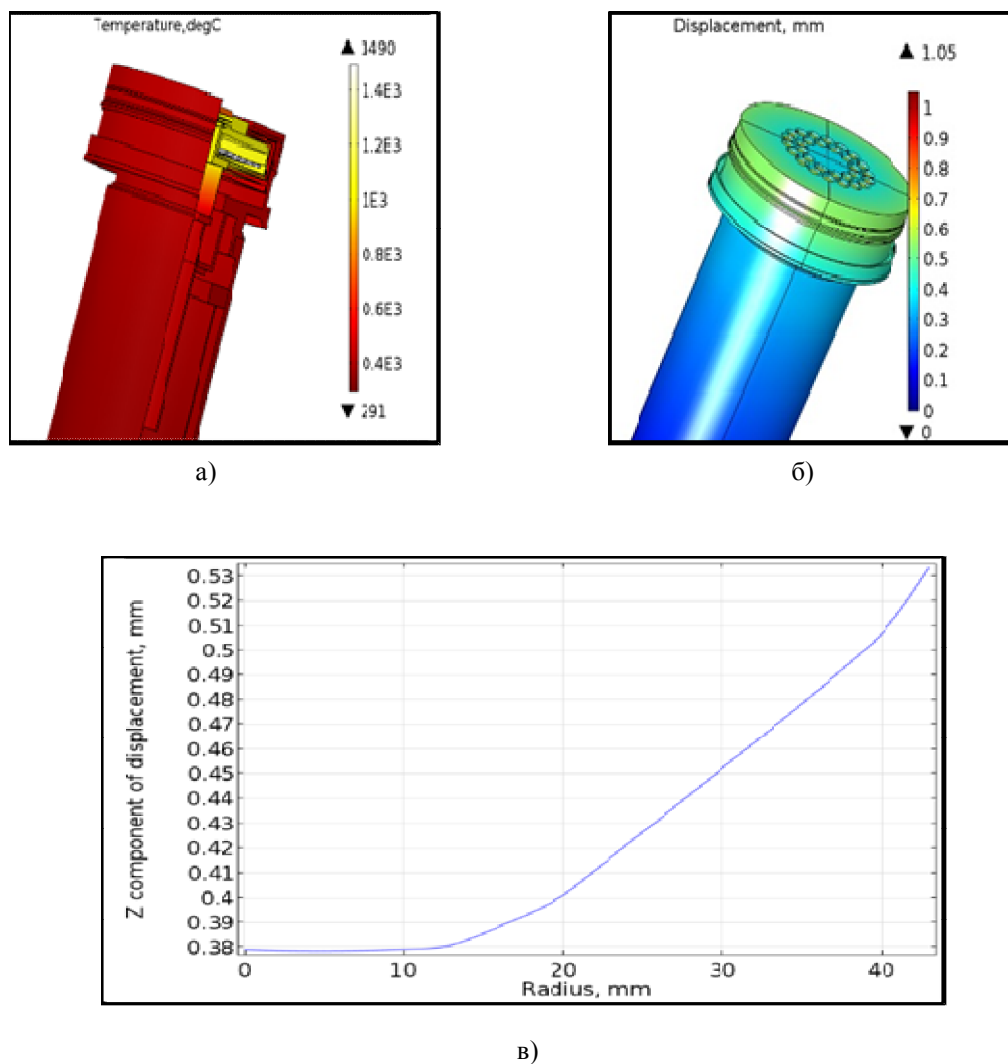


Рис. 3. Температурное поле в модели КПУ (а); упругие деформации модели КПУ (б); эпюра деформации фокусирующего электрода (в)

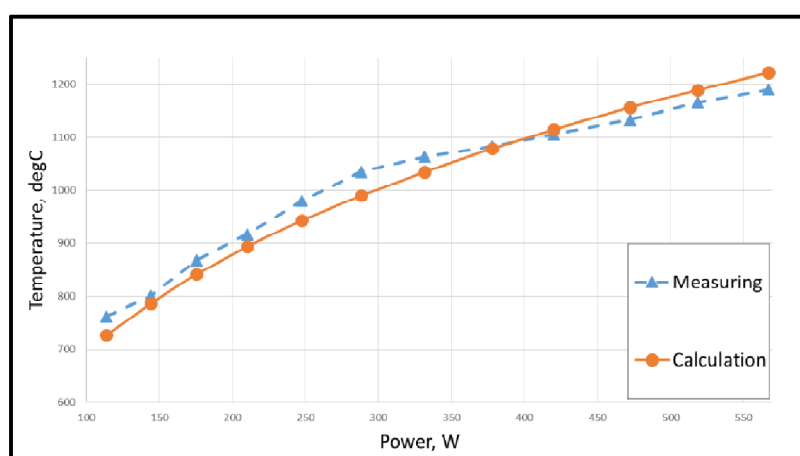


Рис. 4. Измеренная и рассчитанная температура катодов

На рисунке 4 изображены графики зависимости температуры катодов от мощности накала подогревателя катодов, полученные по результатам пирометрирования и численного моделирования.

Полученные данные по тепловым выдвиганиям узлов КПУ позволили определить изменение положения фокусирующего электрода относительно катодов и анода при длительной работе клистрона. По полученным межэлектродным расстояниям численными методами была рассчитана вольтамперная характеристика электронной пушки. На рисунке 5 изображены экспериментальная и рассчитанная вольтамперные характеристики.

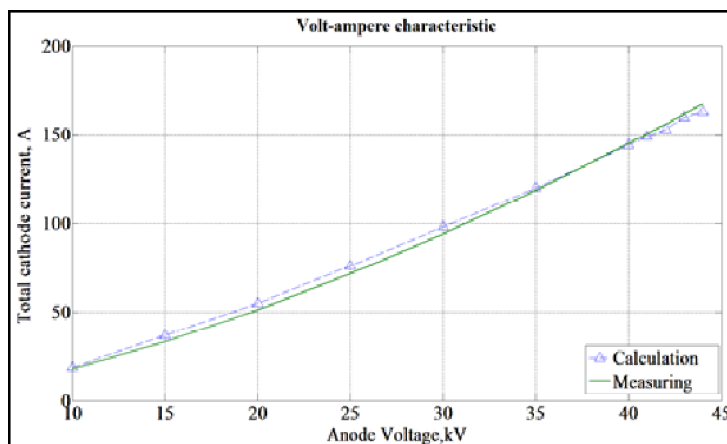


Рис. 5. Расчетная и экспериментальная ВАХ ЭОС клистрона

### Библиографический список

1. Забирова Е.Г., Морев С.П., Якунин А.Н. «Комплексный анализ теплофизических, термомеханических и электронно-оптических процессов в электронных пушках ЭВП СВЧ». Электроника СВЧ.-1986 г.
2. Щербаков Ю.Н., Якунин А.Н. «Анализ напряженно-деформированного состояния сеточного узла ЭВП СВЧ с учетом физической нелинейности материалов». Саратов:СПИ.1991 г.
3. E.M.Sparrow, R.D.Cess 'Radiation heat transfer', Brooks/Cole publishing company, Belmont, California.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АВТОЭМИССИОННЫХ ЯЧЕЕК С БОЛЬШИМ АСПЕКТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ЭМИТТЕРОВ ИЗ СТЕКЛОУГЛЕРОДА

А.Н. Дармаев\*, Д.А. Комаров\*\*\*, С.П. Морев\*\*\*, Э.К. Муравьев\*,  
Д.А. Бессонов\*\*\*, Т.Н. Соколова\*\*\*, Е.Л. Сурменко\*\*\*,  
П.Д. Шалаев\*\*\*\*, В.И. Шестеркин\*\*\*\*

\* АО Научно-производственное предприятие «Торий», г. Москва, npptoriy@mtu-net.ru

\*\* Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва,

\*\*\* Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов,

\*\*\*\* АО Научно-производственное предприятие «Алмаз», г. Саратов

**Аннотация.** Представлены результаты исследования автоэмиссионных катодных ячеек с большим аспектным отношением вертикально расположенных эмиттеров из стеклоуглерода, предназначенных для использования в СВЧ приборах. Показана возможность создания ЭОС с автоэмиссионными катодными матрицами для СВЧ приборов О типа.

**Ключевые слова:** автоэмиссионные катоды, электронно-оптическая система, СВЧ приборы О типа

## FIELD EMISSION CELLS WITH HIGH ASPECT RATIO OF GLASSY VERTICAL EMITTERS AND ELECTRON GUNS BASED ON THEM

A.N. Darmaev\*, D.A. Komarov\*\*\*, S.P. Morev\*\*\*, E.K. Muravyev\*, D.A. Bessonov\*\*\*, T.N. Sokolova\*\*\*, E.L. Surmenko\*\*\*, P.D. Shalae\*\*\*\*, V.I. Shesterkin\*\*\*\*

\* JSC "RPE "Toriy", Moscow, Russia, npptoriy@mtu-net.ru

\*\* National Research Nuclear University MPhI, Moscow, Russia

\*\*\* Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

\*\*\*\* JSC "RPE "Almaz", Saratov, Russia

**Abstract.** The results of the research of the field emission cells with a large aspect ratio of vertically-oriented emitters made of glassy carbon for use in microwave devices are presented. The possi-

bility of developing electron optical systems (EOSs) with field emission cathode matrices for microwave devices such as O-type microwave tubes is shown.

*Keywords:* field emission cathodes, the electron-optical system, O-type microwave devices.

## 1. Введение

Многообразные модификации углеродных материалов (углеродные нанотрубки и волокна, острия из стеклоуглерода, алмазоподобные пленки и тому подобное) продолжают быть перспективными материалами для автоэмиссионных катодов различных электровакуумных устройств, из-за возможности получения стабильной автоэлектронной эмиссии катодов при техническом вакууме.

В докладе представлены результаты расчета ЭОС на основе автоэмиссионных ячеек с большим аспектным соотношением. Приведены результаты исследования автоэмиссионных катодных ячеек с вертикально расположенными эмиттерами из стеклоуглерода СУ-2000.

## 2. Расчет и моделирование

Были рассмотрены автоэмиссионные ячейки (рис.1а) с эмиттерами, размеры которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Размеры	№1	№2
D1, мкм	480	480
d, мкм	130	50
d1, мкм	40	40
L, мкм	200	200
□, мкм	120	140
h, мкм	1070	430
r, мкм	3.5	5.0

Отношение высоты острия №1 к радиусу кривизны его вершины составило  $(h/r)=305$ , а для острия №2 –  $(h/r)=86$ .

Для получения большей величины электрического поля на поверхности эмиттера (рис.1б), центры острий были погружены в отверстие сеточной структуры.

В таблице 2 представлена расчетная зависимость величины тока с острия №2 при смещении его от края отверстия сетки к ее центру и напряжении на сетке и аноде, равном  $U=2350$  В.

Таблица 2

d, мкм	50	100	150	200	240
I, мА	7.91	0.69	0,2	0.11	0.09

Для восстановления величины тока при расположении иглы в центре отверстия до прежнего значения тока в ячейке со смещенной иглой при  $d_1=50$  мкм достаточно было увеличить напряжение на сетке и аноде до  $U=3000$  В.

Для ячейки с острием №1 значение тока при  $U=2350$  В получилось больше за счет большего аспектного отношения.

Смещение иглы к краю отверстия позволило сделать автоэмиссионную ячейку низковольтней, обеспечить лучшую защиту острия от ионного потока, однако привело к существенному (до 40% катодного тока) оседанию потока на сетку (рис.2а,б).

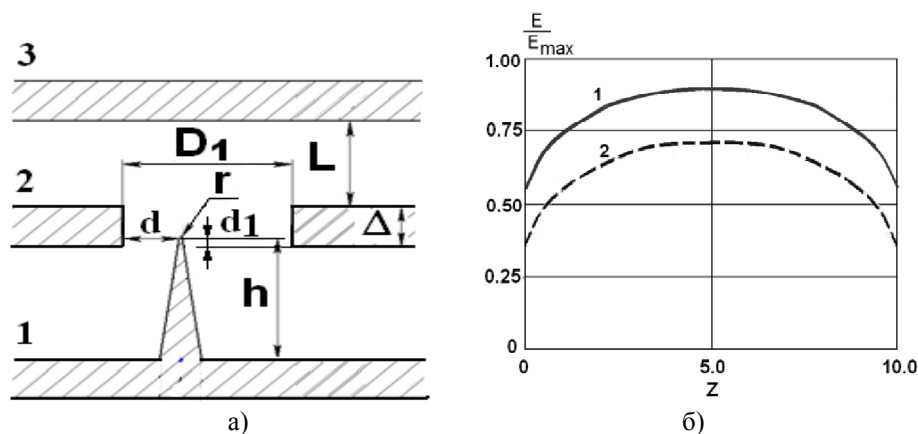


Рис. 1. Схематическое изображение автоэмиссионной ячейки: 1 – катод, 2 – сетка, 3 – анод,  $h$  – высота иглы,  $r$  – радиус кривизны острия (а) и распределение электрического поля на вершине иглы (б)

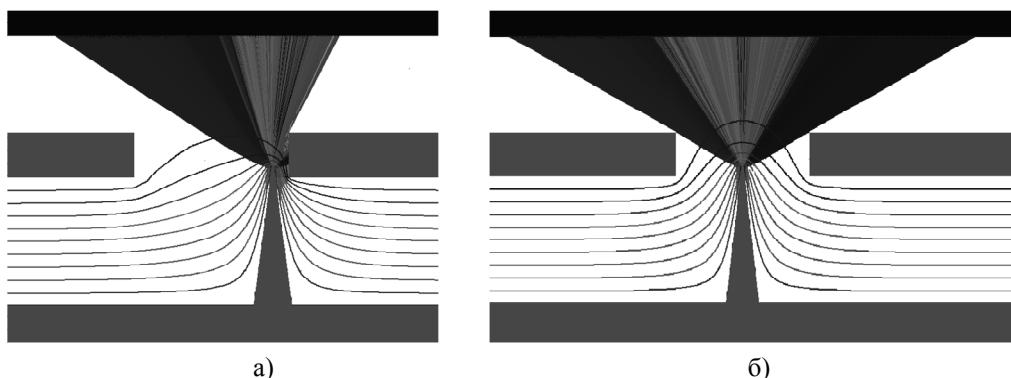
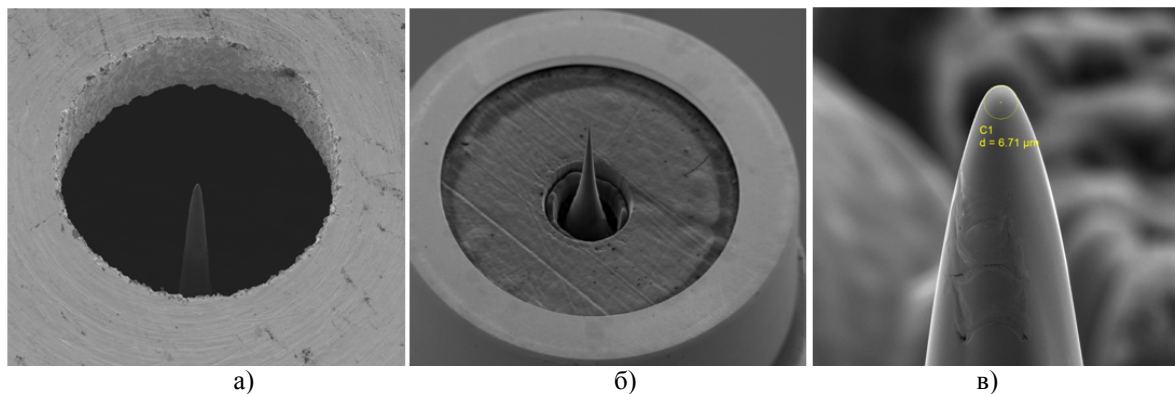


Рис. 2. Распределение электрического потенциала и траектории в ячейке №2:  $d=50$  мкм (а),  $d=240$  мкм (б) при напряжении  $U=2350$  В

### 3. Эксперимент

Рассматривались ячейки с одним и семью остриями (рис.3а-в), изготовленными методом лазерного фрезерования[1,2].

Измерения тока в автоэмиссионных ячейках проводились в импульсном режиме (длительность импульса 18 мкс, скважность 650) при непрерывном процессе откачки объема вакуумной камеры. Изготовленный автоэмиссионный катод с уединенным острием устанавливался в экспериментальный макет без предварительной химической или плазменной очистки катода. Измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) проведено при давлении остаточных газов  $5.8 \times 10^{-7}$  тор.



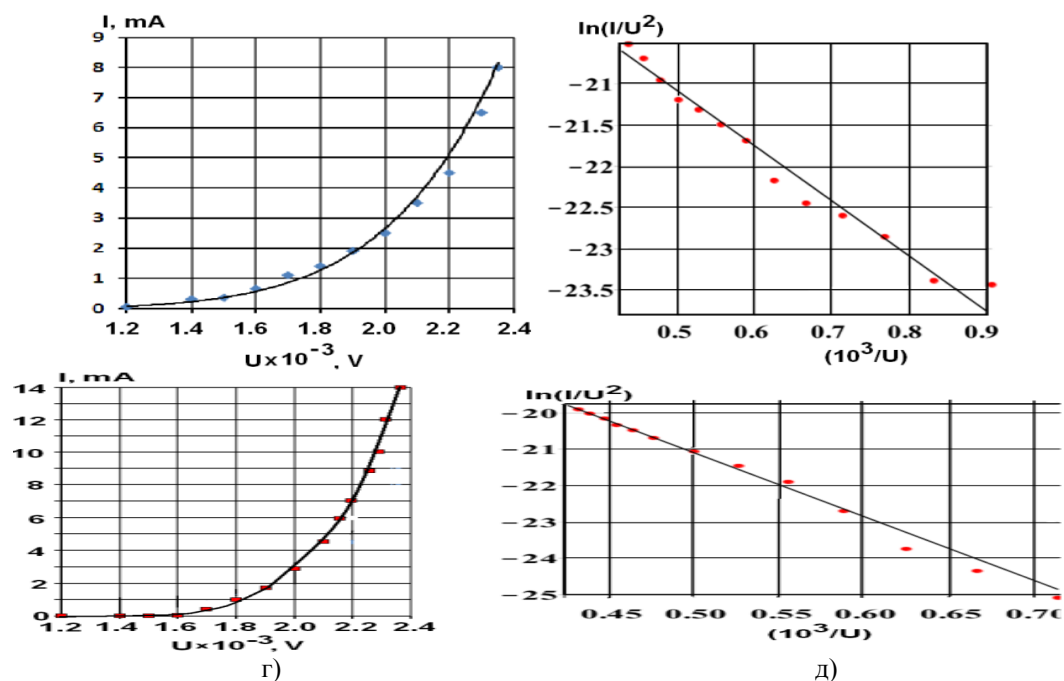


Рис. 3. Фото катодно-сеточной узла (а), катода (б) и вершины уединенного острия (в) и экспериментальные ВАХ в координатах  $I, U$  и Фаулера-Нордгейма для острий №1 (г) и №2 (д)

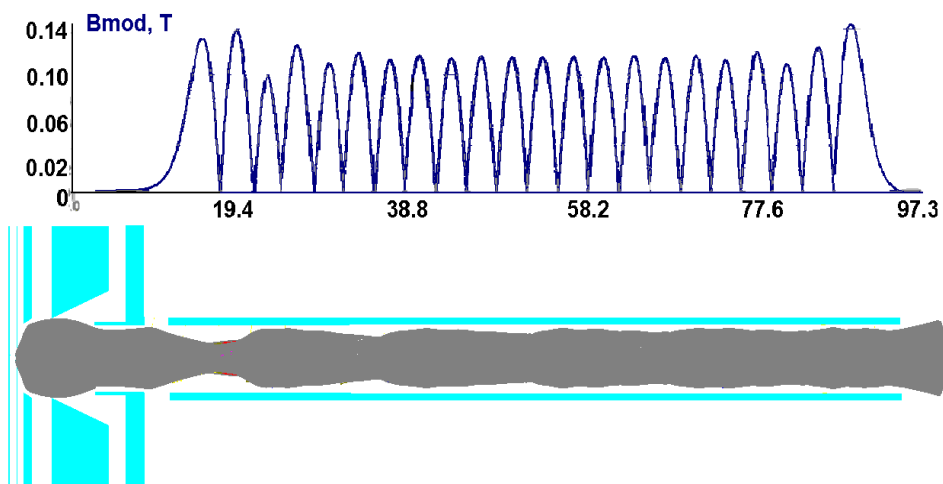


Рис. 4. Распределение модуля продольной компоненты индукции магнитного поля МПФС с амплитудой 0,14 Тл и периодом 7.0 мм, и транспортировка электронного потока в пролетном канале.  $U_0=20000$  В,  $I_0=49$  мА

#### 4. Электронно-оптическая система

На основе проведенного цикла численных и экспериментальных исследований были спроектированы электронные пушки с катодными структурами, содержащими одно, семь и девятнадцать острий высотой  $h=730\text{ мкм}$  и радиусом кривизны острий  $r=2.5\text{ мкм}$ . Электронные пушки формировали пучки с токами 7 мА, 49 мА и 120 мА соответственно при напряжении на сетке 2000 В. В качестве примера на рисунке 4 представлен результат расчета пучка, сформированного семилучевой электронной пушкой, который прошел без оседания на канал транспортировки диаметром 6.0 мм, протяженностью 90 мм при фокусировке МПФС.

#### Библиографический список

1. T.N. Sokolova, A.V. Konyushin, E.L. Surmenko et al. // Pat. RU № 2526240, 20.08.2014.
2. V.I. Shesterkin, T.N. Sokolova, S.P. Morev, et al. // "Improvement in the Properties of Glassy-Carbon Field-Emission Cells in Forming Spikes with a High Aspect Ratio via Laser Milling," *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2016, Vol. 61, No. 9, pp. 1044–1051.

УДК 621.373; ГРНТИ 47.14.13

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КЛЮЧИ ДЛЯ ВЫХОДНЫХ КАСКАДОВ СЕТОЧНЫХ МОДУЛЯТОРОВ МОЩНЫХ СВЧ ПРИБОРОВ

А.С. Серебрякова\*, А.И. Козлов\*\*, С.П. Масленников\*\*, И.С. Масленникова\*\*

\* АО «НПП «Торий»,

Россия, Москва, [ASSeryabryakova@mephi.ru](mailto:ASSeryabryakova@mephi.ru)

\*\* Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,

Россия, Москва, [SPMaslennikov@mephi.ru](mailto:SPMaslennikov@mephi.ru)

*Аннотация.* В данной работе рассмотрены вопросы разработки высоковольтных составных ключей, построенных на основе последовательно соединенных МОП-транзисторов. Экспериментально реализованы полупроводниковые ключи с рабочими напряжениями до 10 кВ и импульсными токами до 12 А, которые могут быть использованы в выходных каскадах сеточных модуляторов мощных СВЧ приборов.

*Ключевые слова:* импульсный сеточный модулятор, мощные СВЧ приборы, полупроводниковые ключи

### SEMICONDUCTOR SWITCHES FOR OUTPUT STAGES OF POWER MICROWAVE DEVICE GRID MODULATORS

A.S. Serebryakova\*, A.I. Kozlov\*\*, S.P. Maslennikov\*\*, I.S. Maslennikova\*\*

\* Join Stock Company «S&P Corporation «Toriy»,

Russia, Moscow, [ASSerebryakova@mephi.ru](mailto:ASSerebryakova@mephi.ru)

\*\* National Research Nuclear University MEPhI,

Russia, Moscow, [SPMaslennikov@mephi.ru](mailto:SPMaslennikov@mephi.ru)

*Abstract.* The paper discusses the development of high-voltage composite switches constructed on the basis of series-connected MOSFETs. The semiconductor switches with operating voltages up to 10 kV and pulsed currents up to 12 A were experimentally implemented, which could be used in output stages of power microwave device grid modulators.

*Keywords:* pulsed grid modulator, power microwave devices, semiconductor switches

#### 1. Введение

Высоковольтные импульсные генераторы составляют основу систем электропитания мощных импульсных электрофизических установок в таких областях науки и техники, как медицина, лазерные технологии, радиолокация, электроразрядные технологии обработки материалов и т.д. [1-5]. Параметры импульсов высокого напряжения, а также интегральные массогабаритные и ресурсные показатели импульсных генераторов зависят от типа используемых в них высоковольтных коммутаторов. До настоящего времени для широкого круга приложений задачи переключения цепей на высоком напряжении решаются на основе использования электровакуумных и газоразрядных коммутаторов [3-5], которые зачастую не удовлетворяют современным требованиям по целому ряду ключевых параметров. Повышение эффективности импульсных генераторов может быть достигнуто за счет использования в их схемах современных полупроводниковых элементов.

