

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2021

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

Сборник трудов

Том 6

Рязань
Book Jet
2021

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2021 [текст]: сб. тр. IV междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2021; Рязань. –226 с.,: ил.

Сборник включает труды участников IV Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

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

ISBN 978-5-7722-0301-9

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2021
© Издательство «Book Jet»,
макет, 2021

ИНФОРМАЦИЯ О IV МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2021

IV Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021 состоялся 03.03.2021-05.03.2021 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2021 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Системы автоматизированного проектирования;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине.

Стандартизация и управление качеством;

- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Управление персоналом;
- Экономическая безопасность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная

подготовка студентов;

- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., ректор, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Бабаян П.В., проректор по учебной работе и информатизации, к.т.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

Трубицына С.Г., вед. инженер – секретарь оргкомитета;

Благодарова И.А., ведущий программист – секретарь оргкомитета;

члены оргкомитета:

Авилкина С.В., начальник управления по воспитательной работе, к.п.н., доц.;

Алпатов Б.А., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Кириллов С.Н., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., проф.;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Ключко В.К., профессор кафедры автоматизации и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., проф.;

Лукьянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Мусолин А.К., профессор кафедры автоматизации информационных и технологических процессов, д.т.н., проф.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Рохлина Т.А., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Серебряков А.Е., зам. зав. кафедрой электронных приборов, к.т.н.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., декан ф-та автоматизации и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф..

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ.
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»**

**СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ»**

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

**АНАЛИЗ ПРИГОДНОСТИ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ДЕКОМПОЗИЦИЙ
КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВЫСОТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

В.А. Ушенкин, А.В. Соловьев

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе производится анализ наиболее распространенных алгоритмов поляриметрической декомпозиции космических радиолокационных изображений на предмет их применимости для мониторинга лесного покрова поверхности Земли.

Ключевые слова: поляриметрическая декомпозиция, обработка радиолокационных изображений, обнаружение высотной растительности.

**ANALYSIS OF SPACEBORNE SAR IMAGE POLARIMETRIC
DECOMPOSITIONS SUITABILITY FOR COREST COVER DETECTION**

V.A. Ushenkin, A.V. Solovyev

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper analyzes the most common algorithms of spaceborne SAR image polarimetric decomposition for their applicability to monitoring the forest cover of the Earth's surface.

Keywords: polarimetric decomposition, SAR image processing, forest cover detection.

В настоящее время для наблюдения Земли из космоса вместо традиционных оптико-электронных приборов видимого и инфракрасного диапазонов всё чаще применяются радиолокаторы. Это обусловлено рядом преимуществ радиолокационной съемки. С применением мультиполяризационных радиолокационных изображений (РЛИ) можно решать широкий спектр различных задач, одной из которых является мониторинг лесного покрова.

Высотная растительность при отражении от неё радиосигналов изменяет их поляризацию. За счет этого на радиолокационных изображениях ортогональной поляризации (HV или VH) леса выглядят более яркими, чем на изображениях согласованной поляризации (HH или VV). Это позволяет автоматически выявлять леса по мультиполяризационному набору РЛИ.

Анализ мультиполяризационного набора РЛИ традиционно основывается на выполнении той или иной поляриметрической декомпозиции – разложении мультиполяризационного сигнала на несколько составляющих. Обычно таких составляющих три. Первая из них соответствует так называемому двойному отражению (отражению от двух граней уголкового отражателя, в качестве которых могут выступать фасады зданий, заборы, столбы и т.д.). Вторая составляющая соответствует так называемому объемному рассеянию, которое характерно как раз для лесов. Третья составляющая описывает рассеяние от умеренно шероховатой поверхности [1].

Различные декомпозиции по-разному распределяют суммарный сигнал между перечисленными выше составляющими. В связи с этим возникает задача выбора декомпозиции, наиболее подходящей для автоматического выявления лесов на мультиполяризационном на-

боре РЛИ. Эта декомпозиция должна на участках с лесным покровом обеспечивать такое распределение суммарного сигнала между составляющими, при котором наибольшая доля достается объемному рассеянию, а на участках без лесного покрова доля объемного рассеяния должна быть минимальной.

Целью настоящей работы является сравнение известных поляриметрических декомпозиций на предмет пригодности к решению задачи автоматического обнаружения лесов на мультиполяризационном наборе РЛИ и выбор декомпозиции, наиболее подходящей для этой задачи.

Теоретическая часть

Для выполнения декомпозиции мультиполяризационный сигнал каждого пикселя РЛИ представляется в виде одной из следующих поляриметрических матриц: рассеяния, ковариации и когерентности.

Элементами матрицы рассеяния $S(x, y)$ являются комплексные отсчеты сигнала соответствующих поляризаций:

$$S(x, y) = \begin{pmatrix} S_{HH}(x, y) & S_{HV}(x, y) \\ S_{VH}(x, y) & S_{VV}(x, y) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Матрицы ковариации $C(x, y)$ и когерентности $T(x, y)$ строятся не по отсчетам сигнала в отдельном пикселе, а на основе усреднения отсчетов в некоторой окрестности заданного пикселя:

$$C(x, y) = \begin{pmatrix} E(|S_{HH}|^2) & E(\sqrt{2}S_{HH}\overline{S_{HV}}) & E(S_{HH}\overline{S_{VV}}) \\ E(\sqrt{2}S_{HV}\overline{S_{HH}}) & E(|S_{HV}|^2) & E(\sqrt{2}S_{HV}\overline{S_{VV}}) \\ E(S_{VV}\overline{S_{HH}}) & E(\sqrt{2}S_{VV}\overline{S_{HV}}) & E(|S_{VV}|^2) \end{pmatrix}; \quad (2)$$

$$T(x, y) = \begin{pmatrix} E(|\alpha_p|^2) & E(\alpha_p\overline{\beta_p}) & E(\alpha_p\overline{\gamma_p}) \\ E(\beta_p\overline{\alpha_p}) & E(|\beta_p|^2) & E(\beta_p\overline{\gamma_p}) \\ E(\gamma_p\overline{\alpha_p}) & E(\gamma_p\overline{\beta_p}) & E(|\gamma_p|^2) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

где E – операция усреднения;

$\alpha_p, \beta_p, \gamma_p$ – комплексные коэффициенты декомпозиции Паули [1].

Выполнение поляриметрической декомпозиции заключается в нахождении коэффициентов разложения одной из матриц S , C или T на ортогональные составляющие. Как правило, таких коэффициентов три. Поэтому результат декомпозиции обычно представляется в виде трехканального цветного изображения, в каждый канал которого помещаются модули найденных коэффициентов.