Для создания модуляторов, обеспечивающих генерацию импульсов высокого напряжения с амплитудами до нескольких десятков киловольт для управления мощными СВЧ приборами, могут применяться составные полупроводниковые ключи (СПК), построенные по модульному принципу из последовательно и параллельно соединенных МОП-транзисторов или биполярных транзисторов с изолированным затвором. Возможности увеличения переключаемых напряжений и токов составных коммутаторов путем их масштабирования (увеличения числа транзисторов) позволяют использовать их в модуляторах с широким диапазоном выходных параметров и независимой регулировкой амплитуды, длительности и частоты повторения импульсов.

## 2. Структура высоковольтных ключей

В основе построения СПК лежит принцип использования коротких ( $<10^{-6}$  с) разнополярных импульсов управления МОП-транзисторами или биполярными транзисторами с изолированным затвором. Транзисторы этих типов способны в течение относительно длительного времени ( $>10^{-3}$  с) сохранять напряжение на затворе, что позволяет им оставаться в проводящем состоянии до момента подачи соответствующего импульса запирающего. Подобный метод управления широко используется при создании высоковольтных твердотельных коммутаторов для генераторов различных областей применения [4-6].

На рисунке 1 представлена структурная схема СПК, построенного на основе цепочки последовательно включенных транзисторных модулей (ТМ), каждый из которых имеет собственную схему управления модуля (СУМ). Переключение ТМ осуществляется под контролем формирователя импульсов управления (ФИУ), генерирующего последовательность разнополярных импульсов отпирающего и запирающего с длительностью  $\sim 0,5$  мкс.

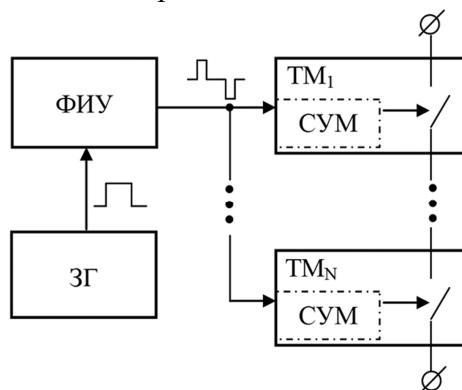


Рис. 1. Структурная схема составного ключа

Положительный импульс для отпирающего ключа генерируется синхронно с фронтом внешнего импульса управления, поступающего от задающего генератора (ЗГ). Длительность этого импульса определяет время нахождения ключа во включенном состоянии. Отрицательный импульс для запирающего составного ключа формируется по спаду внешнего импульса управления. Сигналы ФИУ синхронно передаются на отдельные ТМ составного коммутатора через импульсные трансформаторы тока, которые обеспечивают гальваническую развязку цепей на полное рабочее напряжение.

На основе двух однотипных СПК может быть построен единый коммутационный блок для использования в выходных каскадах импульсных модуляторов мощных СВЧ приборов [6]. Один из ключей является зарядным (ЗК): при его включении формируется фронт и вершина импульса на выходе модулятора. При срабатывании разрядного ключа (РК) формируется спад выходного импульса.

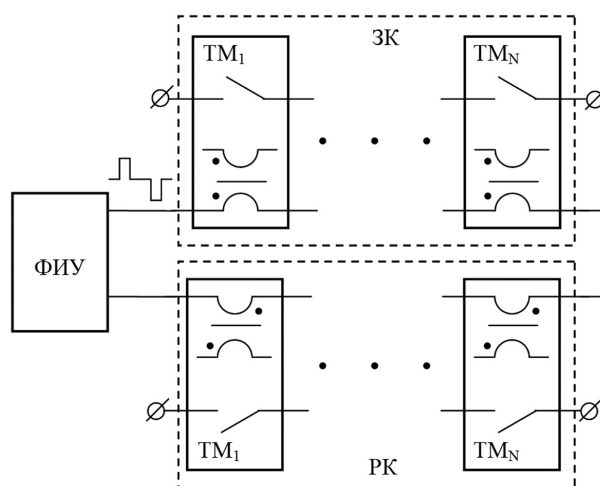


Рис. 2. Схема управления коммутационного блока импульсного модулятора

На рисунке 2 представлена схема управления коммутационного блока на основе двух СПК, управляемых от единого ФИУ. Импульсы управления передаются на схемы ТМ через индивидуальные трансформаторы тока с инверсией их полярности, обеспечиваемой за счет изменения направления включения обмоток импульсных трансформаторов в ЗК и РК.

### 3. Схемы транзисторных модулей

К настоящему времени предложены и апробированы различные варианты исполнения схем управления силовыми транзисторами в составе СПК. Применяемые схемы отличаются по своей структуре, элементной базе, способам передачи импульсов управления на силовые транзисторы и т.д. Конкретный выбор схемного исполнения ТМ определяется разработчиком с учетом характеристик используемых силовых транзисторов и предполагаемых условий эксплуатации коммутаторов.

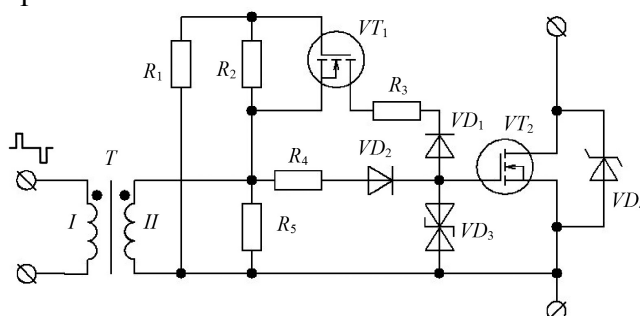


Рис. 3. Схема ТМ с униполярным режимом управления

На рисунке 3 представлена схема ТМ, примененная в разработанных СПК. В схеме реализован униполярный режим управления, при котором в паузе между импульсами отпирания и запираания сохраняется положительный потенциал на затворе силового транзистора  $VT_2$ . Для предотвращения перенапряжений, возникающих на силовых транзисторах, параллельно им установлена сборка защитных диодов  $VD_4$ . В качестве силовых ключей в разработанных ТМ использованы МОП-транзисторы STW4N150, позволяющие переключать напряжения до 1,5 кВ при импульсных токах до 12 А.

Импульсы управления с выхода ФИУ подаются на первичную обмотку импульсного трансформатора тока ( $T$ ). Одновитковая первичная обмотка трансформатора выполнена высоковольтным проводом, который последовательно проходит через кольцевые сердечники трансформаторов всех ТМ, входящих в сборку СПК.

Перед монтажом комплектов ТМ в единую высоковольтную сборку проводился промежуточный контроль синхронности их срабатывания. В результате цикла испытаний опытные образцы ТМ продемонстрировали близкие динамические характеристики: суммарный разброс времени задержки и переключения составил менее 10 нс. Последующие исследования режимов работы экспериментальных образцов СПК подтвердили допустимость использования в них комплектов ТМ с таким временным разбросом срабатывания.



#### 4. Результаты испытаний составных ключей

Экспериментальные образцы высоковольтных СПК построены на основе последовательно включенных ТМ, которые выполнены в виде отдельных печатных плат. Число ТМ, входящих в конструктивную сборку СПК, определяется типом силовых транзисторов и заданным уровнем рабочих напряжений. На основе восьми ТМ с МОП-транзисторами типа STW4N150 были созданы коммутаторы на рабочие напряжения до 10 кВ и импульсный ток до 12 А.

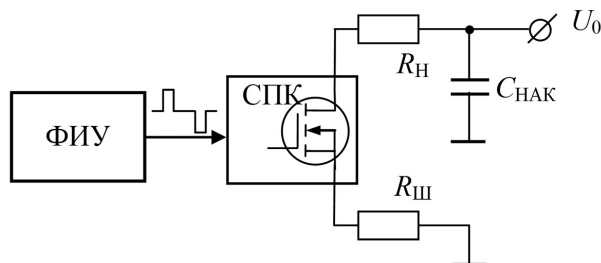


Рис. 4. Схема испытаний составных ключей

Испытания коммутаторов проводились с использованием экспериментальной схемы, представленной на рисунке 4. Эквивалентная нагрузка ( $R_H$ ) подключалась к стоку СПК, где с помощью делителя напряжения типа Tektronix P6015A проводилась регистрация импульсов напряжения. Параметры импульсных токов, протекающих через СПК, определялись по сигналам на резистивном шунте ( $R_{Ш}=10$  Ом). В качестве емкостного накопителя энергии в схеме использован импульсный конденсатор с емкостью  $C_{НАК}=0,25$  мкФ. Максимальное зарядное напряжение в проведенных испытаниях составляло  $U_0=10$  кВ.

На рисунке 5 представлены осциллограммы импульсов напряжения в стоке (1) и импульсов тока (2) на фазах отпирания (а) и запираания (б) СПК, срабатывающего в схеме с нагрузкой  $R_H=10$  кОм при коммутируемом напряжении  $U_0=10$  кВ. Для импульса тока, протекающего через СПК, характерно формирование в его начальной части короткого выброса, возникающего из-за процессов перезарядки собственных емкостей нагрузки и СПК. Длительность этого выброса для рассмотренного режима составляет  $\sim 30$  нс, его амплитуда достигает  $\sim 7$  А. При этом амплитуда импульса тока на его плоской вершине составляет около 1 А. Время спада токового импульса, которое определяется скоростью запираания силовых транзисторов в составе СПК, не превышает 30 нс.

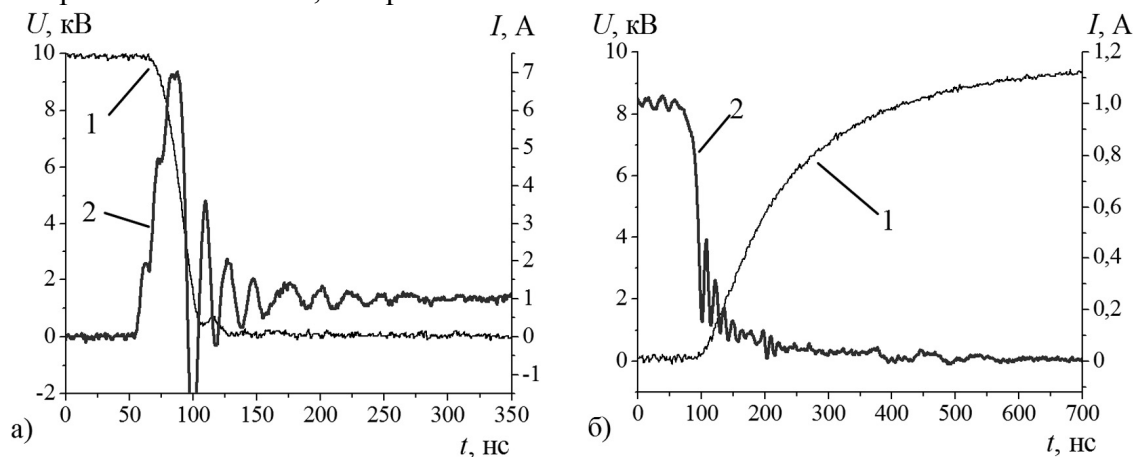


Рис. 5. Импульсы напряжения на стоке (1) и импульсы тока (2) СПК: а) отпирание; б) запираание

Фронт импульса напряжения на стоке СПК имеет длительность не более 30...40 нс. В то же время на формирование спада импульса затрачивается  $\sim 300...400$  нс. Затянутая длительность спада импульса напряжения определяется динамикой процесса перезарядки емкости нагрузки через ее активное сопротивление после запираания СПК.

## Заключение

В результате выполненных работ были предложены схемные и конструктивные решения, на основе которых были созданы составные полупроводниковые ключи с рабочими напряжениями до 10 кВ, импульсными токами до 12 А и временами переключения менее 50 нс. Проведенные испытания показали, что разработанные полупроводниковые ключи могут быть использованы в выходных каскадах схем импульсных сеточных модуляторов мощных СВЧ приборов.

## Библиографический список

1. Скупяко М.В. Сеточные твердотельные модуляторы для передающих устройств РЛС / М.В. Скупяко, А.Ю. Млинник, С.В. Монин // Успехи современной радиоэлектроники. 2014. №3. С.67-71.
2. Малашин М.В. Высоковольтные твердотельные ключи микросекундного диапазона / М.В. Малашин, С.И. Мошкунов, И.Е. Ребров [и др.] // ПТЭ. 2014. № 2. С. 53-56.
3. Крастелев Е.Г. Генератор высоковольтных наносекундных импульсов для возбуждения диффузных газовых разрядов при атмосферном давлении / Е.Г. Крастелев, С.П. Масленников, Э.Я. Школьников // ПТЭ. 2009. №5. С. 98-101
4. Лай Г.Ю. Экспериментальный комплекс для исследования возбуждения импульсно-периодического диффузного разряда с целью стерилизации медицинского инструментария / Г.Ю. Лай, С.П. Масленников, Э.Я. Школьников // ПТЭ. 2004. №4. С. 109-113
5. Алферов Д.Ф. Блок запуска сильноточного управляемого вакуумного разрядника / Д.Ф. Алферов, Е.Г. Крастелев, С.П. Масленников // ПТЭ. 2016. № 2. С. 84–90
6. Серебрякова А.С. Твердотельный блок коммутации для модуляторов мощных СВЧ-приборов / А.С. Серебрякова, С.П. Масленников // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2016 : мат. межд. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2016. Т.2. С. 351-356  
УДК 621.373.826; ГРНТИ 29.33.15

УДК 621.385.6

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕВЕРСНОЙ ФОКУСИРОВКИ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В КЛИСТРОНЕ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ЭНЕРГИЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ПОТОКА

А.Н. Дармаев\*, Д.А. Комаров\*\*, М.А. Кравченко\*\*,

Г.В. Мельничук\*, С.П. Морев\*\*, Э.К. Муравьев\*, В.М. Саблин\*

\*АО Научно-производственное предприятие «Торий», г. Москва [npptoriy@mtu-net.ru](mailto:npptoriy@mtu-net.ru)

\*\*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

**Аннотация.** Представлены результаты расчетов формирования и транспортировки электронного потока в многолучевой системе клистрона с реверсной фокусировкой магнитным полем при различных потенциалах на модулирующем электроде или резонаторной системе. Показана возможность использования многолучевых клистронов для ускорительных систем, работающих в режимах с различной энергией или мощностью потока.

**Ключевые слова:** управление мощностью или энергией электронного потока, многолучевая электронно-оптическая система, реверсная магнитная система, клистроны.

## ABOUT THE POSSIBILITY OF USE OF REVERSE FOCUSING BY MAGNETIC FIELD IN THE KLYSTRON WITH CHANGEABLE ENERGY OF THE ELECTRONIC STREAM

A. N. Darmaev\*, D. A. Komarov\*\*, M. A. Kravchenko\*\*,

G. V. Melnichuk\*, S. P. Morev\*\*, E. K. Muravyev\*, V. M. Sablin\*

\*JSC "RPE "Toriy", Moscow, Russia, [npptoriy@mtu-net.ru](mailto:npptoriy@mtu-net.ru)

\*\*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

**Abstract.** Results of calculations of formation and transportation of an electronic stream in multibeam system of a klystron with reverse focusing by magnetic field are presented at various potentials on the modulating electrode or resonator system. The possibility of use of multibeam klystrons for the accelerating systems working in the modes with various energy or power of a stream is shown.

**Keywords:** management of power or energy of an electronic stream, multibeam electron-optical system, reverse magnetic system, klystrons.

## 1. Введение

В последнее время усилился интерес к клистронным усилителям, применяемым в различных ускорительных комплексах, и работающих при различных токах (мощности) пучка или различной энергии (ускоряющем напряжении) пучка.

В докладе представлены результаты расчета транспортировки частичного электронного потока многолучевой ЭОС с реверсной фокусировкой магнитным полем, при различных напряжениях на резонаторной системе или при различных токах пучка и постоянном напряжении на резонаторной системе. Приведены результаты, свидетельствующие о возможности использования различных режимов работы всего комплекса без замены клистрона.

## 2. Проведение расчетов и обсуждение полученных результатов

Была рассмотрена ЭОС многолучевого клистрона с реверсной магнитной фокусирующей системой (рис. 1), основные характеристики которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры ЭОС

Ток пучка, А	7,5
Ускоряющее напряжение, кВ	52
Микропервеанс, мкА/В <sup>3/2</sup>	0,63
Диаметр катода, мм	8,7
Диаметр канала, мм	6,5
Амплитуда поля на оси, Тл	0,143
Плотность тока на катоде, А/см <sup>2</sup>	12,7
Бриллюэновский радиус пучка, мм	1,25
Заполнение канала пучком	0,4
Число лучей	40

Значения первых пяти гармоник магнитного поля в ячейке в такой реверсной системе, отнесенные к амплитуде магнитного поля ( $b_1=B_1/B_0$ ) составили следующие величины:

$$b_1=0.18, b_3=0.052, b_5=0.022, b_7=0.0083, b_9=-0.0012.$$

Результаты расчетов фокусировки произвольного электрона пучка в магнитном поле в параксиальном приближении (при параметре магнитного поля  $\alpha = 2.8 \times 10^8 B_0^2 L^2 / U$ , где  $L$  – удвоенное расстояние между нулями магнитного поля в ячейке реверсной магнитной системы, показали, что в рабочем режиме  $U=52$  кВ пучок находится в зоне неустойчивой фокусировки ( $\alpha=2,3$ ).

Тем не менее, за счет небольшого изменения амплитуд и полупериодов магнитного поля в ячейках реверсной системы можно обеспечить условия, при которых в каждую последующую ячейку электронный поток будет поступать с нулевым наклоном и радиальным значением границы пучка таким, что пульсации электронного потока в ячейке будут минимальными. В этом случае, из-за малого количества ячеек реверсной магнитной системы, нарастание радиальных значений границы пучка будет незначительно и обеспечит транспортировку электронного потока через пролетный канал без потерь (рис. 2с).

При нарушении оптимальных условий влета пучка [1,2] в ячейки реверсной магнитной системы из-за изменения потенциала на управляющем электроде  $U_{\text{mod}}$  (рис.2а) радиальное значение границы пучка нарастает вплоть до появления аномально высокого оседания потока на пролетный канал (рис.2d).

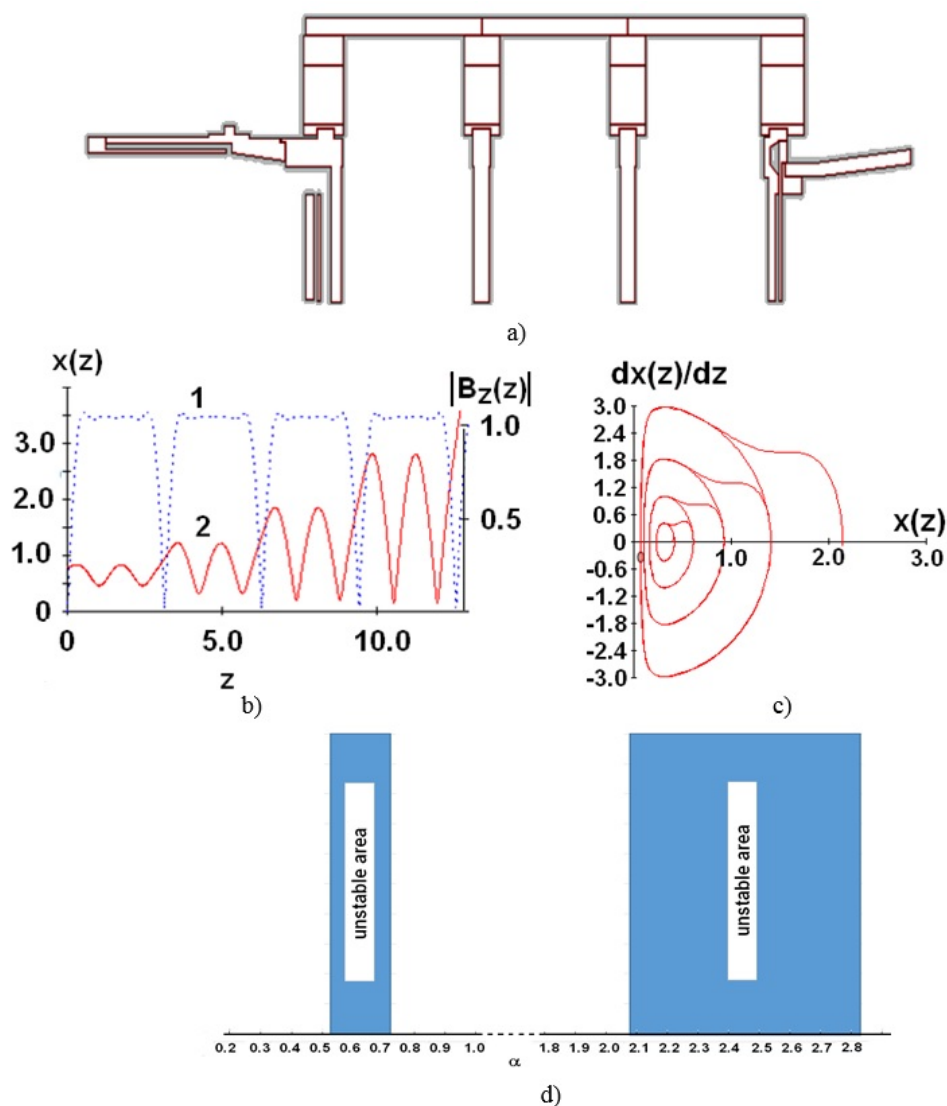


Рис. 1. Схематическое изображение реверсной магнитной системы (а), распределение модуля продольной компоненты индукции магнитного поля (1) и радиальное положение электрона (2) вдоль ЭОС (б) и его фазовый портрет (с), зависимость положения зон неустойчивой фокусировки частичной электронного потока в пролетном канале транспортировки от  $\alpha$  (д)

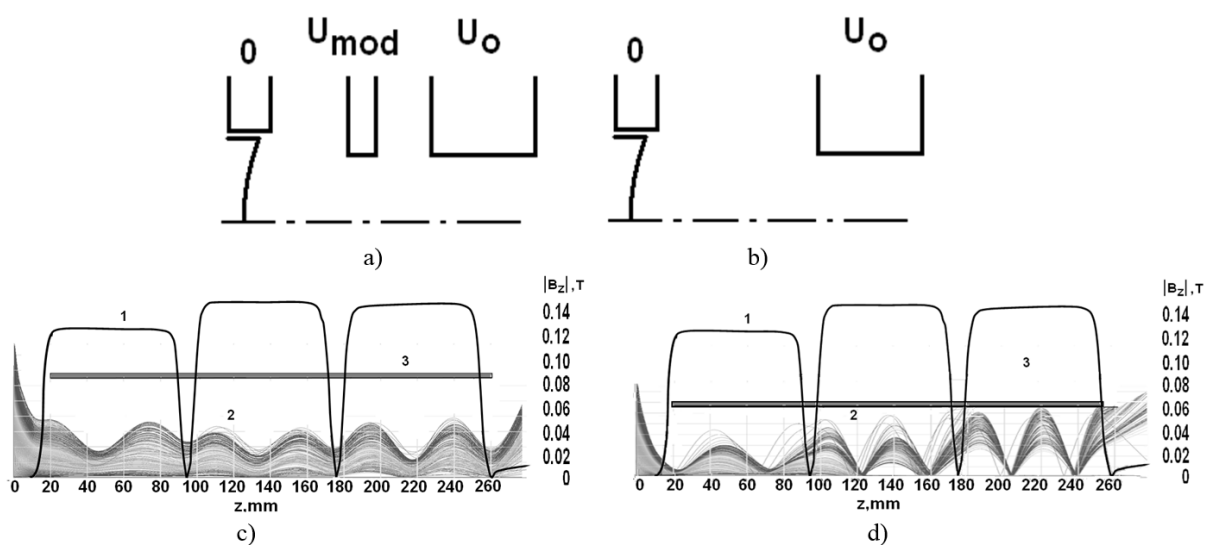


Рис. 2. Схематическое изображение частичной триодной (а) и диодной (б) пушки, транспортировка электронного потока в оптимизированной реверсной магнитной системе в номинальном режиме  $U_0=52\text{kV}$  (с) и при  $U_0=30\text{kV}$  (д)

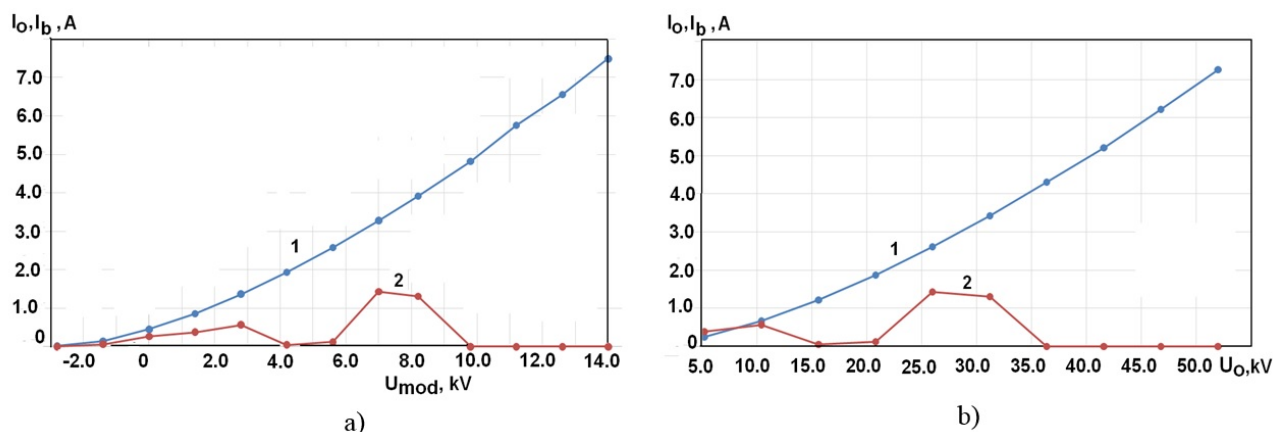


Рис. 3. Зависимости тока пучка (1) и тока на резонаторную систему (2) в парциальной ЭОС от потенциала на управляющем электроде (а) ( $U_o = 52$  кВ) и от потенциала резонаторной системы (б)

Из-за изменения потенциала на резонаторной системе (рис.2б) оптимальные условия влета пучка в ячейки реверсной магнитной системы тоже нарушаются (меняется длина волны пульсаций пучка) и происходит оседание части электронного потока на пролетный канал (рис.2б).

### 3. Заключение

Полученные и представленные на рисунке 3 зависимости позволяют выбрать безопасные режимы работы клистрона при изменении либо мощности электронного потока (при постоянном  $U_o$ ), либо при изменении энергии пучка (при изменении  $U_o$ ).

### Библиографический список

1. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М., 1966.-456с.
2. Дармаев А. Н., Морев С. П. Повышение параметра магнитного поля в фокусирующих системах с негармоническим распределением магнитного поля/Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2006. Материалы международной научно-технической конференции, Саратов, 2006, С. 382-389.

УДК 621.373.826; ГРНТИ 29.33.15

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ЧАСТОТНОЙ ПОДСТАВКИ В ТРИАДЕ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПОВ

**В.С. Зимин, В.Ю. Мишин, Д.А. Морозов**

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, mischinvalera@yandex.ru*

*Аннотация.* Данная работа посвящена исследованию перекрестного влияния в триаде лазерных гироскопов с вибрационными частотными подставками.

*Ключевые слова:* лазерный гироскоп, порог захвата, вибрационная частотная подставка

## ESPECIALLY THE FUNCTIONING OF THE MECHANICAL DITHER IN THE TRIAD OF LASER GIROSKOPES

**V.D. Zimin, V.Yu. Mishin, D.A. Morozov**

*Ryazan State Radio Engineering University,  
Russia, Ryazan, mischinvalera@yandex.ru*

*Abstract.* This work is devoted to the investigations of cross impact in the triad of laser gyroscopes with mechanical dithers.

*Keywords:* laser gyroscope, lock-in threshold, mechanical dither.

### 1. Введение

Эффективность решения задачи управления движением определяется наличием непосредственно на борту летательного аппарата оборудования, обеспечивающего выход в заданную область пространства. Наиболее полно требованиям автономности и помехозащищенности соответствуют инерциальные навигационные системы, в частности бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). Датчиком первичной информации в БИНС является блок чувствительных элементов, содержащий триады гироскопических датчиков и акселерометров. Датчики каждого типа ориентированы таким образом, чтобы их оси

чувствительности были взаимно перпендикулярны. В БИНС от гироскопов требуется сочетание широкого динамического диапазона ( $\pm 400$  °/с) с высокой пороговой чувствительностью ( $\sim 10^{-3}$  °/час) и малой нестабильностью масштабного коэффициента ( $\leq 10^{-6}$ ). В настоящее время наиболее полно требованиям БИНС удовлетворяет технология лазерного гироскопа (ЛГ). Лазерные гироскопы обладают малой нестабильностью масштабного коэффициента в широком динамическом диапазоне измеряемых угловых скоростей, большим ресурсом работы (более 80 тысяч часов), приемлемой величиной дрейфа выходного сигнала (0,001 °/с), отлаженным технологическим процессом производства кольцевых гелий-неоновых лазеров, позволяющим ежегодно выпускать тысячи БИНС.

Основой лазерного гироскопа является кольцевой гелий-неоновый лазер [1]. Резонатор лазера образован четырьмя зеркалами, а активная среда возбуждается симметричным двухплечевым разрядом постоянного тока. Кольцевой лазер генерирует две оптические волны, распространяющиеся во взаимно противоположных направлениях внутри резонатора. Источником информации об угловой скорости вращения кольцевого лазера является разность частот встречных волн, которая монотонно возрастает с ростом угловой скорости вращения. Лазерные пучки выводятся через одно из зеркал в смесительную призму, которая, совмещая их, формирует в приемной плоскости информационного фотодиода интерференционную картину. Вращение гироскопа изменяет разность фаз встречных волн (фазу Саньяка), что сопровождается перемещением интерференционных полос относительно приемных секции информационного фотодиода. Информационный фотодиод имеет две приемные площадки, расстояние между центрами которых составляет четверть интерференционной полосы. Такое расположение обеспечивает формирование двух информационных сигналов  $U_c(t)$  и  $U_s(t)$ , сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ . Существующая сервисная электроника методом клиппирования подсчитывает число максимумов интерференционной картины, прошедших мимо приемных секции и вычисляет отсчеты угловой скорости [2].

В результате рассеяние на шероховатостях зеркал малая часть мощности ( $\sim 10^{-12}$ ) передается во встречную волну, что создает слабую связь генерируемых волн и приводит к синхронизации их частот [3, 4]. По этой причине существует диапазон малых угловых скоростей, в котором частоты встречных волн остаются одинаковым. Скомпенсировать данный эффект и уменьшить погрешность измерения угловой скорости до величины порядка 0,01 °/час и менее позволяет вибрационная частотная подставка с амплитудой, промодулированной по случайному закону. Для ее создания используется пьезоэлектрический двигатель, который сообщает кольцевому лазеру вращательные колебания относительно корпуса гироскопа с частотой около 400 Гц. Использование частотной подставки требует ее исключения из выходного сигнала датчика; несовершенство последней процедуры приводит к появлению случайной погрешности при измерениях угловой скорости. Для подавления случайной составляющей ошибки данные на выходе датчика усредняются, что снижает скорость обновления информации об угловой скорости маневрирующего объекта. Чтобы выделить информацию о фактическом угловом перемещении из выходных данных вычитается сигнал, характеризующий подставку. В качестве такого сигнала используется сигнал, снимаемый с вспомогательного электромеханического датчика, закрепленного на корпусе кольцевого лазера.

В работе [1] описана цифровая сервисная электроника, которая позволяет в реальном времени решать следующие задачи:

- переход от первичных сигналов к отсчетам угловых перемещений, которые пропорциональны изменениям разности фаз встречных волн, генерируемых кольцевым лазером;
- формирование и модуляция псевдослучайным сигналом вибрационной частотной подставки – вращательных колебаний кольцевого лазера относительно оси чувствительности
- автоматическое удержание продольной моды кольцевого резонатора в центре полосы усиления активной среды.

Результаты апробации соответствующей системы и алгоритмов обработки данных представлены в работе [5]. В этих испытаниях ось чувствительности кольцевого лазера была ориентированна вертикально. Регистрировалась проекция угловой скорости вращения Земли на вертикаль, значение которой для географической широты Рязани составляет 12,23 °/час. В режиме с ошумленной вибрационной частотной подставкой зарегистрировано среднее значение угловой скорости 12,19 °/час при среднеквадратичном разбросе 0,02 °/час при интервале времени усреднения, равном 100 с.

В процессе функционирования триады лазерных гироскопов с механическими вибрационными частотными подставками в составе блока чувствительных элементов неизбежно взаимное влияние колебаний кольцевых лазеров. Целью работы является исследование перекрестного влияния триады лазерных гироскопов с вибрационными частотными подставками.

## 2. Экспериментальная установка для исследования особенностей функционирования вибрационной частотной подставки в триаде лазерных гироскопов

Для исследования особенностей функционирования вибрационной частотной подставки в триаде лазерных гироскопов бала собрана экспериментальная установка, представленная на рисунке 1. Кольцевые гелий-неоновые лазеры закреплены в стандартном блоке чувствительных элементов БИНС-СП. Сервисная электроника [6], осуществляющая прецизионную регистрацию перемещений интерференционной картины и цифровое управление вибрационной частотной подставкой, была подключена к гироскопу ЛГ<sub>Y</sub>, ось чувствительности которого ориентирована вертикально.

На управляющие входы гироскопов ЛГ<sub>X</sub> и ЛГ<sub>Z</sub> подавались сигналы с генераторов гармонических сигналов 6 и 7, обеспечивающие функционирования вибрационных частотных подставок. Частоты этих гармонических сигналов настраивались таким образом, чтобы обеспечить колебания лазерных гироскопов ЛГ<sub>X</sub> и ЛГ<sub>Z</sub> с соответствующим им резонансными частотами 384 Гц и 401 Гц.

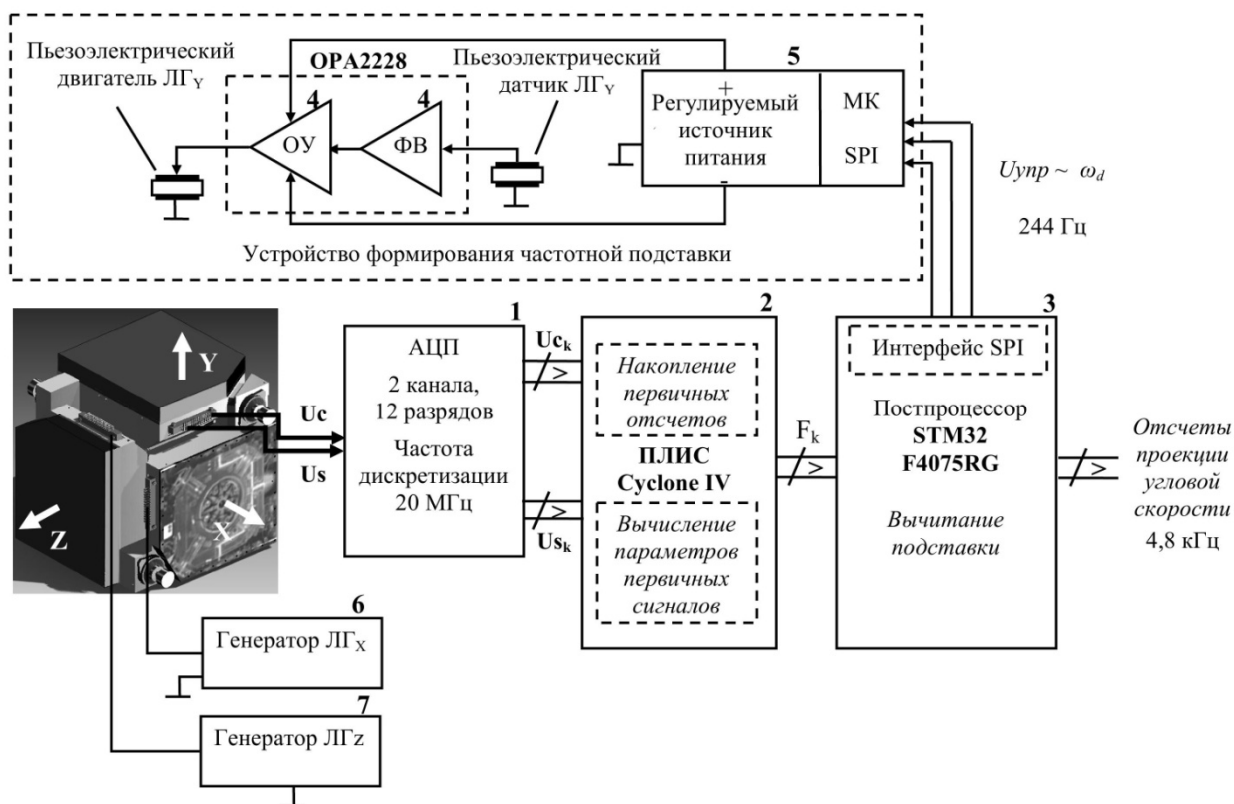


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для исследования перекрестного влияния триады лазерных гироскопов

## 3. Результаты экспериментов



В режиме с ошумленной вибрационной частотной подставкой были зарегистрированы отсчеты проекции угловой скорости вращения Земли на вертикальную ось. Чтобы удалить составляющую, обусловленную знакопеременной подставкой, в постпроцессоре осуществляется фильтрация колебаний из восстановленного ряда данных. В работе [6] показано, что оптимальными параметрами для удаления колебаний на частоте подставки из восстановленных отсчетов угловой скорости лазерного гироскопа обладает эллиптический режекторный фильтр десятого порядка. Ширина полосы подавления и коэффициент подавления варьировалась в процессе экспериментов. Анализ восстановленных отсчетов угловой скорости после фильтрации колебаний подставки, показал что оптимальными характеристиками обладает режекторный эллиптический фильтр десятого порядка, с шириной полосы подавления 32 Гц и коэффициентом подавления 90 дБ (фильтр 1). На рисунке 2,а представлен спектр соответствующих восстановленных отсчетов угловой скорости после фильтрации колебаний на частоте подставки. По восстановленным отсчетам угловой скорости в режиме с ошумленной вибрационной частотной подставкой зарегистрировано среднее значение угловой скорости 12,21 °/час при среднеквадратичном разбросе 0,008 °/час при интервале времени усреднения, равном 100 с.

Для сравнения на рисунке 2,б представлен спектр восстановленных отсчетов угловой скорости после фильтрации колебаний на частоте подставки эллиптическим фильтром с полосой подавления 13 Гц и коэффициентом подавления 90 дБ (фильтр 2). Неполное подавление в выходном сигнале колебаний других кольцевых лазеров триады, приводит к увеличению случайной составляющей ошибки лазерного гироскопа  $\sigma_{\Omega}$ . В таблице 1 представлены погрешности измерения проекции угловой скорости вращения Земли на вертикаль при различных интервалах времени усреднения выходных данных фильтров 1 и 2 соответственно.

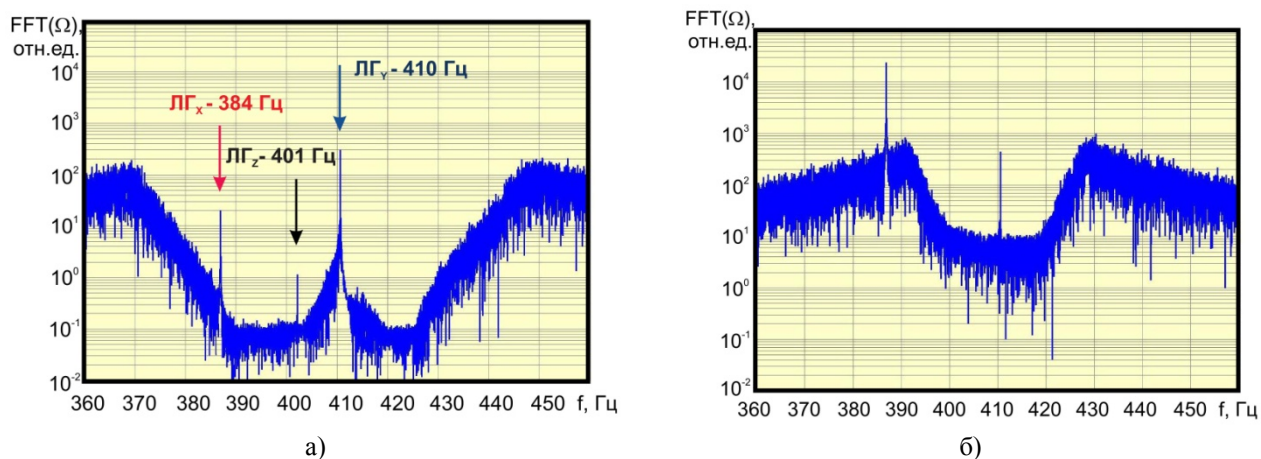


Рис. 2. Спектры восстановленных отсчетов угловой скорости после фильтрации колебаний подставки:  
а – ширина полосы подавления 32 Гц, коэффициент подавления 90 дБ;  
б – ширина полосы подавления 13 Гц, коэффициент подавления 90 дБ

Таблица 1 - Случайные погрешности лазерных гироскопов для разных времен усреднения выходных отсчетов

Время усреднения, с	0,01	0,1	1	10	100
$\sigma_{\Omega}$ (фильтр 1), °/час	10	3	0,3	0,02	0,008
$\sigma_{\Omega}$ (фильтр 2), °/час	15	4,5	0,9	0,07	0,015

## Выводы

Результаты исследований характеристик экспериментально зарегистрированных последовательностей выходных отсчетов лазерного гироскопа в составе триады лазерных гироскопов в условиях измерения проекции угловой скорости вращения Земли на вертикаль, показывают что применение современных методов обработки информации позволяет реализовать следующие преимущества:

1. Уменьшить на порядок составляющую случайной погрешности, обратно пропорционально времени усреднения.



2. Рациональный выбор параметров цифрового фильтра обеспечивает уменьшение перекрестного влияния вибрационных подставок на выходные сигналы триады.

### Библиографический список

1. Кузнецов А.Г., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А. Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45, № 1. – С. 78-88.
2. Борисов М.В., Мишин В.Ю., Серебряков А.Е., Чиркин М.В. Применение метода вариации Аллана для анализа выходного сигнала лазерного гироскопа // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2016. Рязань. 02-04 марта, 2016. С. 190-194.
3. Чиркин М.В., Мишин В.Ю., Морозов Д.А., Молчанов А.В., Захаров М.А. Цифровая обработка сигналов кольцевого лазера при оценке характеристик лазерного гироскопа // Сборник трудов XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 31 Мая – 02 Июня, 2010. – С. 53-55.
4. Alekseev S.Yu., Chirkin M.V., Mishin V.Yu., Molchanov A.V., Zakharov M.A. Method of lock-in threshold measurement in manufacture and operation of ring lasers // Gyroscopy and Navigation. 2013. Vol. 4, Issue 4. – P. 223-228.
5. Мишин В.Ю., Морозов Д.А., Молчанов А.В., Чиркин М.В. Цифровое управление вибрационной частотной подставкой в лазерном гироскопе // Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2016. Рязань. 02-04 марта, 2016. – С. 179-184.
6. Молчанов А.В., Белокуров В.А., Чиркин М.В., Кошелев В.И., Мишин В.Ю., Морозов Д.А. Прецизионный лазерный гироскоп с цифровым каналом для обработки квадратурных сигналов // Сборник трудов XXII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 25-27 мая, 2015. – С. 266-273.

УДК 621.373.826; ГРНТИ 29.33.15

## СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРИМЕТРА РЕЗОНАТОРА КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА

О.В. Кижаяев, В.Ю. Мишин, Д.А. Морозов

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, [mischinvalera@yandex.ru](mailto:mischinvalera@yandex.ru)

*Аннотация.* Описана система стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера на основе информации, полученной из первичных сигналов лазерного гироскопа.

*Ключевые слова:* лазерный гироскоп, кольцевой лазер, пьезопреобразователь.

## SYSTEM OF STABILIZATION OF THE PERIMETER OF THE LASER RING CAVITY

O.V. Kizhaev, V.Yu. Mishin, D.A. Morozov

Technical University of Moldova,  
Russia, Ryazan, [mischinvalera@yandex.ru](mailto:mischinvalera@yandex.ru)

*Abstract.* This paper describes the perimeter stabilization system of the ring laser cavity based on the information revealed from the initial signals of the laser gyro.

*Keywords:* laser gyro, ring laser, bimorph.

### 1. Введение

В системах инерциальной навигации используются лазерные гироскопы (ЛГ) с периметром резонатора 15-30 см, которые предназначены для измерений угловой скорости вращения в диапазоне от 0,005 °/час до сотен градусов в секунду. Основой лазерного гироскопа является кольцевой гелий-неоновый лазер, генерирующий две волны, распространяющиеся внутри резонатора, образованного четырьмя зеркалами [1]. Длина волны генерируемого излучения составляет 0,6328 мкм. Источником информации о вращательном движении являются перемещения интерференционной картины, сформированной оптическими пучками, выведенными из резонатора кольцевого лазера. Первичные сигналы регистрирует фотодиод с двумя приемными площадками, центры которых разнесены на четверть интерференционной полосы. Сигналы на выходах фотодиодов имеют вид:

$$U_c(t) = U_{c,0} + U_{c,m} \cos(\psi(t)), \quad U_s(t) = U_{s,0} + U_{s,m} \sin(\psi(t) + \eta), \quad (1)$$

где  $\eta$  – фазовый сдвиг вследствие неидеальности оптической системы,  $U_{c,0}$ ,  $U_{s,0}$  – постоянные смещения,  $U_{c,m}$ ,  $U_{s,m}$  – амплитуды квадратурных сигналов,  $\psi(t)$  – фаза Саньяка, изменения

которой вызваны вращением лазера. Эти сигналы несут информацию об угловой скорости объекта, на котором расположен лазерный гироскоп.

В настоящее время выделение информации о перемещениях интерференционной картины осуществляется путем непосредственного подсчета количества интерференционных полос, прошедших мимо приемных секций фотодиода, чему соответствует чувствительность к угловым перемещениям порядка одной угловой секунды.

Для исключения конкуренции встречных волн, резонатор кольцевого лазера настраивается на максимум усиления активной среды, состоящей из смеси изотопа  $^3\text{He}$  с изотопами неона  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  1:1. Температурные и механические воздействия на моноблок кольцевого лазера приводят к изменениям периметра, т.е. собственных частот кольцевого резонатора [2, 3]. Для стабилизации периметра наибольшее распространение получила система, построенная на основе петли отрицательной обратной связи. Настройка осуществляется путем выбора положений подвижных зеркал резонатора. Для их перемещений используются пьезоэлектрические преобразователи с конструкцией мембранного типа (рис. 1) [4]. Источником управляющего сигнала является вспомогательный фотодиод, регистрирующий мощность лазерной генерации. Функционирование системы автоматического регулирования обеспечивается малыми колебаниями зеркал, созданными переменной составляющей напряжения на пьезоэлектрическом преобразователе. Признак правильной настройки – отсутствие в колебаниях фототоков составляющей на первой гармонике частоты колебаний зеркала. Периодическое изменение периметра позволяет выделить сигнал ошибки и сформировать управляющее воздействие, компенсирующее тепловые уходы частоты лазерной генерации.

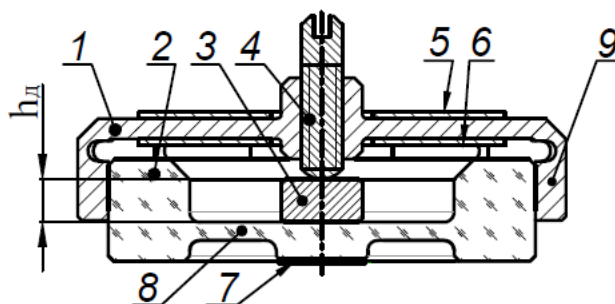


Рис. 1. Конструкция пьезоэлектрического преобразователя [4]: 1 – мембрана пьезодвигателя, 2 – подложка зеркала, 3 – металлический диск, 4 – винт, 5, 6 – пьезоэлектрические элементы, 7 – зеркало, 8 – мембрана подложки, 9 – «лапки» мембраны пьезодвигателя

Реализованная в работе [5] система прецизионной регистрации перемещений интерференционной картины путем дискретизации и цифровой обработки сигналов лазерного гироскопа позволяет:

- на порядок увеличить частоту отсчетов угловой скорости, формируемых на выходе лазерного гироскопа;
- выделять информацию о параметрах излучения, необходимую для системы автоматического регулирования периметра кольцевого резонатора.

Реализация такого подхода позволяет создать систему автоматического регулирования периметра кольцевого резонатора, использующую для своего функционирования лишь информацию, содержащуюся в первичных сигналах лазерного гироскопа. Цель данной работы заключается в создании цифровой системы стабилизации периметра кольцевого резонатора на основе информации, полученной из первичных сигналов лазерного гироскопа.