Исходя из вышесказанного, на результирующем изображении для участков поверхности, покрытых высотной растительностью, будет характерно преимущество второго канала над остальными.

Декомпозиции Паули и Крогагера применяются к матрице рассеяния. Декомпозиции Фримана-Дурдена, Ямагучи и ван Зейла выполняются на основе матрицы ковариации [2] [3]. На основе матрицы когерентности выполняются 5 видов декомпозиции: Гюйгена, Барнса-Холма двух видов, доминирующий механизм по Клоду-Потье и Н-А-а.

Экспериментальная часть

Для проведения исследования решено взять 10 мультиполяризационных снимков разных участков поверхности Земли со средним количеством пикселей 20 млн.

Далее на каждом изображении выделим участки, покрытые высотной растительностью, опираясь на открытые источники Google Планета Земля. Выделение производится вручную путём визуального анализа. В результате этого действия для изображений, участвующих в эксперименте, получена бинарная маска, на которой чёрным цветом обозначены участки с лесным покровом, а белым – участки без лесного покрова.

Далее алгоритм эксперимента будет рассмотрен на примере снимка города Ванкувер. На нём присутствуют как городские кварталы (в том числе парки и другие насаждения), так и природные леса, а также водные участки.

На рисунке 1 приведено изображение участка поверхности: а) в виде скриншота программы Google Планета Земля; б) участок бинарной маски, созданной с учётом данных в сети Интернет.



Рис. 1. Фрагмент снимка местности по данным Google Планета Земля (а) и бинарная маска на его основе (б)

Подобным образом обработано каждое изображение, участвующее в эксперименте. Следующим шагом выполним на исходном снимке все доступные виды поляриметрической декомпозиции.

Имея бинарную маску и набор результатов декомпозиции, можно выполнить серию сравнений. Сравнение изображений будет произведено попиксельно с вычислением для каждого пикселя суммы яркости по всем имеющимся на изображении каналам (изображение маски одноканальное, результата декомпозиции – трёхканальное). Пусть Ω - множество всех пикселей поляриметрического изображения. Тогда введём следующие обозначения.

Множество пикселей, соответствующих лесному покрову согласно эталонным данным, обозначим как

$$\Omega_M = \{(x, y) : M(x, y) = 0\}, \quad (4)$$

где $M(x, y)$ – код яркости пикселя на бинарной маске.

Множество пикселей, классифицированных как лесной покров по результату декомпозиции обозначим как

$$\Omega_D = \{(x, y) : D_o(x, y) > D_\theta(x, y) \text{ и } D(x, y) > D_n(x, y)\}, \quad (5)$$

где $D_\theta(x, y)$, $D_o(x, y)$, $D_n(x, y)$ - значения коэффициента двойного отражения, объемного рассеяния и рассеяния умеренно шероховатой поверхностью соответственно.

Для декомпозиции Н-А- α множество пикселей, классифицированных как лесной покров по результату декомпозиции, выразим как

$$\Omega_D = \left\{ (x, y) : \frac{\alpha(x, y)}{90} > H(x, y) \text{ и } \frac{\alpha(x, y)}{90} > A(x, y) \right\}, \quad (6)$$

где $H(x, y)$ – значение энтропии для данного пикселя;

$A(x, y)$ – значение анизотропии;

$\alpha(x, y)$ – средний угол.

Из данных множеств получим следующие:

$$\Omega_1 = \Omega_M \cap \Omega_D, \quad (7)$$

$$\Omega_2 = \overline{\Omega_M} \cap \Omega_D. \quad (8)$$

Получим вероятность верного определения лесных участков в процентах:

$$P_1 = \frac{|\Omega_1|}{|\Omega|} * 100\% \quad (9)$$

и вероятность ложного определения участка как леса для поляриметрической декомпозиции в процентах:

$$P_2 = \frac{|\Omega_2|}{|\Omega|} * 100\%. \quad (10)$$

Результаты сравнения поляриметрических декомпозиций представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты сравнения поляриметрических декомпозиций

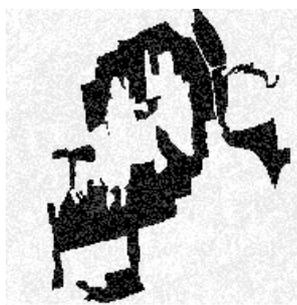
Декомпозиция	$P_1, \%$	$P_2, \%$
Фримана-Дурдена	77.122	27.126
Ямагучи	72.009	26.822
H-A- α	59.499	23.782
Барнса-Холма 2	27.209	6.222
Барнса-Холма 1	26.553	6.179
Паули	16.337	5.951
Крогагера	16.137	8.275
Гюйгена	8.105	4.754
Доминирующий механизм рассеяния по Клоду-Потье	6.180	1.307
ван Зейла	2.736	0.568

Для большей наглядности на рисунке 2 продемонстрируем изображение, соответствующие участки которого выделены следующими цветами:

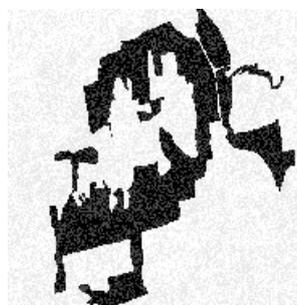
- участки с лесным покровом, определённые верно, – чёрным цветом;
- не определённые участки с лесным покровом – тёмно-серым цветом;
- участки без лесного покрова, ошибочно определённые как лес, – светло-серым цветом;
- участки без лесного покрова, определённые верно, – белым цветом.



а)



б)



в)



г)

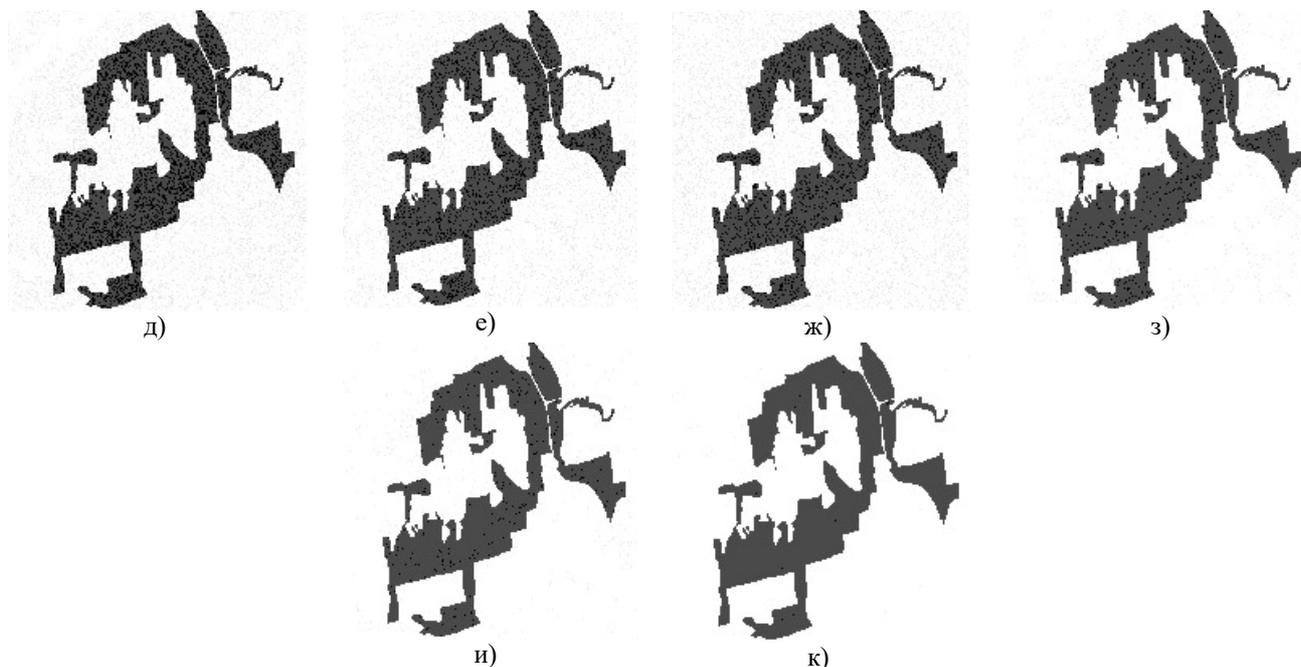


Рис. 2. Результат выявления высотной растительности на основе поляриметрических декомпозиций: а) Фримана-Дурдена; б) Н-А- α ; в) Барнса-Холма 1; г) Барнса-Холма 2; д) Паули; е) Крогагера; ж) доминирующий механизм рассеяния по Клоду-Потье; з) ван Зейла; и) Гюйгена

Из таблицы 1 и рисунка 2 можно сделать вывод, что наиболее пригодными для задачи мониторинга лесного покрова на основе поляриметрических данных являются декомпозиции Фримана-Дурдена, Ямагучи и Н-А- α , так как у них наибольшая вероятность верного обнаружения участка с лесным покровом. Результативность данных декомпозиций превосходит остальные со значительным отрывом. Данные результаты можно считать вполне ожидаемыми.

Декомпозиции Паули и Крогагера обеспечивают низкую вероятность верного определения наличия лесного покрова. Это связано с тем, что в декомпозиции Паули коэффициент объемного рассеяния определяется как матрица рассеяния двугранного уголкового отражателя, расположенного под углом 45° , а в декомпозиции Крогагера за объемное рассеяние принимается матрица рассеяния левой или правой спиралью. Оба эти способа являются слишком примитивными, тогда как рассеяние радиоволн высотной растительностью носит более сложный характер.

Декомпозиция ван Зейла очень похожа на декомпозицию Фримана-Дурдена, однако обладает гораздо меньшей пригодностью для поставленной задачи по причине того, что единственный член, который отличается в указанных декомпозициях, отвечает как раз за объемное рассеяние. В декомпозиции Фримана-Дурдена используется сложная матрица ковариации, описывающая рассеяние облаком случайно ориентированных цилиндров, что близко к реальной структуре ветвей деревьев. А в декомпозиции ван Зейла для вычисления объемного рассеяния используется слишком простая матрица ковариации всего с одним ненулевым элементом.

Декомпозиции Гюйгена и Барнса-Холма применяются к рассеянию от точечных объектов, в то время как лес – площадной объект.

Декомпозиция доминирующего механизма рассеяния по Клоду-Потье также не подходит для задачи мониторинга лесного покрова, так как леса являются сильно деполаризующим объектом, для которого нет четко выраженного доминирующего механизма рассеяния.

Исследования показали, что декомпозиция Н-А- α обеспечивает неплохую вероятность верного обнаружения участка поверхности с высотной растительностью, несмотря на

то, что не вычленяет в явном виде объёмное рассеяние. Это связано с тем, что высокая энтропия является более достоверным признаком наличия высотной растительности, чем коэффициенты объёмного рассеяния в большинстве других декомпозиций.

Более всего для задачи мониторинга лесного покрова подходит декомпозиция Фримана-Дурдена. Это связано с тем, что она разрабатывалась специально для анализа растительности и в ней используется модель объёмного рассеяния, близкая к реальному рассеянию радиолокационного сигнала лесами [2]. Её использование для мониторинга лесного покрова наиболее целесообразно.

Библиографический список

1. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли – Москва: Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2019.
2. Freeman A., Durden S.L. A three-component scattering model for polarimetric SAR data // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 1998.
3. Yamaguchi Y, Yajima Y, Yamada H. A four-component decomposition of POLSAR images based on coherency matrix // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2006.

УДК 004.043; ГРНТИ 20.53.19

ОБЗОР ОБЪЕКТОВ ГРАФИЧЕСКОГО ЯЗЫКА IDEF5

Н.В. Куликов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ht_holod@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются основные объекты графического языка методологии IDEF5, используемые для описания онтологий. Приводится формат их изображения, а также их описание, разъяснения того, в каких случаях используется тот или иной объект.

Ключевые слова: онтология, IDEF5, графы, семантическая сеть, база знаний.

OVERVIEW OF OBJECTS OF THE GRAPHICAL LANGUAGE IDEF5

N.V. Kulikov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ht_holod@mail.ru*

The summary. The paper discusses the main objects of the graphical language of the IDEF5 methodology used to describe ontologies. The format of their image is given, as well as their description, an explanation of in what cases this or that object is used.

Keywords: ontology, IDEF5, graphs, semantic network, knowledge base.

IDEF5 (Integrated Definition for Ontology Description Capture Method) - это метод программной инженерии для разработки и поддержки онтологий. Этот стандарт является частью семейства языков моделирования IDEF в области разработки программного обеспечения [1].

Создание онтологии можно рассматривать с двух точек зрения:

- с точки зрения разработчика онтологии или, проще говоря, человека (инженер знаний, эксперт в предметной области, проектировщик и т.д.);
- с точки зрения машины, компьютера.