## 2. Структура цифровой системы регулирования периметра кольцевого лазера

На рисунке 2 представлена структурная схема лазерного гироскопа с системой прецизионной регистрации перемещений интерференционной картины, включающей разработанное устройство стабилизации периметра кольцевого лазера (КЛ). Для экспериментов использован малогабаритный четырехзеркальный кольцевой гелий-неоновый лазер гироскопа ЛГ-1 с длиной периметра 28 см и длиной волны 0,6328 мкм производства АО «Московский институт электромеханики и автоматики». Квадратурные сигналы с информационного фотодиода

КЛ, предварительно усиленные с помощью широкополосных усилителей и оцифрованные с помощью двухканального АЦП ( $N = 12$ ,  $f_s = 4$  МГц), поступают в блок обработки первичных сигналов (ОПС), разработанный в [6]. Блок ОПС реализован на базе ПЛИС 2 и ее внутреннего постпроцессора 3. Блок ОПС накапливает первичные отсчеты квадратурных сигналов, вычисляет параметров первичных сигналов (1) и восстанавливает отсчеты угловой скорости [7]. Восстановленные отсчеты с помощью постпроцессора 3 передаются на персональный компьютер. Отсчеты амплитуд  $U_{c,m}$ , первичных сигналов передаются с частотой 4,8 кГц с помощью интерфейса SPI постпроцессора 3 на вход системы регулирования периметра.

Система регулирования периметра включает следующие элементы: регулятор напряжения 7, управляющий микроконтроллер 4, цифро-аналоговый преобразователь 5, источник опорного напряжения 6, источник постоянного напряжения 250 В положительной полярности. Регулятор напряжения 7 формирует напряжения для пьезопреобразователей ПК1 и ПК2 из входного постоянного напряжения 250 В положительной полярности. Микроконтроллер 4 реализует алгоритм стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера. Входными данными для микроконтроллера являются отсчеты амплитуд  $U_{c,m}$ , поступающие от блока ОПС по интерфейсу SPI. Коды, управляющие регулятором напряжения передаются по интерфейсу SPI на ЦАП 5. ЦАП 5 преобразует цифровые коды в напряжение, управляющее регулятором напряжения.

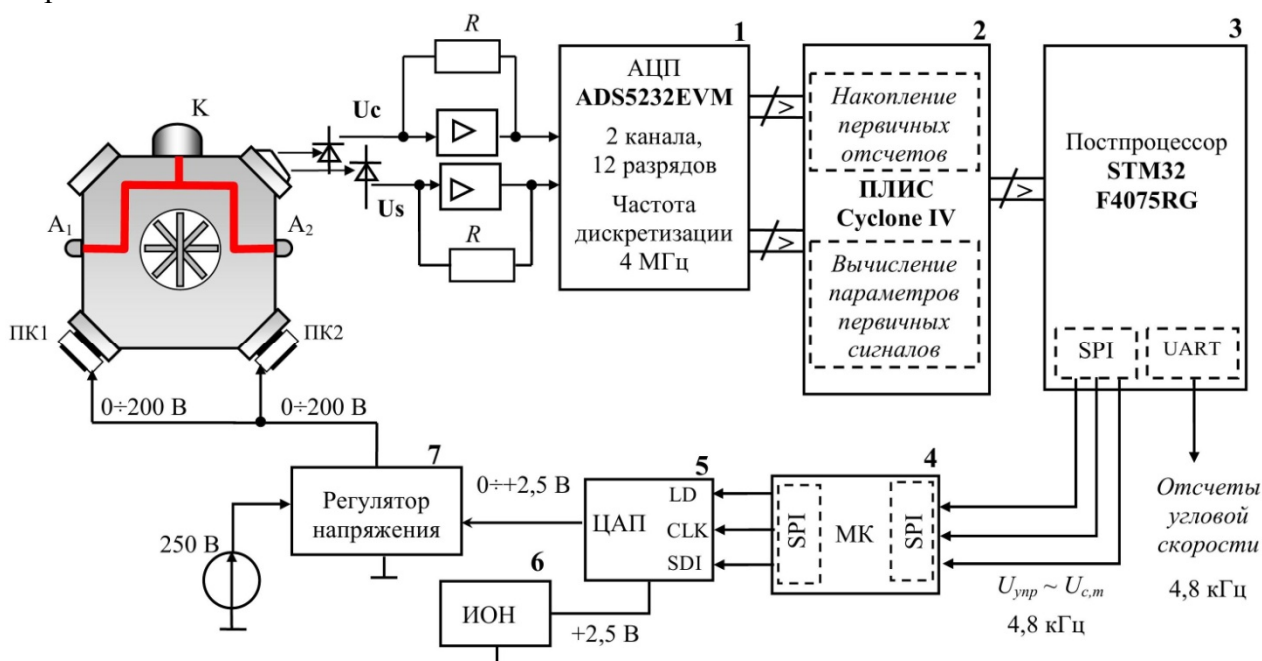


Рис. 2. Структурная схема лазерного гироскопа с прецизионной регистрацией перемещений интерференционной картины и цифровой системой стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера

Устройство регулировки периметра осуществляет модуляцию периметра резонатора с частотой 1 Гц путем соответствующего изменения напряжения на пьезопреобразователях ПК1 и ПК2. Одновременно на каждом полупериоде модулирующего сигнала производится суммирование значений амплитуд первичного сигнала. Далее вычисляется разность полученных сумм – невязка. Настройка периметра на центр резонансной моды производится путем подстройки напряжения на пьезопреобразователях зеркал до получения минимального значения невязки.

### 3. Результаты испытаний

Перед проведением испытаний разработанной системы была экспериментально измерена зависимость восстановленных отсчетов амплитуд первичных сигналов  $U_{c,m}$  от управляющего напряжения на пьезокорректорах ПК1 и ПК2. В лазерном гироскопе (рис. 2) с отключенной системой регулирования периметра, управляющее напряжение на пьезокорректорах ПК1 и ПК2 изменялось синфазно в диапазоне 0÷200 В с шагом в 1 В. При этом регистрировались восстановленные отсчеты амплитуд первичных сигналов  $U_{c,m}$ , пропорциональ-

ные квазипостоянной мощности лазерного луча. В процессе изменения напряжения на пьезокорректорах, отсчеты  $U_{c,m}$  периодически достигали максимальных значений, соответствующих максимумам полос усиления кольцевого резонатора. На рисунке 3 представлен участок записанной реализации амплитуд первичных сигналов  $U_{c,m}$ , соответствующий первому максимуму полосы усиления. Зависимость снималась при комнатной температуре окружающей среды.

В соответствии с зависимостью, полученной при тестировании разработанной системы регулирования периметра резонатора, начальные постоянные напряжения на пьезокорректорах, выбирались в диапазоне от 15 В до 65 В. Затем осуществлялся запуск системы автоматического регулирования периметра кольцевого резонатора, которая настраивала лазер на максимум кривой усиления активной среды. На рисунке 4. представлена реализация восстановленных  $U_{c,m}$  амплитуд первичных сигналов, отражающая настройку резонатора КЛ на максимум усиления. Интервал времени от запуска системы до выхода на максимум кривой усиления не превышает 3 с.

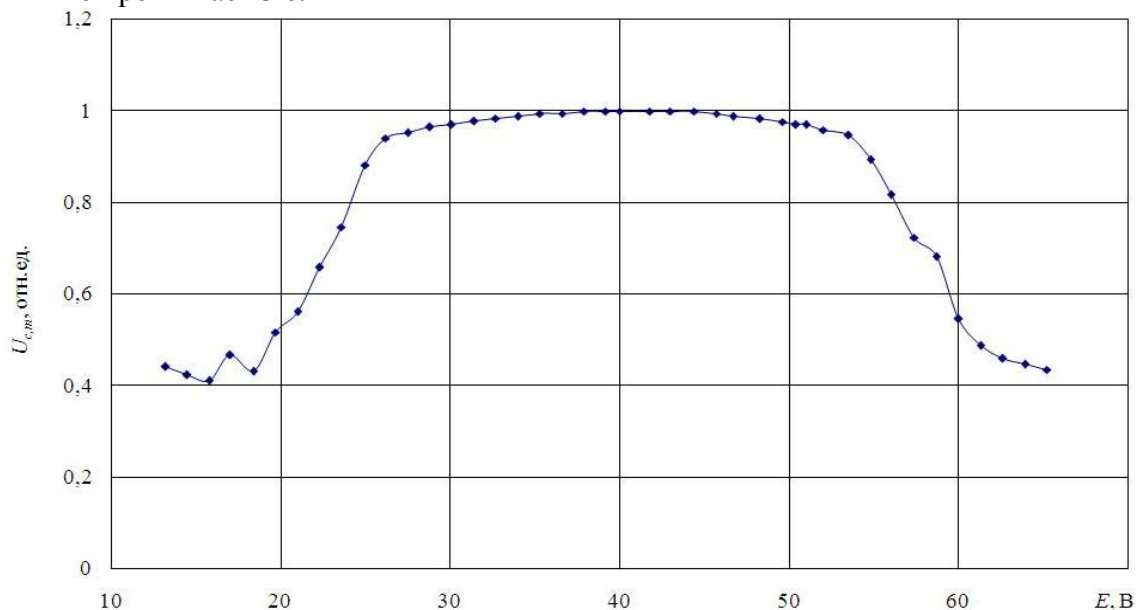


Рис. 3. Зависимость восстановленных отсчетов амплитуд первичных сигналов  $U_{c,m}$  от величины управляющего напряжения на пьезокорректорах  $E$

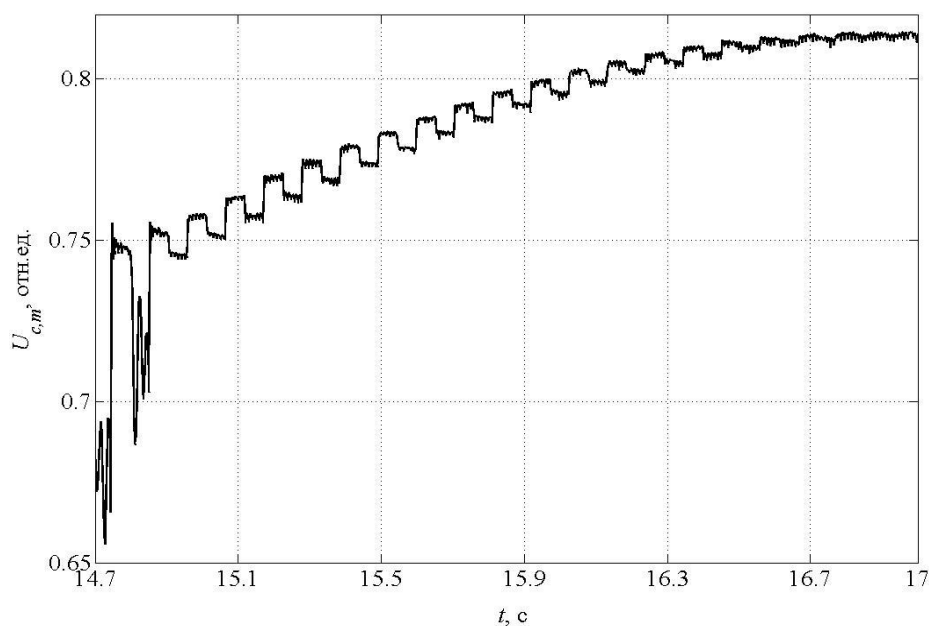


Рис. 4. Реализация восстановленных отсчетов амплитуд первичных сигналов  $U_{c,m}$  в процессе настройки кольцевого лазера на максимум кривой усиления

## Выводы

Результаты исследований лазерного гироскопа с прецизионной регистрацией перемещений интерференционной картины и цифровой системой стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера показали, что разработанная система:

- обеспечивает настройку резонатора на максимум кривой усиления активной среды, используя лишь информацию о параметрах лазерного излучения, содержащуюся в первичных сигналах;
- не менее 8 часов удерживает значение частоты лазерной генерации в максимуме кривой усиления активной среды лазера;
- не вносит искажений в восстановленный ряд отсчетов угловой скорости в процессе функционирования сервисной электроники.

## Библиографический список

1. Кузнецов А.Г., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А. Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45, № 1. – С. 78-88.
2. Улитенко А.И., Климаков В.В., Молчанов А.В., Чиркин М.В. Выравнивание температурного поля в бесплатформенной инерциальной навигационной системе на лазерных гироскопах // Радиотехника. – 2012. – №3. С. 171-176.
3. Chirkin M.V., Klimakov V.V., Melekhin V.N., Molchanov A.V., Ulitenko A.I. Passive heat removal elements integrated into the design of the strapdown inertial navigation system // Proceedings of 19<sup>th</sup> Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. – 28-30 May 2012. Saint Petersburg, Russia. P. 99-101.
4. Борисов М.В., Черноморский А.И., Чиркин М.В. Особенности выбора и оценки параметров пьезокорректоров в кольцевом резонаторе малогабаритного лазерного гироскопа // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. №11. С. 13-20.
5. Молчанов А.В., Белокуров В.А., Чиркин М.В., Кошелев В.И., Мишин В.Ю., Морозов Д.А. Прецизионный лазерный гироскоп с цифровым каналом для обработки квадратурных сигналов // Сборник трудов XXII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 25-27 мая, 2015. – С. 266-273.
6. Molchanov A.V., Belokurov V.A., Chirkin M.V., Kagalenko M.B., Koshelev V.I., Mishin V.Yu., Morozov D.A. The application of advanced processing technique to the triad of precision laser gyroscopes // Proceedings of 23<sup>rd</sup> Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. – 30 May - 01 June 2016. Saint Petersburg, Russia. P. 120-122
7. Alekseev S.Yu., Chirkin M.V., Mishin V.Yu., Molchanov A.V., Zakharov M.A. Method of lock-in threshold measurement in manufacture and operation of ring lasers // Gyroscopy and Navigation. 2013. Vol. 4, Issue 4. – P. 223-228.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

## РАБОЧАЯ КАМЕРА ЦИКЛИЧЕСКОГО СВЧ ДЕФРОСТЕРА

**С.В. Сурков**

*НИУ «МЭИ»*

*Россия, г.Москва, surkovsergey1993@mail.ru*

*Аннотация.* В данной работе рассматривается вопрос оптимизации размеров и положения диссектора в камере дефростера заданных габаритов для равномерного прогрева мясного и рыбного блоков. Представлены результаты расчётов распределения СВЧ поля в камере дефростера с применением диссектора.

*Ключевые слова:* СВЧ техника, СВЧ дефростер, диссектор, размораживание

## WORKING CHAMBER CYCLIC MICROWAVE DEFROSTER

**S.V. Surkov**

*NRU «MPEI»*

*Russia, Moscow, surkovsergey1993@mail.ru*

*Abstract.* In this paper we consider the question of optimizing the size and position of the dissector in the camera defroster specified dimensions for the uniform heating of meat and fish blocks. The results of calculations of the microwave field distribution in the chamber using the defroster dissector.

*Keywords:* Microwave equipment, microwave defroster, dissector, defrost

## 1. Введение

Пищевая промышленность России ежегодно перерабатывает миллионы тонн замороженного мяса и рыбы. Для этих целей применяются различные системы разморажива-

ния исходной продукции. Наиболее эффективными из них являются СВЧ системы размораживания, так называемые СВЧ дефростеры. Дефростером называется устройство, имеющее в своей конструкции СВЧ-камеру и источник СВЧ излучения.

В процессе размораживания микроволны излучаются генератором СВЧ энергии и по волноводам передаются в рабочую зону СВЧ-камеры. Известно, что энергия микроволн преобразуется в тепло вследствие диэлектрических потерь в продукте. Дефростер служит для размораживания различных типов продукции: мяса, рыбы, птицы; и для каждого типа используются различные по мощности и частоте генераторы СВЧ энергии. В качестве генератора дефростера в промышленности широко применяется магнетрон, работающий на частоте 915 МГц.

Для увеличения равномерности нагрева блока в камере используется один из двух способов: либо вращающийся поддон, либо рассеиватель микроволн (диссектор). Сам нагрев длится, как правило, 2-3 минуты. Такие камеры ставятся в крупных ресторанах, кораблях дальнего плавания и на предприятиях мясоперерабатывающей и рыбоперерабатывающей промышленности.

В домашних условиях использование вращающегося поддона более рационально в силу малых габаритов и веса размораживаемых продуктов, однако в случае промышленного использования поворотный механизм подноса под большим весом недолговечен, к тому же подобный механизм будет заметно усложнять конструкцию СВЧ дефростера и как следствие, повышать его стоимость. Использование камеры с диссектором в промышленном дефростере позволяет уменьшить расходы на производство поворотного механизма, сэкономить место в конструкции СВЧ дефростера, увеличить долговечность и практичность механизма изменения поля [1].

## **2. Исходная конструкция рабочей камеры**

Размеры оптимизируемой камеры дефростера 1000×1000×1000 мм. Габариты камеры выбраны так, чтобы по каждой из координат укладывалось несколько полуволн. В этом случае камера является многомодовым резонатором. В силу нестабильности системы, моды в такой камере будут меняться во времени даже без использования диссектора. Окна ввода энергии в камеру расположены друг относительно друга под углом 90° для уменьшения влияния магнетронов друга на друга. Окна ввода энергии располагаются на верхней стенке для того, чтобы вектор напряженности электрического поля  $E$  в любой точке был направлен параллельно плоскости блока. При такой направленности, поле, проходя через границу сред, не ослабевает (непрерывность тангенциальной компоненты электрического поля), что увеличивает эффективность нагрева [2].

Диссектор выполнен в виде уголкового отражателя для того, чтобы отражать волны не в сторону генераторов, снижая, таким образом, нагрузку на генераторы. Также уголковая форма диссектора увеличивает его жесткость.

Коэффициент отражения от диссектора (рассеивания) зависит как от формы диссектора, так и от его положения относительно облучателя. Суть оптимизации заключается в следующем: необходимо выбрать параметры диссектора так, чтобы уменьшить или вообще устранить пятна локального перегрева мясного или рыбного блока в камере дефростера, сохраняя при этом относительно небольшой коэффициент отражения на входах в волноводы. Так как диэлектрические свойства рыбы и мяса различны, то в каждом случае необходимо было подбирать форму и положение диссектора.

На рисунке 1 приведена расчетная модель камеры дефростера для мясного блока, а на рисунке 2 - выбранная конструкция диссектора. Для создания расчетной модели взяты стандартные размеры мясного блока 250×600×400 мм. Тангенс угла диэлектрических потерь замороженного до -20°C постного мяса составляет 0,2, а диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  равна 4,6.

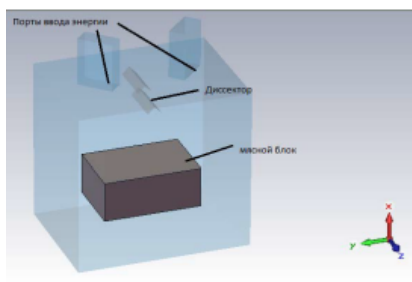


Рис. 1. Трехмерная модель камеры дефростера

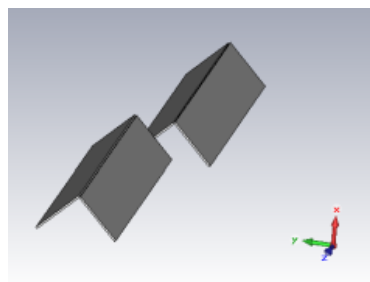


Рис. 2. Трехмерная модель диссектора

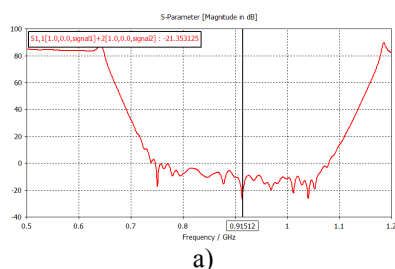
В ходе оптимизации были проведены расчеты данной системы, в результате которых определялись элемент матрицы рассеяния  $S_{11}$  (коэффициенты отражения на портах), КСВн, распределение потока энергии внутри камеры дефростера, распределение локального тепловыделения в мясном блоке. Расчеты проводились с двумя положениями диссектора: поперек и вдоль задней стенки, чтобы увидеть изменение поля при вращении диссектора. Излучение волноводов предполагалось синфазным.

В процессе расчёта необходимо было контролировать КСВн на входе волноводов, так как допустимый уровень КСВн для нормальной работы магнетрона не должен превышать значений 2-3.

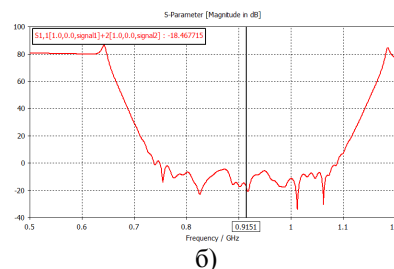
### 3. Результаты оптимизации камеры для мясной продукции

В результате оптимизации геометрии диссектора (длины, ширины лопастей и высоты положения диссектора относительно верхней стенки камеры), были получены следующие размеры лопастей: длина 310 мм, ширина 80 мм, толщина 2 мм. Расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм.

На рисунках 3-5 представлены результаты расчета.



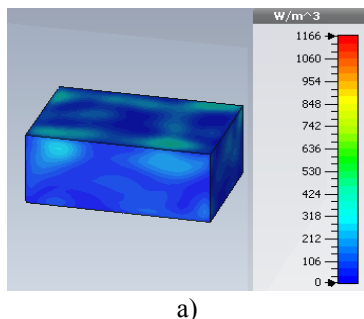
а)



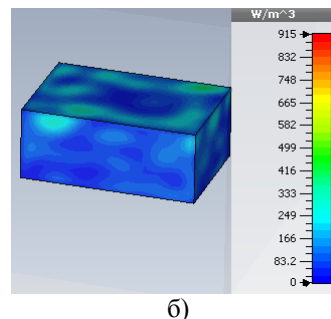
б)

Рис. 3. Зависимость  $S_{11}$  от частоты; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке

Из рисунка 3 следует, что на частоте 915 МГц КСВн = 1,08, когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и КСВн = 1,1, когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.



а)



б)

Рис. 4. Тепловыделение в мясном блоке; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке

Для количественной оценки равномерности распределения тепловыделения в мясном блоке по результатам моделирования рассчитывался коэффициент равномерности [3] согласно соотношению:



$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n \left| \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} - P_i \right|}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество точек на поверхности, где определялась выделяемая мощность;  $i$  – номер точки на поверхности диэлектрика;  $P_i$  – выделившаяся мощность, определяемая в  $i$ -ой точке по результатам расчётов.

Из рисунка 4, согласно (1),  $K_p = 0,86$ , когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и  $K_p = 0,88$ , когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.

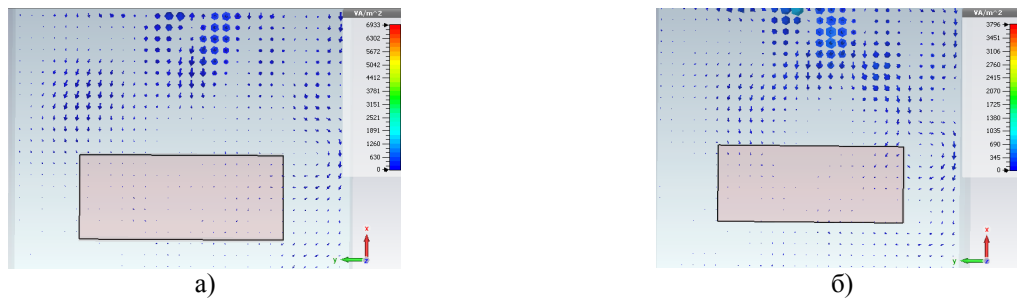


Рис. 5. Распределение энергии в камере дефростера, поперечный разрез; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке

Из полученных результатов следует, что пятна локального нагрева мясного блока меняют свое местоположение в зависимости от положения диссектора, что означает, что СВЧ поле в камере дефростера хорошо перемешивается. Коэффициент равномерности тепловыделения в размораживаемом продукте близок к 0,9.

Перегрев остается лишь на ребрах мясного блока. При реальном размораживании это также проявляется и, вызвано тем, что на ребрах слой мяса очень тонкий и прогрев осуществляется быстрее. В действительности, мясные блоки, упакованные в стандартные коробки, не имеют острых кромок.

#### 4. Результаты оптимизации камеры для рыбной продукции

Для оптимизации диссектора при размораживании рыбного блока был выбран стандартный блок максимальных размеров: 200×850×600 мм, причём в ходе исследований выяснилось, что располагать рыбный блок в камере дефростера необходимо перпендикулярно задней стенке. Форма диссектора при этом сохранилась. Тангенс угла диэлектрических потерь замороженной до -20 °С рыбы составляет 0,15, а диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  равна 4,4.

После ряда расчетов по изменению длины и ширины лопастей диссектора и высоты положения диссектора относительно верхней стенки камеры, лопасти диссектора получили следующие размеры: длина 310 мм, ширина 80 мм, толщина 2 мм. Расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм. Таким образом, диссектор заданных размеров подходит как для мясного блока, так и для рыбного.

На рисунках 6-8 показаны результаты расчёта камеры дефростера для рыбного блока.