В методологии IDEF5 используются два языка.

- графический язык IDEF5. Этот язык является визуальным и использует для описания онтологии графические элементы.

- текстовый язык IDEF5. Этот язык описывает онтологии в виде структурированного текста.

Объекты текстового языка IDEF5 кратко описаны в [2]. В данной статье более подробно будут рассмотрены некоторые из них. Многие объекты из текстового языка

отсутствуют в графическом представлении, но, тем не менее, их можно представить средствами графического языка.

Онтология разрабатывается исключительно для компьютера, поскольку человек использует другие приемы для анализа и восприятия предметной области. Однако тут возникает парадокс: человек, особенно непрофессионал в области компьютерных технологий, плохо понимает машинный язык и в связи с этим не может составлять на нем онтологии для компьютера.

IDEF5 же выступает здесь в роли посредника между человеком и компьютером. При этом графический язык необходим для непрофессионалов в области компьютерных технологий (экспертов предметных областей), а текстовый нацелен на использование программистами и инженерами.

Графический язык и его элементы, богатые выразительной силой, важны для онтологии, поскольку ранее полученные знания часто используются для приобретения новых знаний. . Особенно важен такой способ выражения онтологии для людей, далеких от информатики, программирования, построения баз знаний и семантических сетей, поскольку онтологии могут разрабатываться как специализированным аналитиками, так и экспертами по конкретным предметным областям.

Онтология в графическом языке IDEF5 представляет собой граф, узлами которого являются объекты предметной области (виды, классы, процессы и т.д.), связанные отношениями. В данной работе будут рассмотрены основные объекты, используемые для описания онтологии в графическом языке IDEF5 в отрыве от отношений и друг друга, т.е. только узлы графа.

Объектами графического языка IDEF5 являются:

- виды;
- экземпляры вида;
- процессы;
- ссылки;
- логические операторы.

До сих пор, обзор основных объектов онтологии IDEF5 осуществлялся во многих других работах, например, в [3] наряду с другими языками разработки онтологии. Однако в данном случае осуществляется лишь беглое рассмотрение основных объектов языка без иллюстрации графического отображения объектов и особого погружения в тематику.

В другом примере [4] объекты языка проиллюстрированы, однако рассматривается немного другой аспект — использование онтологий для проектирования систем. Объектам же онтологии внимание не уделяется.

Именно поэтому целью данной статьи является подробное рассмотрение объектов онтологии IDEF5, иллюстрация примеров изображения этих объектов, описание правил их использования, а также приведение примеров.

Виды

Вид - абстрактная сущность, обозначающая совокупность объектов реального мира со схожими свойствами и поведением.

Вид в методологии IDEF5 представлен кругом, содержащим метку. Метка содержит полное или сокращенное название вида. . Вид в методологии IDEF5 представлен кругом, содержащим метку. Метка содержит полное или сокращенное название вида. Виды могут существовать отдельно друг от друга и не связываться отношениями [5]. Отдельные виды изображаются так, как показано на рисунке 1.



Рис. 1. Пример изображения объекта «вид» в графическом языке IDEF5

Данный пример означает, что в рассматриваемой предметной области существует такой отдельный вид как свеча зажигания. Данное утверждение не подчеркивает их количество, а лишь утверждает, что такое понятие есть в рассматриваемой предметной области.

По сути, любой вид может быть представлен в любой предметной области. Вопрос стоит в другом - является ли он важной частью рассматриваемой предметной области. Теоретически любой сотрудник офиса продаж автомобилей может принести на рабочее место любую вещь, например, ноутбук. Данный объект будет добавлен в онтологию только в том случае, если этот ноутбук влияет на деятельность фирмы, описанием которой занимается онтология (продажа автомобилей). Если же сотрудник принес свой личный ноутбук, никак не относящийся к деятельности фирмы, то данный объект включен в онтологию не будет.

В этом и заключается основное правило создания онтологии и описания предметной области - необходимо подчеркивать только те сущности, которые важны для данной области, то есть активно в ней используются.

Экземпляры вида

Экземпляры видов - это конкретные объекты реального мира.

Экземпляр обозначается кругом, который включает в себя круг поменьше черного цвета и метку. Метка должна быть уникальной в пределах онтологии. Пример конкретного экземпляра представлен на рисунке 2 (конкретная модель или маркировка свечи зажигания).



Рис. 2. Пример изображения объекта «экземпляр вида» в графическом языке IDEF5

Что будет являться экземпляром в выбранной предметной области также зависит от специфики этой самой области. Если разработчика интересуют конкретные свечи зажигания (онтология магазина автозапчастей к примеру), то экземплярами будут являться конкретные свечи (объекты в пространстве), поскольку в данном случае людей, работающих с онтологией, будут интересовать остатки на складе, т.е. количество свечей.

Если же разработчика интересуют виды свечей (онтология автосервиса), когда важно знать, какой вид свечи необходимо установить на тот или иной транспорт, то в качестве экземпляров будут выступать не сами свечи, а их маркировка. В примере на рисунке 2 рассмотрен именно этот случай.

Процессы

Процесс - это реальное событие, происходящее в рамках рассматриваемой предметной области, с участием одного или нескольких объектов, в течение некоторого промежутка времени (иногда, мгновенно). Как правило, в рамках процесса происходит какое-либо изменение в свойствах одного или нескольких объектов [5].

Процессы используются в схемах перехода одного объекта в другой, либо в схемах перехода объекта из одного состояния в другое.

Изображаются процессы в виде прямоугольника с рамкой как у чертежей внизу (рис. 3). Наименование процесса в виде метки указывается внутри прямоугольника.



Рис. 3. Пример изображения процесса в графическом языке IDEF5

Ссылки

Ссылки представляют собой “свернутые” в один объект схемы, то есть другими словами этот объект представляет собой ссылку на другую схему. Ссылки используются в нескольких случаях:

- когда необходимо сослаться в одной схеме на другую, продемонстрировать взаимосвязь одной схемы с другой схемой или с частью другой схемы (объектом, отношением и т.д.);
- когда в выбранном контексте нет необходимости в подробном описании чего-либо, но подробное описание структуры объекта есть в онтологии и это необходимо указать.

Ссылки обозначаются двойной окружностью с указанием типа схемы в нижней части:

- без обозначения - комбинированная схема;
- К - схема композиции;
- П - схема перехода;
- Ф - функциональная схема.

На рисунке 4 представлен пример ссылки на схему перехода.



Рис. 4. Пример изображения ссылки на схему перехода в графическом языке IDEF5

Логические операторы

С помощью логических операторов можно организовывать составные схемы, таким образом получая отношения между тремя и более объектами. Зачастую используются три основных логических оператора: логическое И, логическое ИЛИ и исключающее ИЛИ.

Логическое И. Оператор изображается в виде окружности с меткой “AND” (рис. 5) или знаком “&”.

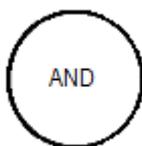


Рис. 5. Пример изображения оператора “логическое И” в графическом языке IDEF5

Оператор “логическое И” (AND) позволяет объединять два объекта в какую либо одну сущность в результате некого процесса. Также данный оператор используется для указания того, из каких компонентов состоит какой-либо объект. Иногда используется в иерархиях классов.

Логическое ИЛИ. Оператор изображается в виде окружности с меткой “OR” (рис. 6).

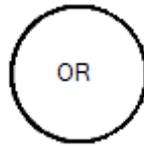


Рис. 6. Пример изображения оператора “логическое ИЛИ” в графическом языке IDEF5

Оператор “логическое ИЛИ” (OR) позволяет указать некую альтернативу в каком-либо процессе или составе более крупного объекта.

Исключающее ИЛИ. Оператор изображается в виде окружности с меткой “XOR” (рис. 7).

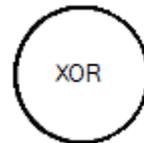


Рис. 7. Оператор “исключающее ИЛИ”

Оператор “исключающее ИЛИ” (XOR) используется тогда, когда необходимо указать, что в некий объект получается только в результате одного из процессов, но никак не в результате обоих процессов. Также данный оператор может использоваться в схемах классификации для указания только одного предка из двух возможных.

В самом начале было отмечено, что онтологию можно рассматривать с двух точек зрения. Логические операторы - это один из тех случаев, когда отмечается различие между двумя точками зрения: для компьютера логические операторы прозрачны. Для машины логические операторы это не объекты, а правила, по которым работает логика онтологии. Однако в человеческом графическом языке их выделяют на уровне объектов онтологии.

Заключение

В большинстве источников, посвященных онтологиям и конкретно методологии IDEF5 указывается, что графический язык не обладает достаточной выразительной силой по сравнению с текстовым языком. Однако при грамотном применении, он может стать достаточно мощным инструментом для описания структуры объектов предметной области и работающих в ней механизмов взаимодействия этих объектов.

Также в статьях, посвященных методологии IDEF5, практически никогда не рассматриваются и не иллюстрируются объекты данной методологии. Очень часто такой объект, как «ссылка на другую схему» вообще не указывается в перечне объектов. В данной статье были подробно рассмотрены все объекты графического языка IDEF5, приведены примеры их изображения, описаны правила их использования. Также произведен анализ основных различий между графическим и текстовым языками IDEF5.

Библиографический список

1. IDEF5 // Википедия URL: <https://ru.qaz.wiki/wiki/IDEF5> (дата обращения 24.01.2021).
2. Куликов Н.В. Текстовый язык разработки онтологии на основе методологии IDEF5 // Новые информационные технологии в научных исследованиях. материалы XXV Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2020. С. 289-291.
3. Каунг Мьят Хту Анализ онтологических языков (о языках CycL, Dogma, Gellish, IDEF5, KIF, RIF и OWL) // Инновации и инвестиции. 2017. №12.
4. Горюнова В. В. Декларативное моделирование и анализ концептуальных спецификаций эксплуатационно-технологических процессов в машиностроении // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. 2009. №2. .
3. IDEF5 Method Report. - Texas: Knowledge Based Systems, Inc., 1994.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Н.В. Макарова, А.И. Таганов, М.И. Цыцына

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы применения современных моделей и методов для оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем на этапе их проектирования.

Ключевые слова: программные средства, метрики качества, показатели функциональной надежности, модели анализа надежности.

EVALUATING QUALITY AND FUNCTIONAL RELIABILITY SOFTWARE TOOLS FOR INFORMATION SYSTEMS

N.V. Makarova, A.I. Taganov, M.I. Tsitsina

*Ryazan state radio engineering University named After V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, alxtag@yandex.ru*

Annotation. The paper deals with the application of modern models and methods for evaluating the quality and functional reliability of information systems software at the stage of their design.

Keywords: software tools, quality metrics, functional reliability indicators, reliability analysis models.

В современных условиях рынка вопросам обеспечения качества и функциональной надежности корпоративных информационных систем (ИС) придается все большее значение по причине высокой конкуренции. При этом качество программных средств (ПС) информационных систем формируется по всем стадиям его создания на основе использования современных информационных технологий, инженерных методов, средств автоматизации и соблюдения необходимых рекомендаций и требований международных, государственных и корпоративных стандартов [1-5]. Современные инженерные методы создания программного обеспечения ИС ориентированы на повышение качества ПО, для достижения которых к настоящему времени сформировались эффективные методы определения требований к качеству, подходы к выбору и усовершенствованию моделей метрического анализа показателей качества, методы количественного измерения показателей качества на этапах жизненного цикла. Однако исследования вопросов обеспечения функциональной надежности программных средств в составе вопросов обеспечения качества информационных систем еще полностью не завершены и в этом направлении специалисты активно работают.

Подход к расчету надежности функциональных структур

В работе рассматривается подход к построению формализованного подхода, нацеленного на решение задачи формализации и автоматизации процесса оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем по стадиям их жизненного цикла. При этом под качеством ПО понимается совокупность свойств, определяющих полезность программы для пользователей в соответствии с функциональным назначением и предъявленными требованиями. В дополнение к изветному понятию качества под функциональной надежностью ПО понимается совокупность свойств, которые определяют способность программного обеспечения с приемлемым уровнем безошибочности правильно преобразовывать исходные данные в результаты при данных условиях, сохраняя выходные результаты в допустимых пределах.

Практика показала, что система показателей качества и функциональной надежности ПО информационных систем должна отвечать ряду требований [1, 6]:

1. Каждый показатель качества и функциональной надежности должен быть измерим.
2. Каждый показатель качества и функциональной надежности должен допускать возможность экспериментальной проверки.
3. Вся система выбранных показателей качества и функциональной надежности должна отражать дискретность случайных процессов.
4. Показатели функциональной надежности должны быть привязаны к единой количественной мере.
5. Система показателей качества и функциональной надежности должна обладать свойством гибкости для обеспечения свертывания модулей расчета по уровням иерархии системы.
6. Система показателей качества и функциональной надежности должна содержать как единичные, так и комплексные показатели и др.