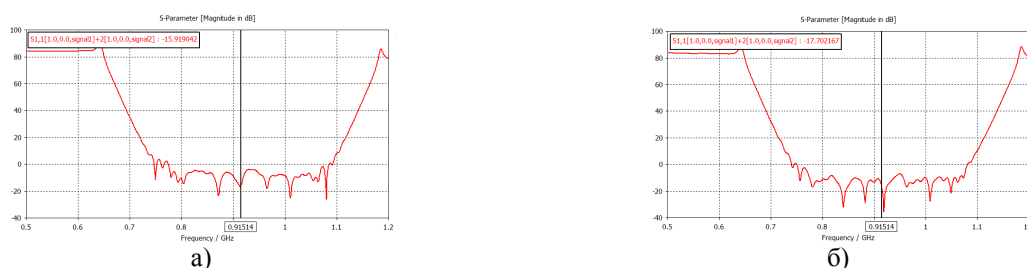


Рис. 6. Зависимость  $S_{11}$  от частоты; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке



Из рисунка 6 следует, что на частоте 915 МГц КСВн = 1,06, когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и КСВн = 1,04, когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.



Рис. 7. Тепловыделение в рыбном блоке; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке

Из рисунка 7, согласно (1),  $K_p = 0,86$ , когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и  $K_p = 0,85$ , когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.

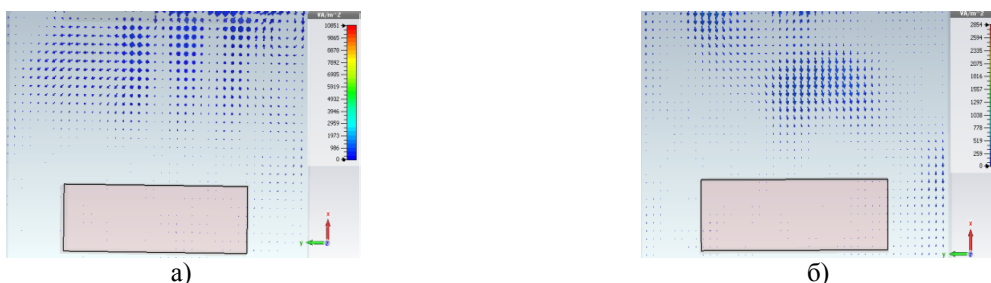


Рис. 8. Распределение энергии в камере дефростера, поперечный разрез; а – диссектор параллелен задней стенке, б – диссектор перпендикулярен задней стенке

Из полученных результатов следует, что пятна сильного перегрева отсутствуют (коэффициент равномерности порядка 0,9), оставшиеся локальные участки небольшого нагрева меняют свое местоположение при различной температуре размораживаемого рыбного блока в зависимости от положения диссектора, что означает, что поле достаточно хорошо перемешивается.

Перегрев остается лишь на краях рыбного блока. Это нормальное явление, которое в реальности также существует и, скорее всего, связано с тем, что на краях плотность упаковки рыбы меньше, чем в центральной части блока, и прогрев осуществляется значительно быстрее.

### Выводы

В ходе работы удалось оптимизировать камеру и диссектор циклического СВЧ дефростера для размораживания мясных и рыбных блоков. Оптимизация показала, что для размораживания заданных блоков лучше всего подходит диссектор, имеющий следующие параметры: длина 310 мм, ширина 80 мм, толщина 2 мм, расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм. Таким образом, можно сделать вывод, что СВЧ камера и конструкция дефростера универсальны, то есть подходят как для размораживания мясных, так и для размораживания рыбных блоков, несмотря на существенные различия в диэлектрических свойствах и габаритах. Во всех приведенных расчетах КСВ не превышал допустимый уровень (2-3), что гарантирует стабильную работу магнетронов.

### Библиографический список

1. Э. Окресс «СВЧ-энергетика. Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности»: Изд-во «Мир», Москва, 1971 г., 272 с.;
2. Лебедев И.В. «Техника и приборы СВЧ. Том 2», изд-во «Высшая школа», 1970г.;
3. ГОСТ Р МЭК 335-2-25-97 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Дополнительные требования к микроволновым печам и методы испытаний».

## МЕХАНИЗМЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ «СДВИГА НУЛЯ» ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА

Н.Х. Дао, В.В. Климаков

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
daohoaainam.ryazan@gmail.com

*Аннотация.* Приведены результаты экспериментальных исследований механизма формирования неустойчивости дрейфа («сдвига нуля») информационного сигнала в лазерных гироскопах. Проанализированы результаты испытаний двух кольцевых лазеров, выполненных в режиме регистрации вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли.

*Ключевые слова:* лазерный гироскоп, кольцевой гелий-неоновый лазер, неустойчивость дрейфа, «сдвиг нуля», дисперсия Аллана

## BIAS INSTABILITY “ZERO SHIFT” MECHANISMS OF A LASER GYRO

N.X. Dao, V.V. Klimakov

Ryazan State Radio Engineering University,  
daohoaainam.ryazan@gmail.com

*Abstract.* The paper presents experimental investigations of the origins of bias instability forming with the informational signals of the laser gyros. We analyze testing result with two ring lasers which operate in the regime of vertical component of the Earth's angular rate measurements.

*Keywords:* laser gyro, helium-neon ring laser, bias instability, zero shift, Allan variance

### 1. Введение

Гироскопы на основе кольцевых гелий-неоновых лазеров являются прецизионными датчиками угловых скоростей, которые широко используются в системах инерциальной навигации [1]. Неустойчивость дрейфа выходного сигнала лазерного гироскопа («сдвига нуля») является одной из важных составляющих случайной погрешности, которая проявляется в медленных хаотических изменениях отсчетов углового положения [2] и ограничивает точность регистрации положения, а также пространственной ориентации объекта. Через час автономной работы навигационной системы неустойчивость дрейфа, равная  $0,005^\circ/\text{час}$ , приводит к неопределенности пространственного положения в один километр [1]. Оценка неустойчивости дрейфа с помощью вариации Аллана [3] требует длительных измерений и тщательной проверки достоверности полученных данных. Кроме того, идентификация составляющих случайной погрешности с помощью такого способа неоднозначна, что может привести к грубым ошибкам при построении соответствующей вероятностной модели [4].

Известным механизмом неустойчивости встречных волн в кольцевом резонаторе, приводящим к «сдвигу нуля» лазерного гироскопа является направленное движение возбужденных атомов неона в активной среде под действием газового разряда (эффект Лэнгмюра) [5]: передача импульса направленного движения электронов к атомам газа в пристеночных областях создает перепад давлений между анодом и катодом и обратный газовый поток в центре разрядного канала. Однако в работе [6] приведены результаты экспериментальных исследований, не согласующиеся с существующими представлениями о неустойчивости встречных волн вследствие асимметрии плеч газового разряда постоянного тока, используемого для создания активной среды в кольцевом гелий-неоновом лазере.

Цель настоящей работы заключается в идентификации причины неустойчивости «сдвига нуля» в лазерном гироскопе на основе кольцевого гелий-неонового лазера.

### 2. Неустойчивость дрейфа лазерного гироскопа

Регистрация вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли выполнена для двух лазерных гироскопов на основе кольцевых гелий-неоновых лазеров (КЛ №923, КЛ №1004) конструкция которых описана в работе [1]. Испытания выполнены при размещении гироскопа на фундаменте, который подвliegt воздействию внешнего вибрационного фона; температура окружающей среды в процессе измерений была фиксированной. Первичные квадратурные сигналы кольцевых лазеров, отражающие перемещения интерференционной картины, регистрировались на выходе смесительной призмы и преобразовывались в отсчеты угловых скоростей путем клипирования с дискретой фазы Саньяка, равной  $\pi/2$ . Подробно использованная методика измерений рассмотрена в работе [2].

Отсчеты угловой скорости и спектры выходного сигнала в условиях усреднения отсчетов на интервалах времени, равных 100 с, для исследуемых образцов лазерных гироскопов приведены на рисунке 1; постоянная составляющая, равная проекции угловой скорости вращения Земли на вертикаль, исключена из представленных данных. Длительность записанных реализаций соответствует 16 часам непрерывной работы гироскопов. Совпадение частоты отсчетов с частотой механической вибрационной подставки (416 Гц) снимает проблему удаления из информационного сигнала составляющей на частоте колебаний кольцевого лазера относительно корпуса лазерного гироскопа.

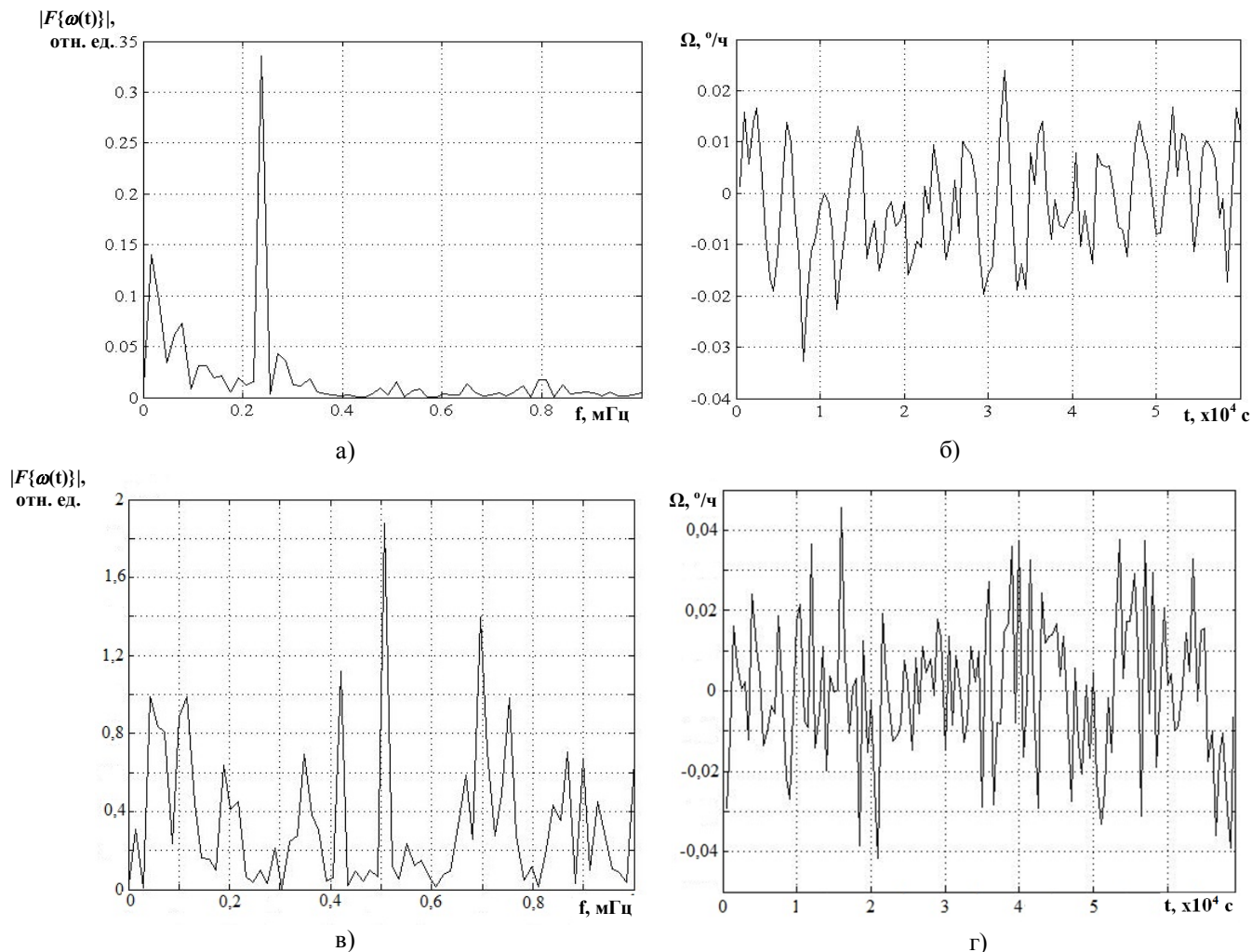


Рис. 1. Спектры (а,в) и реализации (б,г) выходных сигналов кольцевых лазеров: а, б – КЛ № 923, в, г – КЛ № 1004

Приведенные результаты в области низких частот, важной для решения задач выставки навигационной системы, демонстрируют наличие в информационных сигналах составляющих, представляющих собой узкополосные нерегулярные колебания. В спектре КЛ № 923 эти колебания зафиксированы лишь около частоты 0,25 мГц, однако в КЛ №1004 они уже носят более сложный характер и представлены группой всплесков в частотном спектре.

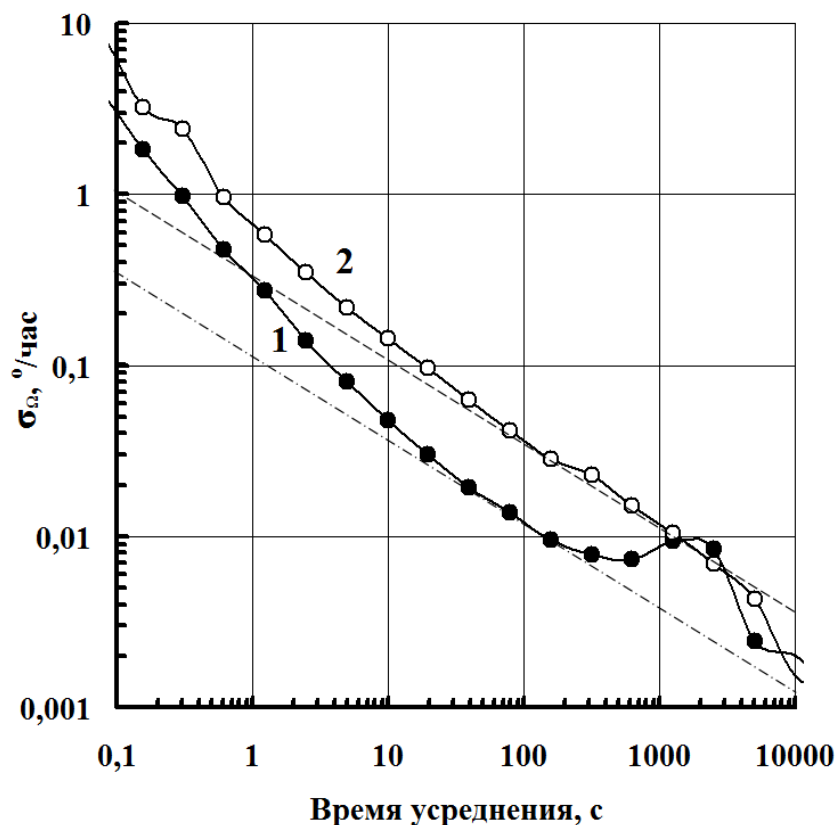


Рис. 2. Зависимость девиации Аллана от времени усреднения отсчетов, зарегистрированных при испытаниях двух кольцевых лазеров (точки) в режиме регистрации вертикальной составляющей угловой скорости вращения Земли, и их составляющие, обратно пропорциональные корню из времени усреднения (штриховые линии): 1 – КЛ № 923, 2 – КЛ № 1004

Стандартами IEEE для идентификации структуры шумов ЛГ рекомендовано применение метода вариации Аллана [4]. В рассматриваемом случае вариация Аллана  $\sigma_{\Omega}^2$  построена с помощью обработки отсчетов угловой скорости по методике, описанной в [7]. Зависимость девиации Аллана  $\sigma_{\Omega}$  от времени усреднения отсчетов угловой скорости  $\Omega$  для обоих исследованных лазерных гироскопов представлена на рисунке 2. Для КЛ № 923 в зависимости девиации Аллана в диапазоне времен усреднения около 2000 с имеется локальный максимум, соответствующим обнаруженному узкополосному нерегулярному процессу около частоты 0,25 мГц. Следует отметить, что при использовании выборки продолжительностью менее трех часов недостаток информации способен привести к ошибочной идентификации источника случайной погрешности с фликкер-эффектом, характеризующимся спектральной плотностью, обратно пропорциональной частоте.

Штрих-пунктирная прямая соответствует составляющей погрешности, вызванной белым шумом в отсчетах угловой скорости. Известно, что белый шум в отсчетах угловой скорости приводит к девиации Аллана, обратно пропорциональной квадратному корню из времени усреднения [3]. Основная причина такого шума (angle random walk) в работах [8,9] объясняется обратным рассеянием лазерного излучения в кольцевом резонаторе в условиях ошумления знакопеременной частотной подставки. Стоит отметить, что наличие нескольких составляющих в частотном спектре информационного сигнала, зарегистрированного для КЛ № 1004 в области инфранизких частот, приводит к подъему графика девиации Аллана в области времен усреднения от сотен до тысяч секунд. Такой эффект может быть ошибочно интерпретирован как рост уровня белого шума – (штриховая прямая) и привести к неоправданно завышенной оценке уровня связи встречных волн, генерируемых кольцевым лазером.

Горизонтальные участки для обеих зависимостей, типичные в условиях доминирования фликкер-шума, для которого девиация Аллана не зависит от времени усреднения, в случае исследуемых гироскопов не обнаружены.

Одним из объяснений наблюдаемого явления, отражающего узкополосные нерегулярные колебания выходного сигнала лазерного гироскопа при нестационарной невзаимности встречных волн в кольцевом лазере, являются хаотические колебания скорости Пеннинг-ионизации, вызванные изменениями потоков посторонних примесей из стенок разрядных каналов в газовую смесь. Предложенный механизм может существовать даже в условиях стабилизации токов в плечах разряда, если тепловая мощность, рассеиваемая в положительном столбе газового разряда, совершает колебания вследствие неустойчивости эмиссии атомов примесей из стенок разрядного канала в газовую смесь.

Колебательный характер изменений количества атомов легко ионизируемых примесей в газовой фазе связан с механизмом их выделения из стенок разрядного канала. Ионы движутся к стенкам канала, ускоряясь в пристеночной области скачка потенциала. Величина последнего монотонно увеличивается при росте напряженности продольного электрического поля в положительном столбе. Увеличение скорости Пеннинг-ионизации вызывает уменьшение напряженности продольного поля и, следовательно, средней энергии ионов, бомбардирующих стенки канала. Всплеск концентрации атомов примесей в положительном столбе в течение нескольких десятков минут устраняется вследствие их катафореза и связывания на поверхности холодного катода. Очищение газовой смеси сопровождается ростом продольной составляющей напряженности электрического поля и пристеночного скачка потенциалов. Таким образом, создается предпосылка для нового выброса атомов примесей из стеклокерамики в газовую фазу.

### **Выводы**

1. Для корректной идентификации причин неустойчивости сдвига нуля в лазерном гироскопе методом вариации Аллана необходима регистрация выходного сигнала продолжительностью более 15 часов, дополненная анализом спектра колебаний отсчетов угловой скорости в диапазоне инфранизких частот.
2. В случае длительной автономной работы инерциальной навигационной системы медленные узкополосные осцилляции отсчетов угловой скорости, присутствующие в сигналах гироскопов, способны ограничить точность определения пространственного положения и ориентации подвижного объекта.

### **Библиографический список**

1. Кузнецов А.Г., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А. Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45. № 1. – С. 78-88.
2. Маюров Н.А., Мишин В.Ю., Плешаков Н.С., Серебряков А.Е. Случайная погрешность лазерного гироскопа с прецизионной регистрацией квадратурных сигналов // Материалы XXX конференции памяти Н.Н. Острякова. – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. – С. 36-43.
3. Аллан Д.У. Вариация Аллана: история создания, преимущества и недостатки, основные области применения // Гироскопия и навигация. – 2015. – № 4. – С. 3-28.
4. Степанов О.А., Моторин А.В. Проблемно-ориентированный подход к решению задачи идентификации моделей погрешностей навигационных датчиков и оцениваемых сигналов // Материалы пленарных заседаний 9-й Российской мультikonференции по проблемам управления. – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. – С. 49-59.
5. Кравцов Н.В., Кравцов Н.Н. Невзаимные эффекты в кольцевых лазерах // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 27. № 2. – С. 98-120.
6. Aronovitz F. Fundamentals of the ring laser gyro // Optical Gyros and their Application. – RTO-AG-339. – 1999. – P.3-1-3-45.
7. Борисов М.В., Мишин В.Ю., Серебряков А.Е., Чиркин М.В. Применение метода вариации Аллана для анализа выходного сигнала лазерного гироскопа // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. – С. 190-194.
8. Чиркин М.В., Молчанов А.В., Степанов А.Ю. Статистические характеристики подложек зеркал и случайная погрешность лазерного гироскопа // Авиакосмическое приборостроение. – 2008. – № 3. – С. 9-16.
9. Чиркин М.В., Молчанов А.В., Суминов В.М. Формирование доминирующей погрешности лазерного гироскопа // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – № 9. – С. 12-19.

# СОЗДАНИЕ ОБРАЗА ПОВЕРХНОСТИ С ЭМИССИОННЫМИ ДЕФЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ШУМОВ ОТБИРАЕМОГО ТОКА

М.Д. Воробьев, Я.С. Кумов, Д.Н. Юдаев

Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт",  
Россия, Москва, yudayevdn@mpei.ru

**Аннотация.** Рассматривается способ формирования образа эмитирующей поверхности термоэлектронного катода с дефектами на основе декомпозиции спектральной характеристики НЧ шума отбираемого тока на отдельные спектральные компоненты. Приведены полученные образы для металлопористых катодов ЭВП СВЧ.

**Ключевые слова:** термоэлектронный катод, низкочастотные шумы, дефекты, образ катода

## IMAGE SURFACE DEVELOPMENT WITH EMISSION DEFECTS BASED ON LOW-FREQUENCY NOISE MEASUREMENT OF DRAWN OUT CURRENT

M.D. Vorobyev, Y.S. Kumov, D.N. Yudaev

National Research University "Moscow Power Engineering Institute",  
Moscow, Russia, yudayevdn@mpei.ru

**Abstract.** Formation method of an image for emitting surface of the thermionic cathode with defects is considered. The method consists in decomposition on separate components for spectral characteristics of low-frequency noise for initial current. The images for thermionic cathodes of microwave electronic devices are shown.

**Keywords:** thermionic cathode, low-frequency noise, defects, cathode image.

### 1. Введение

Совершенствование электронных эмиттеров, используемых в пушках ЭВП СВЧ, во многом связано с необходимостью изучения состояния эмитирующей поверхности, наличия и характера распределения эмиссионных дефектов. Для проведения полномасштабных исследований в этих целях часто приходится привлекать достаточно сложные и дорогостоящие методы электронной микроскопии, общим недостатком которых в большинстве случаев является несоответствие режима работы исследуемого объекта и условий его эксплуатации в ЭВП. Вместе с тем источником информации о состоянии эмитирующей поверхности термоэлектронного катода могут служить флуктуационные низкочастотные (НЧ) шумы отбираемого тока в р-режиме, характерном для эксплуатации катодов. Использование НЧ шумов основано на представлениях, сложившихся в результате многолетних исследований характеристик НЧ шумов металлопористых термокатодов. Согласно последним, уровень шумов определяется преимущественно малыми по площади насыщенными эмиссионными дефектами с повышенной работой выхода [1], а форма спектральной характеристики – миграционными процессами активирующих атомов по поверхности дефектов различных размеров. В результате форма спектральной характеристики НЧ шумов для поверхности с дефектами может быть представлена как совокупность нескольких компонент, подобных приведенной на рисунке 1 [2], и отличающихся значениями переходной частоты  $f_{\text{пер}}$ , связанной с дефектами круглой формы различного диаметра  $d$ :

$$f_{\text{пер}} = \frac{D}{2\pi d^2}, \quad (1)$$

где  $D$  – коэффициент поверхностной диффузии активирующих атомов.

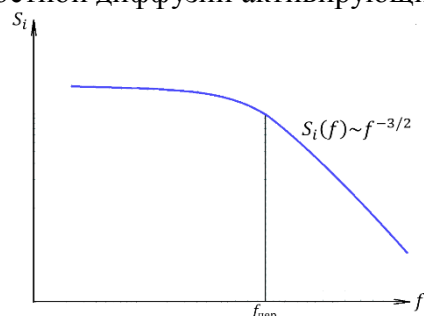


Рис. 1. Спектральная компонента НЧ шума

Если произвести декомпозицию экспериментальной характеристики НЧ шумов на отдельные компоненты с различными  $d$ , либо синтезировать её с минимальными отклонениями от экспериментальной из заранее вычисленных базовых компонент, то возникает принципиальная возможность получить количественную оценку содержания дефектов на эмитирующей поверхности как по размерам, так и по занимаемой площади.

В настоящей работе приведены результаты создания указанным способом образа эмитирующей поверхности термокатода с дефектами, содержащего информацию о площади и размерах дефектов.

## **2. Синтез спектральных характеристик НЧ шума**

В качестве исходных базовых спектральных компонент (ИБСК) для синтеза были использованы спектральные характеристики, полученные компьютерным моделированием флуктуаций эмиссионного тока при миграционном потоке активирующих атомов по эмитирующей поверхности с дефектами круглой формы различного диаметра  $d$  [3]. Диапазон изменения  $d$  составил 15...650 нм, что согласно (1) соответствовало диапазону частот измерения экспериментальных спектральных характеристик шума, в ходе которых в различной степени проявлялись компоненты, близкие по форме к приведенной на рисунке 1.

Проведение синтеза спектральной характеристики НЧ шума, минимально отличающейся от экспериментальной, включало в себя следующие этапы:

1. Выбор спектральных базовых компонент (СБК) из общего числа имеющихся (ИБСК).

2. Нахождение для каждой СБК коэффициента  $K_n$ , равному числу содержащихся в синтезируемом спектре таких компонент.

Очевидно, что выполнение каждого из этапов взаимосвязано, а время, необходимое для их завершения, зависит от задаваемого отклонения синтезированной характеристики от измеренной. В процессе разработки и отладки программы компьютерного синтеза задаваемая погрешность принята равной 1%, а приемлемое максимальное время завершения синтеза с получением окончательных результатов – не более 10 мин. Погрешность находится как суммарное относительное среднеквадратичное отклонение для всех точек экспериментальной шумовой характеристики.

Было установлено, что выполнение указанных условий при использовании всех имеющихся ИСБК (15) невозможно. Для решения проблемы число ИСБК было уменьшено до 9 с сохранением равномерности распределения по частотному диапазону  $f_{\text{пер}}$ , что позволяет уложиться в заданные параметры. Процесс поиска значений  $K_n$  для уменьшенного числа ИСБК может быть оптимизирован, если использовать не все 9 ( $C_9^{\text{Используемые СБК}} = C_9^9$ ), а только выборочно те из них, для которых погрешности минимальны, например  $C_9^5$  или  $C_9^3$ .

## **3. Результаты нахождения образа термокатодов**

Для наиболее наглядного отображения результатов компьютерного синтеза применялись диаграммы, в дальнейшем называемые образами, где показано число дефектов круглой формы для различных значений их диаметров  $d$ . Исходные спектральные характеристики НЧ шума были получены для металлопористых катодов с Os покрытием в диодных системах при рабочих температурах и плотности токоотбора  $\sim 0,6$  А/см<sup>2</sup>. В дальнейшем перед проведением синтеза проводилась обработка характеристик [4]: вычитание частотнонезависимой составляющей, усреднение и сглаживание.

На рисунке 2 показаны образы катода при различных сочетаниях базовых и используемых спектральных компонент. Как видно, приближение числа используемых компонент к базовому ухудшает определенность образа. В качестве подтверждения служит образ в виде диаграммы.



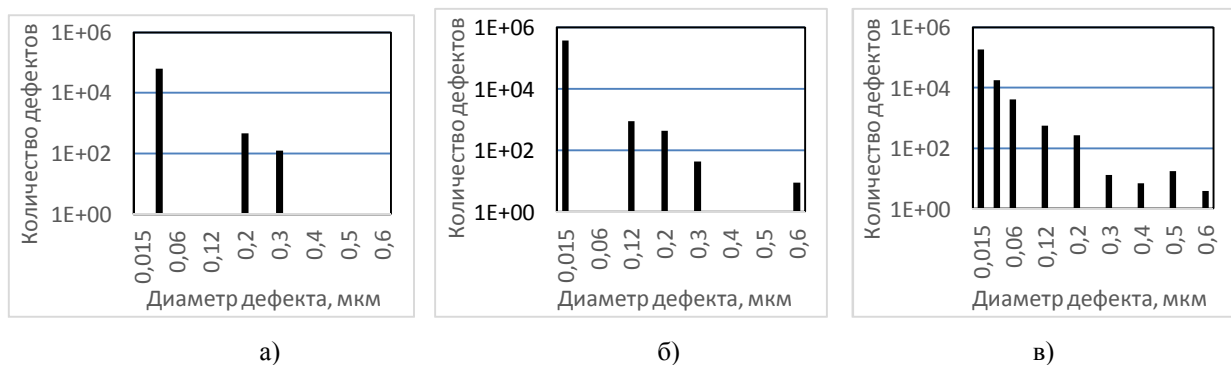


Рис. 2. Образы катода (образец №7): а)  $C_9^3$ , б)  $C_9^5$ , в)  $C_9^9$  где вместо числа дефектов показано распределение дефектов по площади (рис. 3):

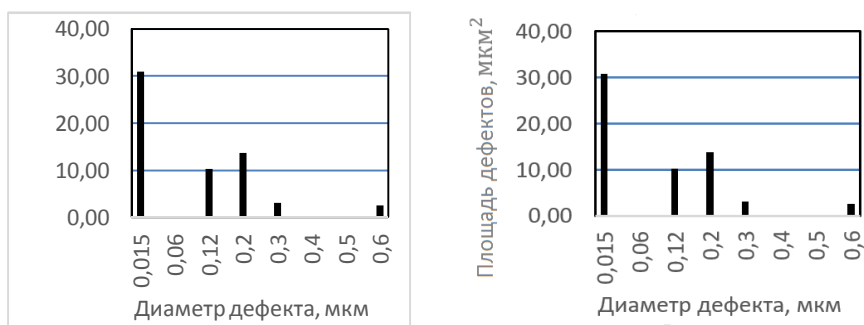


Рис. 3. Образ катода с распределением дефектов по площади ( $C_9^5$ )

Суммарная площадь дефектов, найденная с помощью компьютерного синтеза, в целом изменяется слабо с увеличением числа используемых спектральных компонент. В то же время катоды для различных образцов заметно отличаются по суммарной площади дефектов, как видно из таблицы 1:

Таблица 1 - Суммарная площадь дефектов катодов различных образцов

Суммарная площадь дефектов , мкм <sup>2</sup>	Образец №7	Образец №8	Образец №13
$C_9^3$	67	41	59,8
$C_9^5$	63,6	51,3	54,9
$C_9^9$	73,7	56,3	56,1

Связь между спектральными характеристиками НЧ шумов и образами термокатодов различных образцов показана на рисунках 4 – 6.

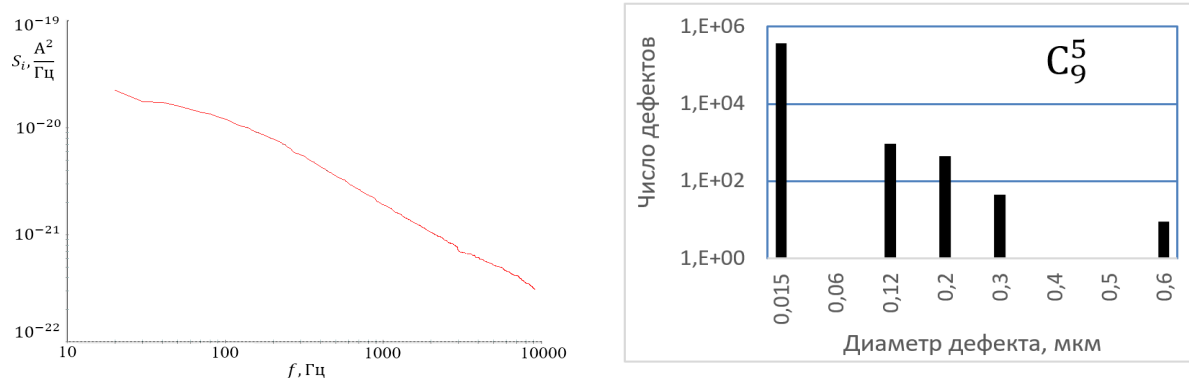


Рис. 4. Спектральная характеристика НЧ шума и образ термокатада образца №7



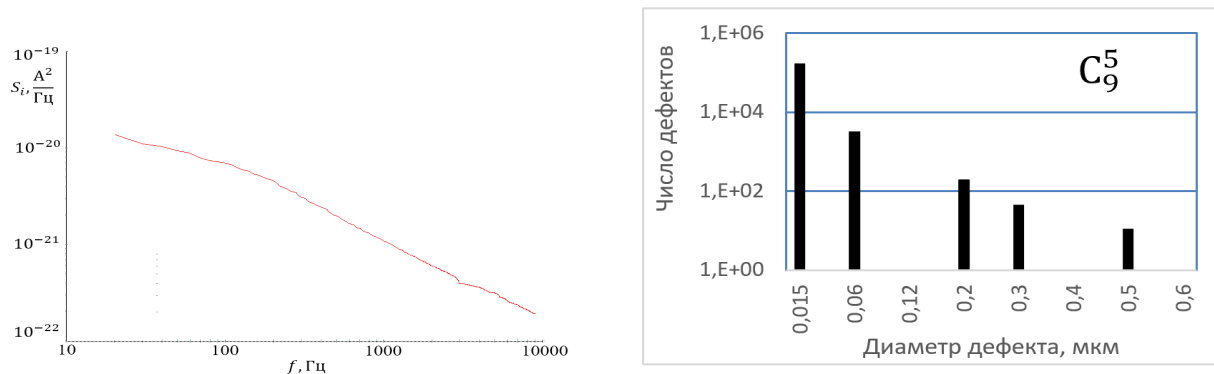


Рис. 5. Спектральная характеристика НЧ шума и образ термокатода образца №8

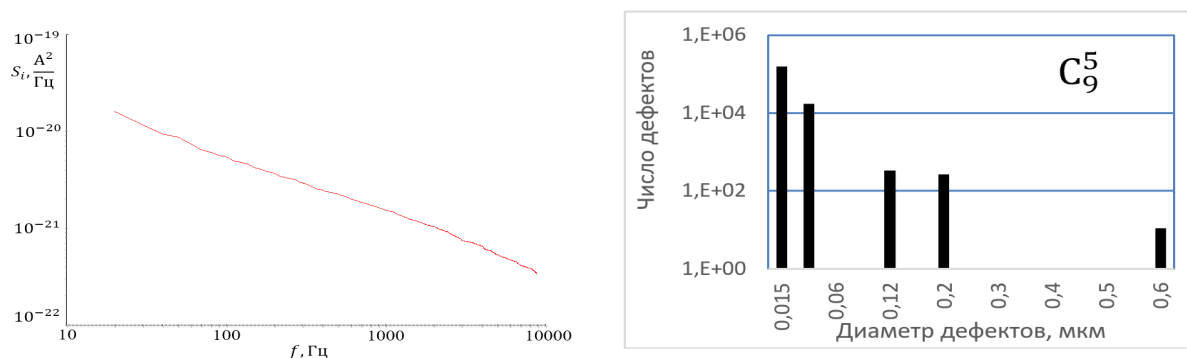


Рис. 6. Спектральная характеристика НЧ шума и образ термокатода образца №13

#### 4. Особенности и возможности компьютерной программы

Разработанная компьютерная программа синтеза может функционировать как в автоматическом, так и в ручном режимах. Последний целесообразно использовать для новой группы однотипных образцов, полученных в одном технологическом цикле, либо для катодов других типов. В процессе работы программы возможно:

1. Построение графиков экспериментальной и синтезированной характеристик с отображением погрешностей (отклонений) для каждой частоты.
2. Иллюстрация процесса нахождения синтезированной характеристик в виде анимации.
3. Вывод образов катодов в виде распределения дефектов как по количеству, так и по площади.

#### Выводы

Приведённые результаты следует рассматривать как иллюстрацию программного обеспечения для ранее разработанного устройства измерения НЧ шумовых характеристик ЭВП [5], позволяющего перевести их в количественную форму, упростить сравнительный анализ и использовать как дополнительный чувствительный инструмент при проведении работ по совершенствованию электронных эмиттеров.

#### Библиографический список

1. М.Д.Воробьев, М.Н. Чирков, В.В.Чубаров, Д.Н.Юдаев. Электрофлуктуационная диагностика эмитирующей поверхности термокатодов/ М.Д.Воробьев и др. // Электронная техника, сер.1, СВЧ-техника. 2012. Вып.1(512).
2. Van Vliet K.M., Johnson R.R., J. Appl. Phys. V.35, p.2039, 1964.
3. М.Д. Воробьев, Д.Н. Юдаев. Шумовая диагностика термокатодов в составе электронно-лучевой пушки/ М.Д.Воробьев, Д.Н. Юдаев // Прикладная физика, М.: 2010г. – с.60 – 65.
4. М.Д. Воробьев, Я.С. Кумов, В.Г. Чудин, Д.Н. Юдаев Низкочастотные шумы, создаваемые дефектами эмитирующей поверхности термоэлектронных катодов/ М.Д.Воробьев и др. // СТНО-2016, Т.2, 2016г. – с.167 – 170.
5. М.Д. Воробьев, Д.Н. Юдаев. Мобильный адаптируемый измеритель характеристик низкочастотных шумов для диагностики электровакуумных приборов // Измерительная техника, в печати.

# ИНДИКАТОРНЫЕ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРЫ

**А.И. Носков**

Тульский государственный университет,  
Россия, Тула, kent777bgr@gmail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются индикаторные гиростабилизаторы, гироскопические чувствительные элементы и принцип работы гиростабилизаторов с их использованием.

**Ключевые слова:** индикаторная гиростабилизация, гироскоп, микромеханические гироскопы, волновые твердотельные гироскопы, волоконно-оптические гироскопы.

## INERTIAL MEASUREMENT UNIT

**A.I. Noskov**

Tula State University,  
Russia, Tula, kent777bgr@gmail.ru

**Abstract.** Inertial measurement unit overview, gyroscopic sensors and operation gyrostabilizers.

**Keywords:** indicator gyroscopic stabilization, gyroscope, Microelectromechanical systems, Hemispherical Resonator Gyroscope, Fiber optic gyroscope.

### 1. Введение

Под индикаторными гиростабилизаторами понимаются системы автоматического регулирования, в которых гироскопические устройства, установленные на стабилизируемом объекте (например, платформе), являются чувствительными элементами, определяющими положение объекта и управляющими следящими системами. Стабилизация же объекта (платформы) осуществляется с помощью следящих систем. В качестве чувствительных элементов, реагирующих на угловые скорости или углы отклонения платформы, применяют (например, оптические, волновые твердотельные, трёхстепенные и двухстепенные гироскопы). Более подробная классификация индикаторных гиростабилизаторов приведена на рисунке 1 [2].

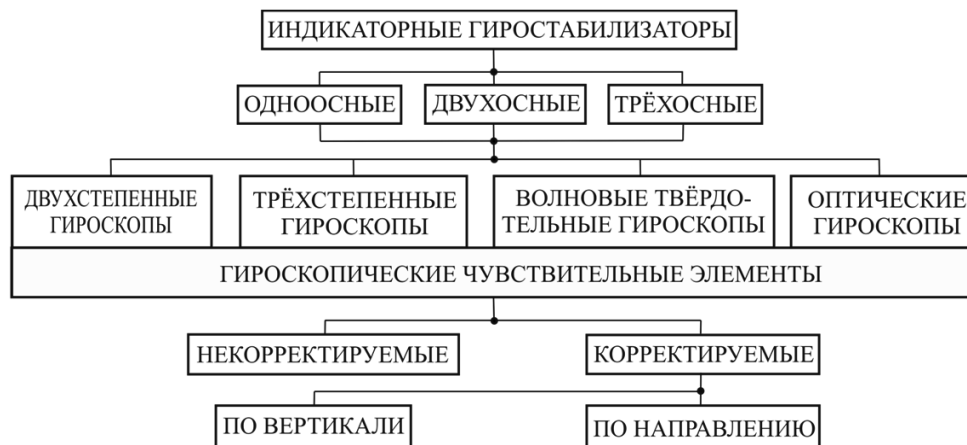


Рис. 1. Классификация индикаторных гиростабилизаторов

### 1. Перспективные гироскопические чувствительные элементы

#### 1.1. Микромеханические гироскопы

Микромеханические гироскопы (ММГ) это датчики угловой скорости. ММГ подразделяются на следующие типы: RR-тип (рис. 1.1 а), LL-тип (рис. 1.1 б) и LR (RL)-тип [2]. В самом ММГ находится чувствительный элемент (ЧЭ). ЧЭ это инерционная масса, связанная с помощью упругих элементов с корпусом гироскопа, включающая в себя привод для создания её быстрых периодических движений, а также датчиками, измеряющими её перемещение относительно корпуса. Точность современных ММГ достигает  $10^{-1}$  град/ч.

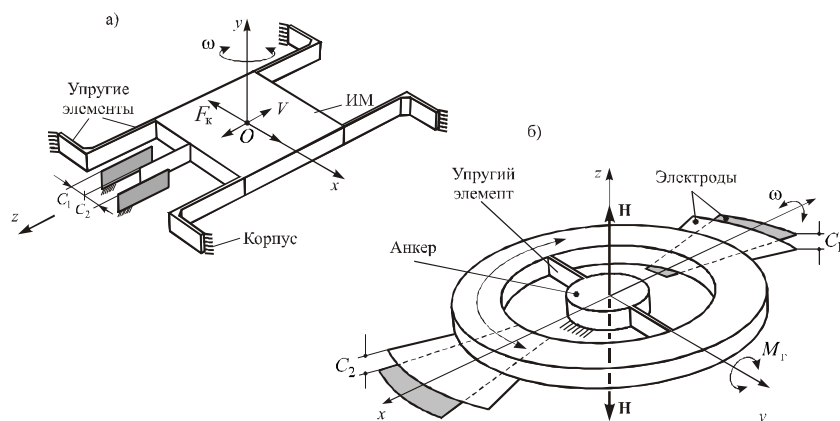


Рис. 1.1. Кинематические схемы чувствительных элементов микромеханических гироскопов: а) LL – типа, б) RR – типа

## 1.2. Волновые твердотельные гироскопы

Волновой твердотельный гироскоп (ВТГ) основан на использовании инертных свойств упругих волн в твёрдом теле. ВТГ может работать в двух режимах: в режиме датчика угловой скорости (ВТГ-ДУС) и режиме интегрирующего гироскопа (ВТГ-ИГ).

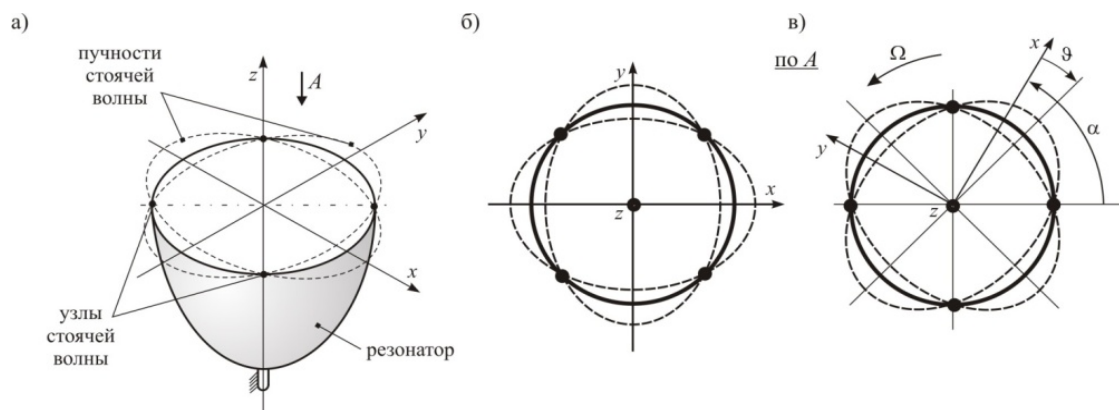


Рис. 1.2. Прецессия стоячей волны во вращающемся резонаторе:  
а – стоячая волна в резонаторе; б – положение стоячей волны при неподвижном резонаторе;  
в – положение стоячей волны при вращающемся резонаторе;  $\Omega$  – угловая скорость;  
 $\theta$  – угол прецессии стоячей волны;  $\alpha$  – угол поворота резонатора

К достоинствам ВТГ относятся: высокая точность – 0,05 - 0,1 град/ч, малая потребляемая мощность – 1,5 Вт, компактность (65x92 мм) и небольшая масса (350 г), малое время готовности (3 мин.), а также его ресурс – более 100 000 часов [3].

## 1.3. Волоконно-оптические гироскопы

Волоконно-оптический гироскоп – датчик угловой скорости, основанный на использовании «вихревого» эффекта Саньяка. Сущность вихревого эффекта заключается в следующем. Если в замкнутом оптическом контуре в противоположных направлениях распространяются два световых луча, то при неподвижном контуре фазовые набегі обоих лучей, прошедших весь контур, будут одинаковыми. ВОГ могут быть построены по схеме с разомкнутым или с замкнутым контуром.

Принципиальная схема ВОГ с замкнутым контуром (компенсационная схема ВОГ) приведена на рисунке 1.3.

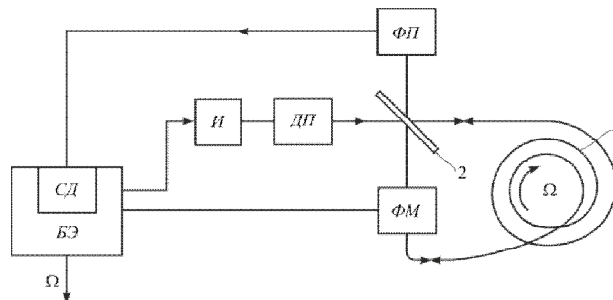


Рис. 1.3. Принципиальная схема ВОГ с замкнутым контуром:  
1 – катушка с оптоволокном; 2 – оптический разветвитель

Оптическая схема ВОГ имеет, так называемую, минимальную конфигурацию, обеспечивающую взаимность оптических путей двух встречно распространяющихся световых волн [1]. Предельная чувствительность ВОГ порядка  $10^{-4}$  град/ч ограничивается нестабильностью характеристик оптического волокна, рассеянием света в нём, шумами фотоприёмника.

## 2. Принцип работы индикаторного гиростабилизатора

На стабилизируемой платформе (Пл) расположены гироскопические датчики угловой скорости ( $\Gamma_1, \Gamma_2$ ) (рис. 2.1). Каждый из них служит для стабилизации платформы относительно определенной оси, в частности  $\Gamma_2$  служит для стабилизации относительно оси подвеса платформы,  $\Gamma_1$  – для стабилизации относительно оси подвеса рамы. Поскольку оба канала стабилизации независимы друг от друга, то рассмотрим процесс стабилизации только одного канала.

При появлении возмущающего момента  $M_p$  платформа начинает двигаться с угловой скоростью  $\dot{\alpha}$ . В связи с этим, гироскоп  $\Gamma_1$  через усилитель ( $Y_1$ ) подает сигнал на двигатель стабилизации ( $ДС_1$ ), который создаёт разгрузочный момент ( $M_{д1}$ ) и стабилизирует платформу. Относительно оси  $\eta$  действует также инерционный момент  $A\ddot{\alpha}$  и момент вязкого трения  $b_x\dot{\alpha}$ .

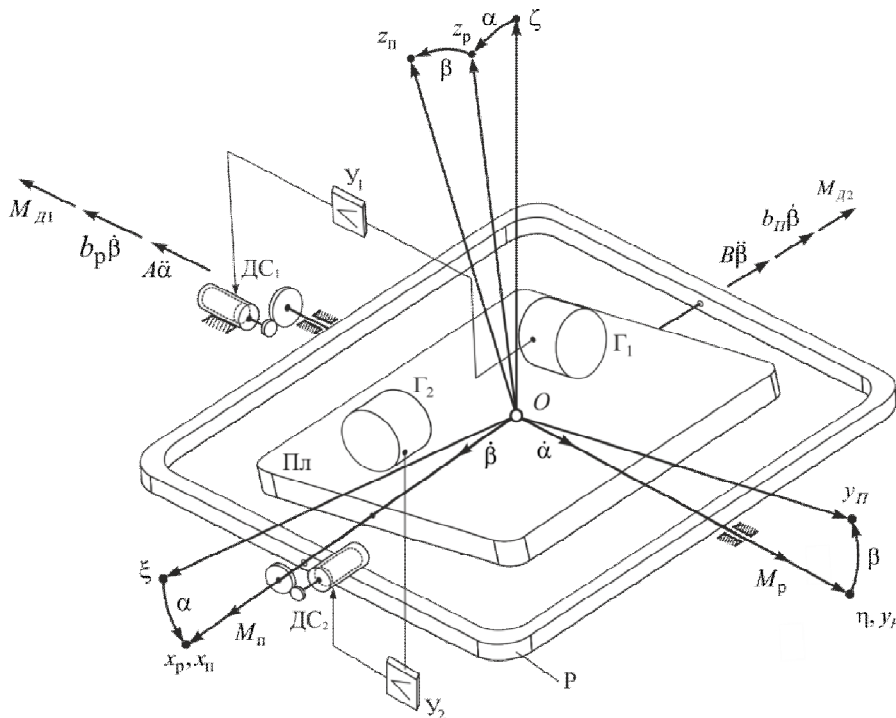


Рис. 2.1. К пояснению принципа работы индикаторного гиростабилизатора  
(Пл – платформа; Р – рама, ДС<sub>1</sub>, ДС<sub>2</sub> – двигатели стабилизации,  
Γ<sub>1</sub>, Γ<sub>2</sub> – гироскопы)

Воспользовавшись методом кинестатики получим уравнения движения гиросtabilизатора:

$$\left. \begin{aligned} A\ddot{\alpha} + b_p\dot{\alpha} + M_{d1} &= M_p; \\ B\ddot{\beta} + b_n\dot{\beta} + M_{d2} &= M_n; \end{aligned} \right\}$$

### 2.1. Особенности работы ГС на ММГ

В установившемся режиме платформа имеет дрейф (разворот) относительно оси стабилизации со скоростью  $\omega_{dp}$  которая может быть уменьшена до допустимого значения подбором параметров коэффициента передачи  $K_x$ . Применяя коррекцию по вертикали путем введения в систему акселерометра можно устранить дрейф ГС, однако при этом появляется статическая ошибка

$$\alpha_{cm} = M_{ex}/(K_x K_A).$$

Значение коэффициента  $K_x$  вычисляется исходя из допустимой ошибки стабилизации, а требуемые динамические характеристики могут быть обеспечены корректирующими фильтрами.