В дополнение к указанным требованиям к построению системы показателей качества и функциональной надежности ПО следует также отметить ряд принципов, которыми надо руководствоваться при формировании необходимой для программной инженерии системы показателей качества и функциональной надежности [1-6]. К этим принципам можно отнести:

1. Принцип соответствия структуры алгоритма расчета структуре алгоритма функционирования исследуемой ИС при выполнении каждой функции.
2. Принцип выделения в алгоритме расчета иерархических уровней, объединенных в иерархическую структуру.
3. Принцип совмещения пространства состояний и пространства событий исследуемого процесса.
4. Принцип разделения структур ИС на иерархически упорядоченные множества функциональных структур и частей. Здесь функциональная часть (ФЧ) представляет материальный объект определенного функционального назначения, а функциональная структура (ФС) представляет материальное воплощение определенного информационного процесса путем формирования совокупности множеств ФЧ, объединенных согласно алгоритму данного процесса.

На основе указанных требований и принципов можно утверждать, что представленная в международных стандартах в области качества [3-5] многоуровневая модель качества может являться информационной основой для разработки необходимых средств автоматизации с целью обеспечения эффективной поддержки процесса оценивания качества и функциональной надежности по стадиям жизненного цикла разрабатываемого программного обеспечения информационных систем. В многоуровневой модели качества на первом уровне полагаются такие характеристики качества ПО как: функциональные возможности, функциональная надежность, удобство применения, эффективность, сопровождаемость, преноси-

мость. Второму уровню соответствуют атрибуты для каждой характеристики качества, которые детализируют разные аспекты каждой характеристики. Третий уровень модели предназначен для измерения качества с помощью метрик, каждая из которых определяется как комбинация между измерением атрибута и шкалы измерения значений атрибутов. Четвертый уровень модели качества ПО содержит оценочные элементы метрик, которые используются для оценки количественного или качественного значения каждого отдельного атрибута качества программного обеспечения.

При этом, при формализации задачи расчета надежности, модель функциональной надежности информационных систем является предметом проводимых здесь исследований. Согласно определению, приведенному в официальных документах, функциональная надежность представляет собой совокупность свойств, которые определяют способность ПО с заданным уровнем безошибочности правильно преобразовывать исходные данные в необходимые результаты. К атрибутам функциональной надежности ПО относятся: безошибочность, правильность, защищенность, контролируемость, устойчивость к ошибкам, безотказность, пригодность к восстановлению и готовность.

Для формализации процесса оценивания функциональной надежности ПО целесообразно все множество известных моделей разделить на группы по их назначению и способу построения [1, 6, 7]. По назначению все модели надежности ПО можно подразделить на прогнозирующие, оценочные и измерительные. Прогнозирующие модели надежности, основывающиеся на определении технических характеристик создаваемой программы и по способу построения, обычно являются эмпирическими. Оценочные модели надежности основываются на серии тестовых прогонов и проводятся на этапах тестирования ПО. Измерительные модели надежности предназначены для измерения надежности ПО в процессе его сопровождения в составе информационной системы. Эти модели основываются на статистических данных, полученных в результате множества прогонов программы.

Выше изложенные принципы, требования и рассмотренные в литературе особенности решения задач расчета безошибочности работы ФС, основанные на известных подходах [1, 6-8], принятых в задачах оценки сложности алгоритмов и расчета времени их реализации на вычислительных средствах, позволяют построить необходимый алгоритм расчета надежности функциональных структур.

Алгоритм расчета надежности функциональных структур

Предлагаемый здесь алгоритм расчета надежности ФС основывается на том, что оцениваемые функциональные структуры, независимо от конкретного содержания входящих в них операций, имеют общие алгоритмические свойства. Каждая ФС имеет начало и конец, причем переход из начального состояния в конечное состояние вычислительного процесса осуществляется за конечное число шагов. При этом модели вычислительных процессов могут описываться взвешенными графами, в которых характеристики переходов могут задаваться на основе статистических данных или экспертным способом [6-8].

Для представления модели ФС введем в рассмотрение конечный ориентированный граф $G(X, \Gamma)$ с взвешенными дугами, отождествляемый с поглощающим случайным вычислительным процессом, к которому сводится модель процесса. Специфика объекта моделирования позволяет определить основные свойства взвешенного графа процесса следующим образом:

- вершины графа (X – множество вершин) соответствуют событиям, отождествляемым с началом и окончаниями выполнения операций, входящих в процесс;
- дуги графа (Γ – множество дуг) отождествляются с выполняемыми операциями процесса;

- веса дуг соответствуют характеристикам функциональной надежности вычислительного процесса;
- веса дуг предполагаются независимыми;
- вершины графа имеют выход типа "исключающие ИЛИ";
- множество вершин X представляется в виде $X = x_0 \cup \pi \cup A$,

где x_0 – входная вершина, соответствующая принятию решения о начале выполнения процесса (если граф имеет несколько входных вершин, то вершина x_0 является фиктивной);

A – множество поглощающих (выходных) вершин, каждая из которых характеризует завершение процесса с различными исходами;

π – множество промежуточных (переходных) вершин, которые находятся между входной и поглощающими вершинами;

- граф $G(X, \Gamma)$ может иметь петли и замкнутые контуры, соответствующие циклически повторяющимся совокупностям операций.

Задача расчета надежности ФС, моделируемой взвешенным графом $G(X, \Gamma)$, сводится к укрупнению этого графа и анализу надежности, т.е. к преобразованию типа:

$$G(X, \tilde{A}) \rightarrow G(X^*, \tilde{A}^*),$$

где $G(X^*, \tilde{A}^*)$ – укрупненный граф, в котором промежуточные вершины отсутствуют, т.е. $X = x_0 \cup A$, $\pi = \emptyset$, а веса дуг, направленных из вершины x_0 в вершины множества A , представляются в виде функциональных зависимостей от весов дуг исходного графа $G(X, \Gamma)$, что позволяет вычислить значения надежности ФС, связанные с переходами из x_0 в A .