### 2.2. Особенности работы ГС на ВТГ

Применяя ВТГ в режиме датчика угловой скорости гиросtabilизатор под действием момента  $M_p$  в установившемся режиме имеет дрейф с угловой скоростью:  $\dot{\alpha} = \omega_{dp1}$ . Для случая применения ВТГ – ИГ гиросtabilизатор не имеет в установившемся режиме дрейфа. Аналогичный результат имеет место и для второго канала стабилизации по оси подвеса платформы. Однако, по угловым координатам гиросtabilизатор не обладает астатизмом. Следовательно, в установившемся режиме гиросtabilизатор имеет статическую ошибку  $\alpha_{cm} = M_p/KK_p$ , аналогичную статической ошибке гиросtabilизатора с трёхстепенным астатическим гироскопом [2].

### 2.3. Особенности работы ГС на ВОГ

В установившемся режиме гиросtabilизатор с ВОГ, как и с любым другим датчиком угловой скорости, имеет дрейф со скоростью:

$$\dot{\alpha} = \omega_{dp} = M/(b_p + K_{me}K_{dc1}K_{y1}).$$

Так как ВОГ подвержен влияниям температурных воздействий, то и дрейф гиросtabilизатора будет зависеть от температуры.

### Заключение

Проведен аналитический обзор построения индикаторных гиросtabilизаторов. Установлено, что существует большое многообразие ГЧЭ разной физической природы, и из них показаны наиболее перспективные на сегодняшний день.

При индикаторной стабилизации увеличение момента инерции позволяет во столько же раз повысить коэффициент усиления разомкнутой системы при неизменных запасах устойчивости, что повышает качество стабилизации. Таким образом, при большом инерционном моменте платформы индикаторная стабилизация оказывается предпочтительнее силовой.

### Библиографический список

1. Интерферометрические волоконно-оптические гироскопы с линейным выходом. Прилуцкий, В.Б. и др.//Сб. материалов XI Санкт-Петербургской Международной конференции по интегрированным навигационным системам. - СПб., 2004. - С. 129-136.
2. Распопов В.Я. Теория гироскопических систем. Гиросtabilизаторы. –Тула.: Издательство ТулГУ, 2016.–388 с. <http://www.inertech.ru/ru/hrig-development.html>

# ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ ОТПАЙНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ CO<sub>2</sub> ЛАЗЕРОВ С ВЧ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

И.Г. Веснов

Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, vsnvi@rambler.ru

**Аннотация.** Получено аналитическое выражение для функции распределения электронов по энергиям в активной среде отпаянных волноводных CO<sub>2</sub> лазеров с ВЧ возбуждением, позволяющее существенно упростить самосогласованный расчёт относительных концентраций CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> и O.

**Ключевые слова:** функция распределения электронов по энергиям, отпаянный волноводный CO<sub>2</sub> лазер с ВЧ возбуждением.

## ELECTRON ENERGY DISTRIBUTION FUNCTION IN ACTIVE MEDIUM OF RF-EXCITED SEALED-OFF CO<sub>2</sub> WAVEGUIDE LASERS

I.G. Vesnov\*

\* Ryazan State Radio Engineering University,  
Ryazan, Russia, vsnvi@rambler.ru

**Abstract.** Analytic expression for electron energy distribution function in active medium of RF-excited sealed-off CO<sub>2</sub> waveguide lasers which significantly simplifies self-consistent calculation of CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> and O relative concentrations has been obtained.

**Keywords:** electron energy distribution function, RF-excited sealed-off CO<sub>2</sub> waveguide laser.

В [1÷7] была разработана теоретическая модель, описывающая кинетику диссоциации и регенерации двуокиси углерода в активной среде отпаянных CO<sub>2</sub> лазеров с поперечным ВЧ возбуждением. Она позволяет вычислить относительные содержания CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> и O в активной среде в результате решения самосогласованной системы следующих уравнений: 1) кинетического уравнения Больцмана для электронов (КУБЭ); 2) уравнения теплопроводности для газовой смеси; 3) уравнений непрерывности для CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>; 4) уравнений баланса по углероду и кислороду. Эту систему уравнений нельзя решить аналитически, а разработка и реализация численных методов её решения весьма затруднительна. Значительно упростить решение позволяет использование аналитического выражения для функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) в переменном электрическом поле. В этом случае отпадает необходимость в численном решении нестационарного КУБЭ.

Будем искать аналитическое выражение для ФРЭЭ исходя из следующих условий, типичных для плазмы ВЧ разряда в активной среде CO<sub>2</sub> лазеров: 1) хаотическая (тепловая) скорость электронов много больше направленной; 2) влиянием электрон-электронных и свехупругих столкновений на ФРЭЭ можно пренебречь по сравнению с влиянием электрон-молекулярных столкновений; 3) концентрация электронов не зависит от времени, так как время жизни заряженных частиц в плазме, обусловленное процессами амбиполярной диффузии к стенкам разрядной камеры, рекомбинацией и прилипанием, много больше периода ВЧ колебаний; 4) ФРЭЭ локальна; 5) анизотропная составляющая ФРЭЭ  $f_1$  квазистационарно отслеживает изменения поля, так как  $v_m \gg \omega$ , где  $v_m$  – частота релаксации импульса,  $\omega$  – циклическая частота переменного электрического поля  $E(t) = E_0 \sin(\omega t)$ . В этом случае симметричная составляющая  $f_0$  ФРЭЭ (стационарное КУБЭ) удовлетворяет уравнению [2]:

$$\frac{d}{du} \left\{ u^2 \delta Q_m \left[ f_0 + T \frac{df_0(u)}{du} \right] \right\} = \sum_{j,k} \Psi_j \left[ u f_0(u) Q_{jk}(u) - (u + u_{jk}) f_0(u + u_{jk}) Q_{jk}(u + u_{jk}) \right], \quad (1)$$

где

$$Q_m = \sum_j \Psi_j Q_{mj}(u), \quad \delta = \frac{\sum_j 2(m/M_j) \Psi_j Q_{mj}(u)}{\sum_j \Psi_j Q_{mj}(u)}, \quad T = \frac{kT_a}{e} + \frac{1}{3} \left( \frac{E}{N} \right)^2 \frac{1}{u \delta(u) Q_m^2(u)},$$

$t$  – время,  $u$  – энергия электрона в эВ,  $e$  и  $m$  – элементарный заряд и масса электрона соответственно,  $M_j$  – масса молекулы  $j$ -го сорта,  $k$  – константа Больцмана,  $T_a$  – температура газа,  $N$  – общая концентрация нейтральных частиц,  $\Psi_j = N_j/N$  – мольная доля  $j$ -ой нейтральной компоненты газовой смеси,  $Q_{mj}(u)$  и  $Q_{jk}(u)$  – сечение передачи импульса и сечение  $k$ -го неупругого процесса с потерей энергии  $u_{jk}$  для частиц  $j$ -го сорта соответственно. Разобьем интервал энергий на две области:  $0 \leq u \leq u_1$  и  $u_1 \leq u < \infty$ , где  $u_1$  – определена ниже, обозначим правую часть уравнения (1) через  $S(u)$  и рассмотрим её как неоднородность. Тогда решение (1) формально можно представить в виде:

$$f_{01}(u) = \exp\left(-\int_0^u \frac{du'}{T(u')}\right) \left[ C_1 + \int_0^u \exp\left(\int_0^{u'} \frac{du''}{T(u'')}\right) \frac{1}{(u')^2 \delta(u') Q_m(u')} \int_0^{u'} S(u'') du'' du' \right]. \quad (2)$$

Так как в выражении (2)  $S(u)$  входит под знак двойного интегрирования, то вид решения слабо чувствителен к тонким деталям поведения интеграла неупругих столкновений в первой области. Поэтому положим, что  $S(u) \approx \text{const}$ . Принимая во внимание слабую зависимость от энергии величин  $\delta$  и  $Q_m$ , решение (1) в первой области энергий имеет вид:

$$f_{01}(u) = \exp\left(-\int_0^u \frac{du'}{T(u')}\right) \left[ C_1 + C_2 \int_0^u \exp\left(\int_0^{u'} \frac{du''}{T(u'')}\right) \frac{du'}{u' T(u')} \right]. \quad (3)$$

Первая область ограничена сверху величиной энергии электронов  $u_1$ , начиная с которой электрон - молекулярные столкновения происходят с большой потерей энергии и резко возрастающими сечениями. Поэтому ФРЭЭ во второй области является резко убывающей функцией ( $f_0(u+u_{jk}) \ll f_0(u)$ ), и в правой части (1) членами  $(u+u_{jk})f_0(u+u_{jk})Q_{jk}(u+u_{jk})$ , играющими роль источников электронов, можно пренебречь. Тогда решение уравнения (1) методом ВКБ во второй области энергий имеет вид:

$$f_{02}(u) = C_3 \exp\left(-\int_{u_1}^u \sqrt{\left(\frac{1}{\delta(u') Q_m(u')} \sum_{j,k} \Psi_j Q_{jk}(u') - 2\right) (u' T(u'))^{-1}} du'\right). \quad (4)$$

Константы  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  определяются из условий гладкости ФРЭЭ в точке  $u_1$  и условия нормировки:

$$f_{01}(u_1) = f_{02}(u_1), \quad df_{01}(u_1)/du = df_{02}(u_1)/du, \quad \int_0^{u_1} f_{01}(u) \sqrt{u} du + \int_{u_1}^{\infty} f_{02}(u) \sqrt{u} du = 1.$$

Для типичных лазерных  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ -He-Xe смесей (и вообще любых газовых смесей, содержащих  $\text{N}_2$ ) энергия  $u_1$  приблизительно равна 2 эВ. В дальнейшем было установлено, что варьирование величины  $u_1$  (в пределах 20%) практически не влияет на результаты расчёта.

Не смотря на то, что выражения (3) и (4) были получены для ФРЭЭ в постоянном электрическом поле, они с успехом могут быть использованы и для расчёта энергетического спектра электронов в переменном электрическом поле (ВЧ разряде) в следующих двух предельных случаях. Если  $\nu_u \gg \omega$ , где  $\nu_u$  – частота релаксации энергетического спектра электронов, ФРЭЭ квазистационарно отслеживает изменения электрического поля и в любой момент времени  $t$  определяется выражениями (3), (4), где

$$T = T(u, t) = \frac{kT_a}{e} + \frac{1}{3} \left( \frac{E_0 \sin \omega t}{N} \right)^2 \frac{1}{u \delta(u) Q_m^2(u)}.$$

Если  $v_u \ll \omega \ll v_m$ , ФРЭЭ в любой момент  $t$  времени определяется среднеквадратичным значением поля, то есть задаётся выражениями (3), (4), где

$$T = T(u) = \frac{kT_a}{e} + \frac{1}{3} \left( \frac{E_0/\sqrt{2}}{N} \right)^2 \frac{1}{u\delta(u)Q_m^2(u)}. \quad (5)$$

В [8] установлено, что константы скорости протекания плазмохимических процессов в  $\text{CO}_2$  лазерах с поперечным ВЧ возбуждением, рассчитанные на основе решения нестационарного КУБЭ, с точностью не хуже 10% совпадают с рассчитанными на основе стационарной ФРЭЭ в эффективном электрическом поле  $E_{\text{eff}} = E_0/\sqrt{2}$ . Это обосновывает правомерность использования выражений (3), (4) и (5) для расчёта ФРЭЭ в плазме активной среды  $\text{CO}_2$  лазеров с поперечным ВЧ возбуждением.

В таблице 1 сравнивается температура  $T_e = (2/3) \int_0^\infty u^{3/2} f_0(u) du$  электронов в плазме азота, рассчитанная для различных значений параметра  $E/N$  как на основе формул (3), (4), так и численными методами [9]. Сечения упругих и неупругих столкновений в азоте взяты из [10]. Так как при выводе (4) в интеграле неупругих столкновений были отброшены члены, играющие роль источников электронов, то  $T_e$ , рассчитанная на основе аналитического выражения для ФРЭЭ, оказалась несколько ниже по сравнению с найденной численными методами.

В таблице 2 в зависимости от  $E/N$  и состава активной среды сравниваются результаты расчета температуры электронов  $T_e$ , константы скорости возбуждения верхнего лазерного уровня  $K_{001}$  и дрейфовой скорости  $w$  электронов в активной среде  $\text{CO}_2$  лазера, вычисленные на основе зависимостей (3), (4) и на основе численного решения КУБЭ [11]. Сечения упругих и неупругих столкновений электронов с молекулами двуокиси углерода, азота и атомами гелия были взяты из [12], [10] и [13] соответственно,  $K_{001}$  и  $w$  рассчитывались по формулам

$$K_{001} = \left( \frac{2e}{m} \right)^{1/2} \int_0^\infty Q_{001}(u) f_0(u) u du, \quad w = -\frac{1}{3} \frac{E}{N} \left( \frac{2e}{m} \right)^{1/2} \int_0^\infty \frac{u}{Q_m(u)} \frac{df_0(u)}{du} du.$$

Хорошее согласие приведённых в таблице 2 данных говорит о том, что решение сложных задач, в которых нахождение энергетического спектра электронов надо повторять многократно, можно существенно упростить путём использования формул (3), (4). Таковой задачей, например, является самосогласованный расчёт относительного содержания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{O}$  в активной среде  $\text{CO}_2$  лазеров с поперечным ВЧ возбуждением.

Таким образом, в работе получено аналитическое выражение для ФРЭЭ в активной среде отпаянных волноводных  $\text{CO}_2$  лазеров с поперечным ВЧ возбуждением, позволяющее существенно упростить самосогласованный расчёт относительного содержания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{O}$ .

Таблица 1

$E/N \times 10^{-16}, \text{ В}\cdot\text{см}^2$	$T_e, \text{ эВ}$	
		[9]
1	0.60	0.63
3	0.69	0.72
5	0.78	0.81
8	1.12	1.14
15	2.19	2.25



Таблица 2

CO <sub>2</sub> :N <sub>2</sub> :He	$E/N \times 10^{-16}$ , В·см <sup>2</sup>	$T_e$ , эВ		$K_{001} \times 10^{-9}$ , см <sup>3</sup> /с		$w \times 10^6$ , см/с	
			[11]		[11]		[11]
1:1:8	2	0.89	1.05	5.15	5.26	6.13	5.18
	3	1.21	1.64	5.29	5.52	8.20	6.64
1:1:3	3	0.88	1.03	5.18	5.27	7.82	6.83
	4	1.13	1.42	5.27	5.47	9.53	8.35
1:2:4.6	3	0.86	0.94	5.17	5.27	7.2	6.40

### Библиографический список

- Cherezov V.M., Kyun V.V., Samorodov V.G., Shishkanov E.F., Sipaylo A.A., Stepanov V.A., Vesnov I.G. [CO<sub>2</sub> dissociation in sealed-off RF-excited CO<sub>2</sub> waveguide lasers](#). В сборнике: [Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering](#) 2000. P. 100-110.
- Веснов И.Г. [Стабилизация состава активной среды отпаянных лазеров на углекислом газе с поперечным высокочастотным возбуждением](#). Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Рязань, 2001.
- Веснов И.Г. [Кинетика диссоциации и регенерации двуокиси углерода в активной среде отпаянных CO<sub>2</sub> лазеров с поперечным высокочастотным возбуждением](#). [Квантовая электроника](#). 2010. Т. 40. № 4. С. 310-313.
- Веснов И.Г. Критерий подобия для состава активной среды отпаянных волноводных CO<sub>2</sub> лазеров с ВЧ возбуждением с разрядным каналом, полностью ограниченным диэлектрическими стенками. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет ; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. С. 195-198.
- Веснов И.Г. Способы снижения степени диссоциации двуокиси углерода и содержания атомарного кислорода в активной среде щелевых CO<sub>2</sub> лазеров с поперечным ВЧ возбуждением. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет ; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. С. 198-201.
- Веснов И.Г. Основные физико-химические процессы в кинетике диссоциации и регенерации двуокиси углерода в активной среде отпаянных волноводных CO<sub>2</sub> лазеров с ВЧ возбуждением. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет ; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. С. 202-204.
- Веснов И.Г. Релаксация степени диссоциации двуокиси углерода после отключения накачки в отпаянных волноводных CO<sub>2</sub> лазерах с ВЧ возбуждением. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2016 сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет ; под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2016. С. 205-207.
- T. Leding and B. Schroder. Electron energy distribution functions and power transfer data for radio-frequency discharges in CO<sub>2</sub> laser gas mixtures. J. Phys. D.: Appl. Phys. 1990. V. 23. P. 1624-1632.
- W. L. Nighan. Electron energy distributions and collision rates in electrically excited N<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub>. Phys. Rev. A. 1970. V. 2. № 5. P. 1989-2000.
- Л. Хаксли, Р. Кромптон. Диффузия и дрейф электронов в газах. М.: Мир, 1977. 672 с.
- J. Bonnet, C. Dahan, G. Fournier et D. Pigache. Calcul des parametres macroscopiques et des fonctions de distribution electroniques dans les plasmas de CO<sub>2</sub> – N<sub>2</sub> – He . Note Technique ONERA. 1974. № 238.
- В. Витteman. CO<sub>2</sub> – лазер. М.: Мир, 1990. 360 с.
- Н. В. Карлов, Ю. Б. Конев, В. Г. Певгов. Константы скорости и баланс энергии электронов в плазме газоразрядных CO<sub>2</sub> лазеров. Препринт ФИАН № 91. М.: 1976.

## **АНАЛИЗ НАНОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**А.Е. Серебряков\*, М.В. Чиркин\*, А.В. Молчанов\*\*, Ю.В. Воробьев\***

*\* Рязанский государственный радиотехнический университет,*

*Россия, Рязань, sea89s@yandex.ru, chirk.mikhail@yandex.ru, juriy.vorobjov@gmail.com*

*\*\* АО Московский институт электромеханики и автоматики*

*Россия, Москва, a.v.molchanov@mail.ru*

*Аннотация.* Рассмотрена проблема оценки параметров, характеризующих шероховатость сверх гладкой стеклокерамической поверхности многослойных интерференционных зеркал. Показано, что в процессе формирования трехмерного изображения регистрируется, кроме истинного, ложный рельеф, связанный с собственными шумами измерительного инструмента и ошибочным выбором частоты дискретизации. Доклад содержит методы, позволяющие оценить собственные шумы и алиасинг экспериментальных данных. Определены условия для формирования исходных изображений и их цифровой обработки, достаточные для статистически достоверной оценки спектральной плотности флуктуаций высоты рельефа поверхностной и углового распределения рассеяния оптического излучения характерными особенностями рельефа поверхности.

*Ключевые слова:* атомно-силовой микроскоп, интерферометр белого света, спектральная плотность, автокорреляционная функция

## **SURFACE NANORELIEF ANALYSIS OF GLASS CERAMIC SUBSTRATES FOR PRECISION OPTICAL ELEMENTS**

**A.E. Serebryakov\*, M.V. Chirkin\*, A.V. Molchanov\*\*, Y.V. Vorobjov\***

*\* Ryazan state radio engineering university,*

*Russia, Ryazan, sea89s@yandex.ru, chirk.mikhail@yandex.ru, juriy.vorobjov@gmail.com*

*\*\* JSC Moscow institute of electromechanics and automatics*

*Russia, Moscow, a.v.molchanov@mail.ru*

*Abstract.* The report is concerned with the problem of assessment of a set of parameters characterizing the rough pattern of the ultra-smooth glass ceramic and the surface of the multilayer interference mirrors. It is demonstrated that in the act of forming three-dimensional images instrument inherent noises and an erroneous choice of sampling frequency appear as a spurious random pattern, which bears no relation to properties of the test specimen. The report contains ingenious methods that make it possible to assess inherent noises and aliasing on experimental evidence. We have defined conditions for the formation of initial images and their digital processing sufficient for a statistically reliable evaluation of the areal power spectral density and the angular distribution of optical radiation scattering by individual characteristic properties of the rough pattern.

*Keywords:* atomic force microscope, white light interferometer, power spectral density, autocorrelation function

### **1. Введение**

Применение кольцевых лазерных гироскопов в геодезии, сейсмологии и автономных инерциальных навигационных системах высокой точности требует комплектовать оптические резонаторы зеркалами, рассеивающими не более  $10^{-5}$  от мощности оптического пучка [1,2]. Векторная теория [3,4] позволяет рассчитать угловое распределение рассеянного монохроматического излучения по PSD-функции шероховатой поверхности диэлектрика, определенной в диапазоне пространственных частот  $0,1 - 3,0 \text{ мкм}^{-1}$ .

Полированная поверхность диэлектрика содержит характерные особенности разного происхождения, обладающие качественно различающимися статистическими свойствами [5, 6]. Рассеяние оптического излучения каждой из них специфично, а совокупный результат зависит от технологии формирования подложек и многослойных отражающих покрытий.

Разрешением по высоте, необходимым для регистрации рельефа со среднеквадратичной шероховатостью в доли нанометра, обладают атомно-силовой микроскоп (AFM) и интерференционный микроскоп белого света (WLI). В обоих приборах отсчеты высоты сопровождаются случайными погрешностями, вызванными шумами различного происхождения.

При сканировании поверхности собственные шумы создают потенциальную возможность регистрации ложного хаотического рельефа, не имеющего отношения к свойствам исследуемого образца. Нетривиальной задачей является выбор условий получения и методик обработки первичных данных, чтобы достоверно оценить рассеивающие свойства в условиях, когда зарегистрированы изображения лишь относительно малой части оптической поверхности. Цель работы заключается в создании методики регистрации и анализа трехмерных изображений нанорельефа, обеспечивающих раздельное описание статистических свойств его характерных особенностей различного происхождения.

## 2. Шумы измерительного оборудования и спектральная плотность флуктуаций высоты рельефа

Эксперименты выполнены с использованием атомно-силового микроскопа «ИНТЕГРА» фирмы NT-MDT; режим работы АФМ - прерывисто-контактный, частота отсчетов  $f_s = 16$  кГц. В процессе сканирования кантилевер атомно-силового микроскопа движется с постоянной скоростью  $v$  вдоль поверхности образца. Последовательные отсчеты высоты осуществляются через интервалы времени  $\Delta t$ , за который кантилевер перемещается вдоль оси  $Ox$  на расстояние  $h = v\Delta t$  - шаг сканирования. Как только количество отсчетов достигает заданной величины  $N_c$ , кантилевер возвращается в начало строки, смещается на расстояние  $h$  вдоль оси  $Oy$ , и снова движется вдоль оси  $Ox$ . В условиях эксперимента реализована скорость перемещения  $v = 85,3$  мкм/с, шаг сканирования  $h$  выбран равным 58,7 нм. В данном случае произведение  $f_s\Delta t = 11$  - система накопления данных регистрирует каждый одиннадцатый отсчет. Исследуемый участок поверхности представляет собой квадрат со стороной 30 мкм, количество отсчетов в строке растровой развертки  $N_c = 512$ . Переход от массива отсчетов высоты  $z_{j,q}$  к спектральной плотности флуктуаций высоты осуществляется с помощью дискретного преобразования Фурье:

$$S(f_x, f_y) = h^2 \left| \sum_{j,q=0}^{N-1} z_{j,q} \exp(2\pi i h(jf_x + qf_y)) \right|^2, \quad (1)$$

$i = \sqrt{-1}$ ,  $-1/2h \leq f_x, f_y \leq 1/2h$  – пространственные частоты. В качестве примера на рисунке 1 (кривая 1) приведена PSD-функция рельефа подложки из оптической стеклокерамики как функция модуля пространственной частоты  $f$ , полученная после усреднения соотношения (1) по углу.

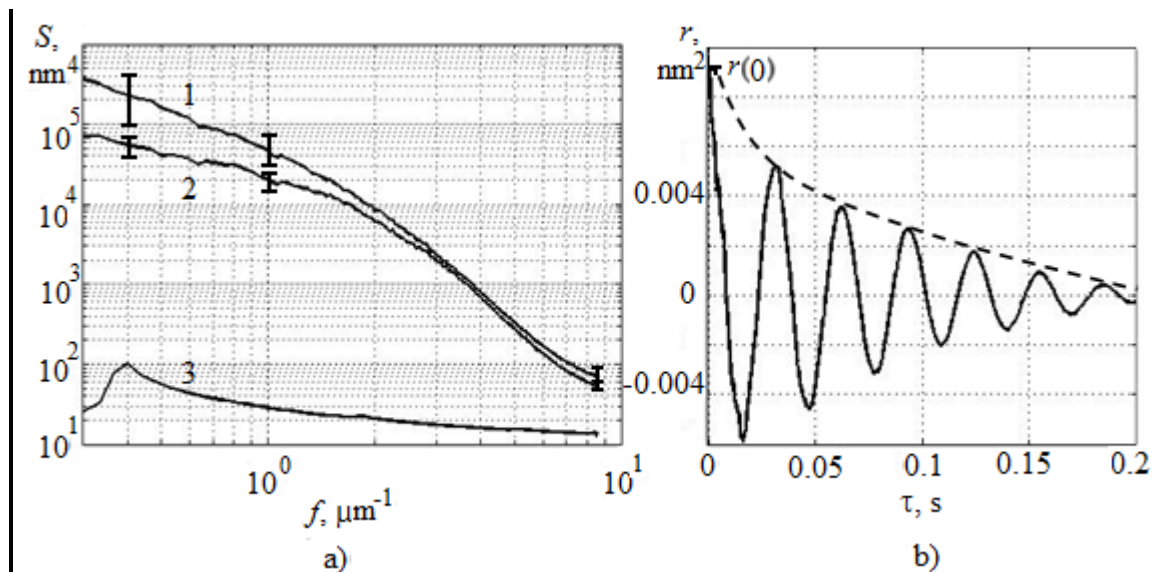


Рис. 1. (а) Спектральная плотность флуктуаций высоты рельефа оптической керамики: 1- исходный АСМ-скан, 2 – локальные выступы удалены, 3 – собственные шумы АСМ; (б) автокорреляционная функция собственных шумов АСМ

При определении влияния ложного рельефа на спектральную плотность флуктуаций высоты следует учитывать, что интервал времени 351,7 мс, соответствующий переходу к следующей строке скана, более чем в 5 раз превышает время корреляции собственного шума. Следовательно, корреляционная связь между соседними строками матрицы отсчетов высоты ложного рельефа, сформированного собственным шумом АФМ, отсутствует. В пределах одной строки корреляция отсчетов определяется функцией (2), где в качестве аргумента следует подставить интервал времени, за который кантилевер переместится на расстояние  $hj$ . В такой ситуации дискретный аналог соотношения Винера – Хинчина принимает вид:

$$S(f_x) = h^2 \left[ r(0) + 2 \sum_{j=0}^{N_c/2} r\left(\frac{hj}{v}\right) \cos(2\pi h f_x j) \right]. \quad (2)$$

Спектральная плотность ложного рельефа, созданного собственным шумом атомно-силового микроскопа, представлена на рисунке 1 (кривая 3). Локальный максимум на кривой 3 около пространственной частоты  $0,37 \text{ мкм}^{-1}$  соответствует отношению частоты осцилляций автокорреляционной функции к скорости  $v$  перемещения кантилевера. Полученный результат подтверждает возможность использования атомно-силового микроскопа для регистрации нанорельефа, если спектральная плотность флуктуаций высоты последнего превышает  $5 \cdot 10^2 \text{ нм}^4$  для пространственных частот, составляющих десятки доли  $\text{мкм}^{-1}$ .

В настоящей работе рельеф подложек был также исследован с помощью интерферометра белого света Zygo New View 7300. Расстояние по горизонтали  $h$  между соседними точками, в которых определены высоты, составляет 219,3 нм. Были зарегистрированы по 1500 изображений рельефа одного и того же участка поверхности. Для формирования последовательности отсчетов высоты точки на поверхности подложки в матрицах, соответствующих зарегистрированным изображениям, выделялась компонента  $z_{j,k}$  с фиксированными значениями индексов.

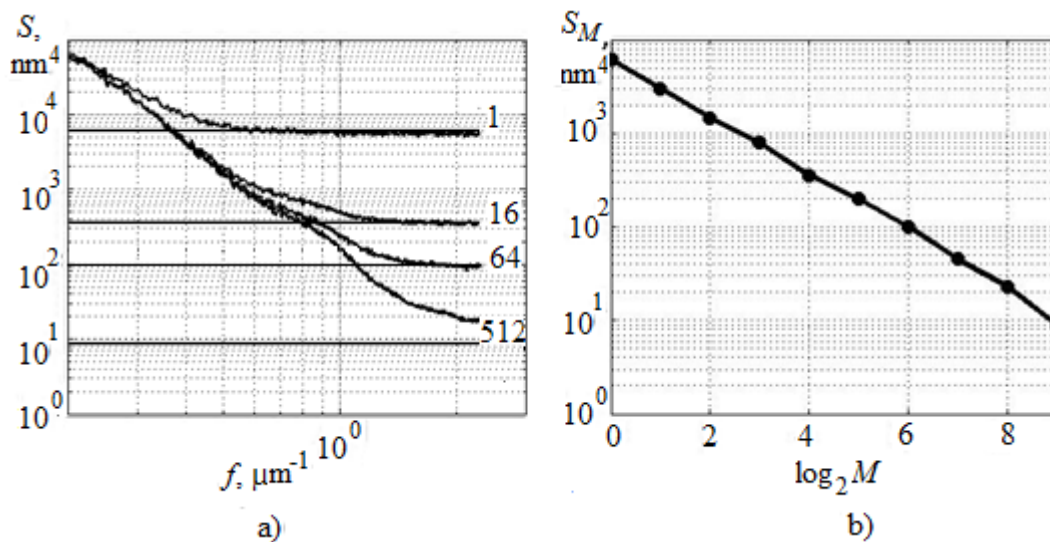


Рис. 2. Спектральные плотности флуктуаций высоты, вычисленные по (4); трехмерные изображения рельефа получены с помощью интерференционного микроскопа белого света Zygo New View 7300. Горизонтальные линии отображают уровень собственных шумов интерференционного микроскопа белого света

На рисунке 2 представлены PSD-функции, вычисленные с помощью соотношения:

$$S(f_x, f_y) = h^2 \left| \sum_{j,q=0}^{N-1} \bar{z}_{j,q}^{(1)}(M) \exp(2\pi i h(jf_x + qf_y)) \right|^2, \quad \bar{z}_{j,q}^{(k)}(M) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z_{j,q}^{((k-1)M+m)}, \quad (3)$$

$k = 1 \dots K$ ,  $K = 1500/M$ . Число изображений  $M$  по которым производилось усреднение отображено около каждой кривой. Горизонтальные линии отображают уровень спектральной плотности ложного рельефа:

$$S_M = \frac{h^2}{2(K-1)} \sum_{k=1}^{K-1} (\bar{z}_{k+1}(M) - \bar{z}_k(M))^2. \quad (4)$$

Величина  $S_M$  характеризует вклад собственных шумов прибора в зарегистрированную с его помощью PSD-функцию рельефа; зависимость величины  $S_M$  от количества изображений  $M$ , по которым выполнено усреднение, отражает рис. 2, b. По мере роста пространственной частоты спектральные плотности приближаются к величине, соответствующей ложному хаотическому рельефу. Асимптоты снижаются обратно пропорционально количеству изображений, использованных для усреднения.

Хаотический рельеф, зарегистрированный без усреднения, является ложным и обусловлен собственными шумами. Усреднение по 512 изображениям, зарегистрированным с помощью интерферометра Zygo New View 7300, позволяет получить изображение, отражающее подлинный рельеф. Быстрый спад спектральной плотности флуктуаций высоты на пространственных частотах, превышающих  $1 \text{ мкм}^{-1}$ , отражает ограничение разрешения по плоскости вследствие приближения к дифракционному пределу.

### 3. Выбор условий АСМ-сканирования

Возможность ошибочного выбора шага сканирования заключается в том, что диапазон частот, в котором локализована спектральная плотность флуктуаций высоты, выходит за пределы, определяющие угловое распределение рассеянного излучения с длиной волны  $0,6328 \text{ мкм}$ . Искажения вследствие завышения шага отражает рисунок 3, на котором представлены зависимости спектральной плотности флуктуаций высоты от модуля пространственной частоты, полученные в результате обработки изображений одних и тех же участков

поверхности оптической стеклокерамики. Таким образом, регистрация АФМ-сканов участков полированной поверхности оптической стеклокерамики дает возможность определить спектральную плотность флуктуаций высоты в диапазоне, ограниченном сверху пространственной частотой  $3 \text{ мкм}^{-1}$ , если шаг сканирования не превышает 60 нм.

В кольцевых гелий-неоновых лазерах площадь поверхности зеркала, на которую падает лазерный пучок, составляет около  $1 \text{ мм}^2$ . Сканирование всей оптической поверхности с шагом, не превышающим 60 нм, потребует не только неприемлемо большого времени измерений, но и обработки массива, содержащего  $10^8$  отсчетов. Следовательно, необходимо получить статистически достоверную оценку на основе изображений небольшого количества участков, распределенных по оптической поверхности. На рисунке 1 представлены результаты АФМ-сканирования полированной поверхности. Сильный разброс значений спектральной плотности флуктуаций высоты для отдельных участков (рис. 1,а, кривая 1) вызван уединенными выступами с высотой от единиц до сотен нанометров, количество которых сильно различается у разных изображений. Для достижения приемлемой достоверности необходимо исключить уединенные выступы [6]. Удаление выступов позволяет уменьшить на порядок разброс значений спектральной плотности флуктуаций высоты (рис. 1,а).

#### 4. Выводы

- Разработанный комплекс методов анализа и критериев для выявления качества прецизионной поверхности диэлектрика составляет основу для мониторинга финишного полирования подложек и зеркал кольцевых лазеров.
- Создана методика экспериментальной оценки собственных шумов измерительного прибора и их влияния на спектральную плотность флуктуаций высоты, рассчитанной по трехмерным изображениям оптической поверхности.
- Определены условия регистрации изображений нанорельефа полированной оптической стеклокерамики и поверхности нанесенного на нее отражающего покрытия, исключающие искажения PSD функции рельефа. Шаг сканирования не должен превышать две трети от радиуса корреляции шероховатого нанорельефа, локальные неоднородности которого предварительно удалены вейвлет-фильтрацией полученных изображений.
- 

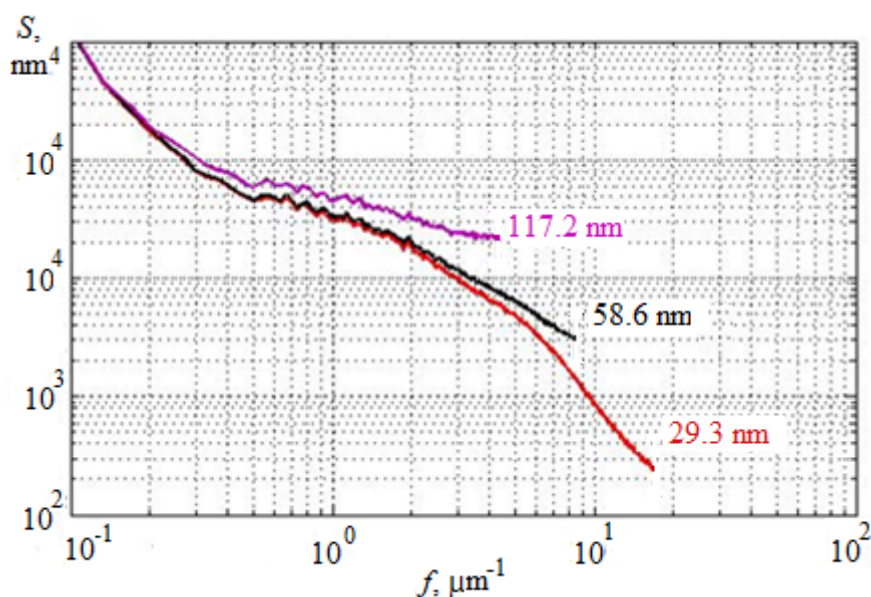


Рис. 3: Спектральная плотность флуктуаций высоты полированной поверхности стеклокерамики. Шаг сканирования показан около каждой кривой

### **Библиографический список**

1. Stedman G.E. Ring-laser tests of fundamental physics and geophysics // Reports on Progress in Physics. 1997. – V. 60. - P. 615–688.
2. Кузнецов А.Г., Молчанов А.В., Чиркин М.В., Измайлов Е.А., Прецизионный лазерный гироскоп для автономной инерциальной навигации// Квантовая электроника. - 2015. - Т. 45. - № 1. - С. 78-88.
3. Germer T.A. Polarized light scattering by micro-roughness and small defects in dielectric layers // Journal of the Optical Society of America. 2001. – V. A-18.– P. 1279-1288.
4. Азарова В.В., Дмитриев В.Г., Лохов Ю.Н., Малицкий К.Н. Теория дифференциального и интегрального рассеяния лазерного излучения прецизионной поверхностью диэлектрика // Квантовая электроника. 2000. – Т. 30. № 4. – С. 360-364.
5. Молчанов А.В., Степанов А.Ю., Чиркин М.В., Статистические характеристики подложек зеркал и случайная погрешность лазерного гироскопа// Авиакосмическое приборостроение. - 2008. - № 3. - С. 9-17
6. Молчанов А.В., Серебряков А.Е., Чиркин М.В., Анизотропия рассеивающих свойств сверхгладких подложек зеркал для прецизионных лазерных гироскопов// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2012. - № 42-2. - С. 92-98.



## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ» .....	3
Костина А.В. Анализ поврежденности при статическом нагружении малоуглеродистых сталей по изменению рельефа поверхности.....	3
Ильчук И.А. Автоматизация процесса бесперебойного смазывания элементов машиностроительного оборудования .....	5
Дубинин В.Н., Сенокосов И.В., Климкина Л.П., Вяткин В.В. Использование моделей магазинных автоматов в проектировании технологических процессов сортировки и сборки изделий .....	10
Данилов А.Д., Ломакин В.А. Интеллектуализация процесса принятия решений при кластеризации гибкого автоматизированного производства .....	15
Бородкина Н.Н., Бородкин Н.Н. Литые композиционные материалы на основе магнезиального вяжущего для укрепления горных пород .....	20
Шипилов А.А., Михайлин П.О. Применение 3D принтеров для автоматизации производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении .....	22
Салин Д., Гадельшин А. Разработка автоматизированной системы сварки металлических труб .....	26
Михайлин П.О., Миловзоров О.В. Автоматизация общих технологических процессов в системе T-FLEX Технология для обработки деталей на токарно-обрабатывающих центрах .....	29
Кудряшов А., Корочкин Е. Модернизация ковочного молота Мб-412 путём применения линейного электродвигателя для привода ударной части .....	32
Габдуллин М.Т., Исмаилов Д.В., Батрышев Д.Г., Ли С.Л., Канат Р. Устройство для тестирования антифрикционных материалов на трение и износ .....	36
Лашенов Д.П., Бурковский В.Л. Имитационное моделирование технологических объектов интегрированных производственных систем .....	38
Алюшина В.С. Макетирование системы голосового управления промышленным роботом .....	42
Захватов В.И. Применение символьных вычислений при проектировании автоматических систем .....	45
Митрохин А.А., Гусев К.Ю., Бурковский В.Л. Управление потенциально опасным процессом вулканизации производства автомобильных шин .....	50
Григоренко А.А., Ломов П.Ю. Реализация разработки технологического процесса с необходимым обеспечением для изготовления детали элерон .....	52
Ломов П.Ю., Григоренко А.А. Реализация разработки технологического процесса с необходимым обеспечением для изготовления детали основание .....	55
Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Концептуальное проектирование операций фрезерования с применением коррекции на радиус для торцевых фрез .....	58
СЕКЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ» .....	63
Гришина А.А., Резников А.В., Дёмочкина Я.В., Лызлова М.В. Исследование структурных особенностей индустриальных масел методом ИК-спектроскопии .....	63
Коваленко В.В., Кулавина Н.Ю., Шашкина Г.А., Булекова К.А., Рыжов Н.М. Расчет материального баланса химико-технологической системы с использованием программы SMATH STUDIO .....	67
Жижнов Д.А., Матвей В.И., Лызлова М.В., Коваленко В.В. Методика расчета поверхности теплообмена в программе SMATH STUDIO .....	70
Земских А.С. Эффективное перераспределение материальных потоков цеха газокаталитического производства .....	74
Иванова Е.Р., Синельникова В.А., Ширяев А.А. Ионные жидкости в качестве каталитических сред .....	78



Татарникова А.С., Ерошина М.И., Шуварикова Т.П. Способы улучшения качества дизельного топлива с помощью присадок .....	81
Пушкина Ю.С., Шуварикова Т.П., Коваленко В.В. Зависимость вязкости мазута от качества и условий вовлечения компонентов, применяемых в производстве товарного мазута топочного .....	86
Михов В.Д., Зайцев Е.А. Идентификация неизвестного вещества .....	89
Ярославцева А.И., Барнаковский Н.А., Шуварикова Т.П. Возможности применения хроматографии в контроле качества пищевой промышленности .....	91
Кормилицына А.А., Коваленко Вик. В. Разработка виртуального анализатора сернистых солей в очищенной нефти .....	95
Боева Т. Имитированная дистилляция бензиновых фракций .....	98
<b>СЕКЦИЯ «АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b>	
<b>ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ» .....</b>	<b>103</b>
Калачев А.В., Дурин А.В., Сенокосов И.В. Использование метода Model Checking для верификации на примере аналого-цифровых фильтров .....	103
Фёдоров Д.С., Коваленко В.В. Реализация процессного подхода на базе BPM систем для страховых агентств .....	105
Цветков И.А. Существование бентовых функций выбора, для которых не выполняются условия Чернова .....	110
Мартышкин А.И. Математическое моделирование процесса решения параллельной задачи на симметричной многопроцессорной вычислительной системе .....	115
Данилов А.Д., Мугатина В.М. Применение аппарата искусственных нейронных сетей в процессе автоматизации тестирования программного обеспечения .....	118
Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г., Бабуриh А.Н. Автоматизация процессов социологического исследования с использованием методов и программных средств интеллектуального анализа данных .....	122
Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г. Формирование навыков командной разработки программного обеспечения у студентов направления «Программная инженерия» .....	127
Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г., Егорова И.Г. Моделирование и программная поддержка распределения студентов по руководителям выпускных квалификационных работ в условиях крупной выпускающей кафедры .....	132
Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Совершенствование механизма визуализации нечетких когнитивных моделей в системе поддержки принятия решений «Игла» .....	138
Клюева И.А. Исследование применимости smote-алгоритма при классификации несбалансированных данных .....	143
Тонких Д.В., Данилов А.Д. Архитектура программного комплекса системы принятия решений при управлении транспортными процессами промышленного холдинга .....	146
Конев В.А., Конева М.С. Разработка алгоритмов кластеризации точек продаж при решении задачи ассортиментного планирования .....	150
Литвиненко А., Сметанин К. Генерация тестовых данных для тестирования программных продуктов на основе генетического алгоритма .....	154
Миносян В.А., Коваленко В.В. Подсистема управления кабинетом диспансеризации поликлиники .....	158
<b>СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....</b>	
<b>162</b>	
Евграфов Д.М., Колесенков А.Н. Нейросетевые технологии обработки космических снимков в решении задач экологического мониторинга .....	162
Колпаков А.Е., Колесенков А.Н. Киберфизические системы в задачах мониторинга чрезвычайных ситуаций .....	165
Байсеркенов М.Н. Исследование космических технологий с помощью образовательных наноспутников .....	168

Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Спектральный анализ аэрокосмических изображений в системах мониторинга недропользования .....	172
Акинина Н.В., Акинин М.В., Таганов А.И. Применение автоэнкодера в задачах распознавания образов на спутниковых снимках .....	175
Ушенкин В. Повышение точности опорной информации о высотах объектов земной поверхности на основе комплексирования цифровых моделей рельефа .....	179
Александриков А. Методы и средства обработки космической информации для мониторинга водных объектов .....	184
Сергушкин В.В. Обзор подходов в проектировании программного обеспечения для встраиваемых систем на примере аппаратуры передачи данных .....	187
Маркин Е.И., Рябова К.М., Воронцов А.А. Использование в мобильных системах реактивного программирования при работе с GPS .....	191
СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ» .....	195
Костюк И.А., Харламова В.В., Колесенков Н.А. Защита персональных данных в сети Интернет .....	195
Акилин А.А., Шкапова А.В., Колесенков Н.А. Комплексный подход к обеспечению защиты информации .....	198
Михайлов А. Аспекты применения средств визуализации при моделировании игровых ситуаций .....	201
Кузьмин Ю.М., Шкапова А.В. Гарантированное уничтожение и затирание информации программными средствами .....	207
Савин И. Уязвимости и защита веб-приложений .....	210
Пржегорлинский В.Н., Овчинникова А.С., Калинин Т.И. Подходы к созданию современных шифров на основе эллиптических кривых .....	214
Фомина К.Ю., Сухих Е.В. Скрытие конфиденциальной информации с использованием методов стеганографии .....	218
Маркин А.В. Презентация учебника «Программирование на SQL» .....	221
Сёмин М.А., Колесенков Н.А. Особенности фиксации электромагнитных излучений анализатором спектра MS2721B .....	225
Назарова О.А., Жбанов Н.С. Двухфакторная аутентификация - основа надежного управления доступом к ресурсам в интернете .....	228
Пржегорлинский В.Н., Шмакова А.И. Клавиатурный почерк как способ аутентификации пользователей в компьютерных системах .....	231
СЕКЦИЯ «МИКРОВОЛНОВАЯ, ОПТИЧЕСКАЯ И КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА» .....	235
Дармаев А.Н., Кравченко М.А., Муравьев Э.К., Саблин В.М. Измерения и расчет температурных полей и упругих деформаций узлов электронно-оптической системы..	235
Дармаев А.Н., Комаров Д.А., Морев С.П., Муравьев Э.К., Бессонов Д.А., Соколова Т.Н., Сурменко Е.Л., Шалаев П.Д., Шестеркин В.И. Электронно-оптические системы на основе автоэмиссионных ячеек с большим аспектным отношением вертикально расположенных эмиттеров из стеклоуглерода .....	238
Серебрякова А.С., Козлов А.И., Масленников С.П., Масленникова И.С. Полупроводниковые ключи для выходных каскадов сеточных модуляторов мощных СВЧ приборов .....	242
Дармаев А.Н., Комаров Д.А., Кравченко М.А., Мельничук Г.В., Морев С.П., Муравьев Э.К., Саблин В.М. О возможности использования реверсной фокусировки магнитным полем в клистроне с изменяемой энергией электронного потока .....	246
Зимин В.С., Мишин В.Ю., Морозов Д.А. Особенности функционирования вибрационной частотной подставки в триаде лазерных гироскопов .....	249
Кижаев О.В., Мишин В.Ю., Морозов Д.А. Система стабилизации периметра резонатора кольцевого лазера .....	253

Сурков С.В. Рабочая камера циклического СВЧ дефростера .....	257
Дао Н.Х., Климаков В.В. Механизмы неустойчивости «сдвига нуля» лазерного гироскопа .....	262
Воробьев М.Д., Кумов Я.С., Юдаев Д.Н. Создание образа поверхности с эмиссионными дефектами на основе измерения низкочастотных шумов отбираемого тока .....	266
Носков А.И. Индикаторные гиросtabilизаторы .....	270
Веснов И.Г. Функция распределения электронов по энергиям в активной среде отпаянных волноводных СО <sub>2</sub> лазеров с ВЧ возбуждением .....	274
Серебряков А.Е., Чиркин М.В., Молчанов А.В., Воробьев Ю.В. Анализ нанорельефа поверхности стеклокерамических подложек для прецизионных оптических элементов .....	278

# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**

**Научное издание**

**В 8 томах**

**Том 1**

Редактор О.В. Миловзоров

Подписано в печать 15.06.17. Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. 18

Тираж 100 экз. Заказ № 3334.

Рязанский государственный радиотехнический университет  
Редакционно-издательский центр РГРТУ