При укрупнении графа $G(X, \Gamma)$ должны применяться специальные правила эквивалентных преобразований для последовательных дуг, параллельных дуг и дуги-петли. В качестве формализованного представления таких правил укрупнения указанного графа могут быть использованы алгоритмические подходы и практико-ориентированные методы и алгоритмы, представленные для задач анализа надежности алгоритмических процессов [7] и функциональной надежности информационных систем [6]. Подобные модели и алгоритмы преобразования графовых моделей рассмотрены также для решения задачи анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости [8-10] и при соответствующей их модификации также могут быть использованы для решения задачи оценивания качества и функциональной надежности программных средств информационных систем. Осюда можно сделать вывод, что построение алгоритма расчета надежности функциональных структур информационных систем является фактически решаемой задачей на основе использования существующего опыта решения подобных задач.

Библиографический список

1. Липаев В.В. Надежность программных средств / Липаев В. В. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
2. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
3. ГОСТ Р ИСО/БЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению.
4. ГОСТ 2895-89. Оценка качества программных средств. Общие положения.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 16326-2002. Программная инженерия. Руководство по применению ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207.
6. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность», 2012. – 216 с.

7. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.

8. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 168 с.

9. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 11. С. 115-118.

10. Таганов А.И. Методы идентификации, анализа и сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости // Информационные технологии. 2011. № 9. С. 22-27.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

СЕГМЕНТАЦИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ СЕПАРАБЕЛЬНОСТИ СЕГМЕНТОВ

С.М. Ларионов, А.А. Макаренко

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается модификация подхода на основе ближайших соседей к сегментации гиперспектральных аэрокосмических данных дистанционного зондирования Земли с использованием двухэтапного разбиения и оптимального выбора числа ближайших соседей.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, гиперспектральные аэрокосмические данные, функция сепарабельности сегментов.

SEGMENTATION OF HYPERSPECTRAL AIR AND SATELLITE DATA OF EARTH REMOTE SENSING BASED ON SEGMENTS SEPARABILITY OPTIMIZATION

S.M. Larionov, A.A. Makarenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper discusses the approach of hyperspectral air and satellite data of Earth remote sensing based on nearest neighbors using two-stage partitioning and optimal choice of the number of nearest neighbors.

Keywords: Earth remote sensing, hyperspectral air and satellite data, segments separability function.

На сегодняшний день дистанционное зондирование Земли с использованием беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов является одной из наиболее динамично развивающихся областей прикладной науки, позволяющей решать ряд важных проблем в различных секторах экономики. В связи с этим семантическая обработка получаемых снимков поверхности Земли является актуальной задачей.

В последнее время широкое распространение получило такое направление дистанционного мониторинга Земли как гиперспектральная съемка. Гиперспектрометры дают возможность получать подробные данные о свойствах объектов сцены. Гиперспектральные аэрокосмические изображения содержат информацию о спектральных характеристиках (СХ) излучения, отраженного от объектов интереса, которая позволяет повысить точность сегментации снимков.

Большая часть подходов к решению задачи сегментации гиперспектральных данных требуют некоторых предварительных знаний о сегментируемых объектах. Однако такие данные зачастую отсутствуют. Другой группой подходов к сегментации являются так называемые «слепые» методы, одним из перспективных среди них является метод сегментации на

основе ближайших соседей [1, 2, 3]. Согласно этому методу каждый пиксель сегментируемого гиперспектрального изображения рассматривается как объект в многомерном пространстве признаков. В роли признаков выступают зафиксированные гиперспектрометром значения излучения, соответствующие рассматриваемому пикселю. Для каждого пикселя определяются его ближайшие соседи с использованием Евклидовой метрики [1]. Евклидова метрика не учитывает различия в диапазонах изменения значений в спектральных каналах. Для решения этой проблемы предлагается рассчитывать расстояние между точками согласно следующему выражению:

$$d(x, y; i, j) = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C \left(\frac{|A_c(x, y) - A_c(i, j)|}{A_c^{\max} - A_c^{\min}} \right), \quad (1)$$

где $d(x, y; i, j)$ – расстояние между пикселем изображения с пространственными координатами (x, y) и пикселем с координатами (i, j) ;

C – число спектральных каналов изображения A ;

$A_c(x, y)$, $A_c(i, j)$ – значение пикселя с координатами (x, y) и (i, j) изображения A в c -м спектральном канале соответственно;

A_c^{\max} , A_c^{\min} – максимальное и минимальное значение пикселя изображения A в c -м спектральном канале соответственно.

Нормировка $A_c^{\max} - A_c^{\min}$ по максимальной разнице значений сравниваемых пикселей в каждом канале позволяет уменьшить негативные эффекты, связанные с различными диапазонами значений в спектральных каналах. При этом следует исключить из рассмотрения те спектральные каналы, которые соответствуют зонам поглощения водяного пара и других атмосферных составляющих. В противном случае различия значений пикселей в областях поглощения (связанные, например, с ошибками дискретизации) могут вносить изменения в оценку степени близости сравниваемых пикселей.

Рассчитывается плотность каждого пикселя в пространстве признаков, то есть определяется, насколько близко расположен пиксель по отношению к другим пикселям в C -мерном пространстве спектральных каналов. Плотность пикселя (x, y) вычисляется как величина, обратно пропорциональная суммарному расстоянию от этого пикселя до каждого из его ближайших соседей [3]:

$$\Psi(x, y) = \frac{1}{\sum_{(i, j) \in \Theta(x, y)} d(x, y; i, j)}, \quad (2)$$

где $\Psi(x, y)$ – значение плотности пикселя (x, y) в C -мерном пространстве спектральных каналов;

$\Theta(x, y)$ – множество ближайших соседей пикселя (x, y) в C -мерном пространстве спектральных каналов.

Пиксели изображения ранжируются в порядке убывания плотности. Сегментация начинается с наиболее плотных пикселей, так как такие пиксели являются центрами искомых сегментов в многомерном пространстве признаков. В процессе сегментации в случае, если среди ближайших соседей рассматриваемого пикселя отсутствуют уже сегментированные, то анализируемому пикселю присваивается метка нового сегмента. Иначе пикселю присваивается метка сегмента, которой соответствует максимальная суммарная плотность пикселей-соседей.

Такой подход сопряжен с высокими вычислительными затратами. Для их снижения предлагается проводить сегментацию в два этапа. На первом этапе исходное изображение сегментируется с малым значением числа ближайших соседей $N1$. Значение $N1$ задается априорно как процент от числа точек изображения, но не менее некоторого фиксированного значения. На втором этапе вычисляются средние значения спектральных характеристик для каждого первичного сегмента и выполняется сегментация по методу ближайших соседей найденных средних СХ. Пиксели сегментов, полученных в ходе этапа №1, размечаются в соответствии с результатами сегментации массива средних СХ.

Проблема заключается в определении значения числа $N2$ ближайших соседей для сегментации средних СХ. Для выбора $N2$ предлагается использовать следующую функцию сепарабельности сегментов [4]:

$$\Phi_{N2} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S \Omega(s), \quad (3)$$

где $\Omega(s) = \frac{\Delta(s) - \bar{d}(s)}{\max[\Delta(s), \bar{d}(s)]}$;

s – элемент массива средних значений спектральных характеристик для каждого первичного сегмента;

$\Omega(s)$ – значение меры принадлежности s -го элемента тому итоговому сегменту, к которому он был отнесен;

$\bar{d}(s)$ – среднее расстояние от s -го элемента до элементов из того же итогового сегмента;

$\Delta(s)$ – минимальное из средних расстояний от s -го элемента до элементов из другого итогового сегмента;

S – число первичных сегментов.

Сегментация проводится для значений $N2$ из диапазона от 1 до S числа первичных сегментов. Оптимальным считается разбиение, соответствующее максимальному значению функции сепарабельности сегментов. Эта функция характеризует однородность внутри сегмента за счет учета значений $\bar{d}(s)$ и разделимость сегментов друг от друга за счет учета значений $\Delta(s)$.

На сегментируемом изображении могут присутствовать физические классы объектов подстилающей поверхности, занимающие малую часть сцены. Такие классы могут быть отнесены в отдельные сегменты уже на этапе первичной сегментации, поэтому их дальнейшая сегментация не является целесообразной. $N2$ зачастую выбирается таким, что самые малые классы объектов будут отнесены к другим более крупным сегментам, что приведет к потере информации в итоговом разбиении на смысловые области. В целом найденное путем оптимизации функции сходства Φ_{N2} значение числа $N2$ ближайших соседей может оказаться слишком велико для сегментации, что приведет к точному выделению только самых крупных физических классов объектов сцены. Поэтому на втором этапе сегментации используется алгоритм отбора ближайших соседей, основанный на анализе плотности пространства признаков [5]. Необходимо, чтобы ближайшие соседи s -го элемента относились к тому же сегменту, что и сам элемент. Вычисляется плотность ближайших соседей для каждого s -го элемента массива средних СХ с использованием общего для всех элементов значения $N2$, найденного по критерию (3). Находится наименьшее из них $\Psi_{N2}^{\min}(s)$. Каждый из $N2$ ближайших соседей сегментируемого s -го элемента рассматривается как кандидат в его ближайшие соседи. Затем между каждой парой – s -й элемент и кандидат в его ближайшие соседи – интерполируется несколько элементов массива средних значений СХ для первичных сегментов.

(их число может быть задано априорно как процент от числа сегментируемых объектов). Для каждого элемента массива находится плотность ближайших соседей в соответствии с выражением (2). При вычислении плотности (при определении ближайших соседей) учитываются только реальные элементы массива, а не интерполируемые. После чего анализируется полученный набор плотностей. Если в этом наборе будет присутствовать значение меньше $\Psi_{N2}^{\min}(s)$, то соответствующий кандидат считается ошибочно отнесенным к ближайшим соседям и исключается из их числа. Подход основывается на предположении, что если плотность хотя бы одного из интерполированных элементов массива ниже минимального значения $\Psi_{N2}^{\min}(s)$, то это значит, что между сегментируемым элементом и кандидатом в его ближайшие соседи в пространстве признаков находится слишком мало других элементов массива средних СХ. Сегментируемый элемент массива и кандидат в его ближайшие соседи находятся на границе, разделяющей два сегмента, и должны быть отнесены к разным сегментам и не могут считаться ближайшими соседями.

Таким образом, после отбора ближайших соседей каждый s -й элемент будет иметь своё индивидуальное значение числа $N2(s)$ ближайших соседей. В процессе сегментации плотность каждого s -го элемента массива средних СХ нормируется по соответствующему значению числа ближайших соседей и определяется выражением:

$$\Psi(s) = \frac{1}{N2(s) \cdot \sum_{q \in \Theta(s)} d(s; q)}, \quad (4)$$

где $d(s; q)$ – расстояние в пространстве признаков между s -м и q -м элементами массива средних СХ.

При определении метки каждого s -го элемента массива будут учитываться только его $N2(s)$ ближайшие соседи и их плотности, так же вычисляемые по формуле (4).

Для оценки точности сегментации используется мера, определяемая согласно выражению:

$$F = \frac{R}{M}, \quad (5)$$

где R – число пикселей, для которых значение результата сегментации $L(x, y)$ и значение эталона $E(x, y)$ совпадают;

M – число пикселей изображения, имеющих эталонную метку (некоторые пиксели на эталоне могут быть не размечены).

Однако при такой оценке работы алгоритма сегментации ошибка в отнесении пикселей малых классов существенно не влияют на точность. При этом для анализа снимка зачастую именно малые объекты представляют интерес для решения тематических задач дистанционного зондирования Земли.

Поэтому для оценки точности предлагается использовать взвешенную меру:

$$F_w = 100\% \cdot \sum_{t=1}^T \left(\frac{R_t}{M_t} \cdot \frac{M}{M_t} \cdot \frac{1}{U} \right), \quad (6)$$

$$U = \sum_{t=1}^T \frac{M}{M_t}$$

где R_t – число верно сегментированных пикселей для t -го эталонного физического класса;

M_t – общее число пикселей t -го эталонного физического класса;

U – коэффициент нормировки к 100 %;

T – число эталонных физических классов.

Мера (6) оценки качества сегментации дает больший вес пикселям малых физических классов. При сегментации натуральных гиперспектральных изображений полученное число сегментов не соответствует числу физических классов объектов подстилающей поверхности. В связи с чем F_w во многих случаях принимает малые значения. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

Изображение	Взвешенная оценка точности, %
Salinas [6]	23,6 %
Pavia University [6]	21,3 %
Kennedy Space Center [6]	18,8 %
Indian Pines [6]	24,1 %

В результате исследований разработана модификация подхода на основе ближайших соседей к сегментации гиперспектральных аэрокосмических изображений. Достоинствами подхода являются:

- снижение влияния различий в диапазонах изменения значений в различных спектральных каналах;
- снижение вычислительных затрат за счет двухэтапности разбиения и выбора малого значения (например, 0,01% от числа точек изображения, но не менее 10 точек);
- отсутствие настраиваемых параметров за счет оптимизации и задания ряда параметров априорно.

Библиографический список

1. Cariou, C., A new k-nearest neighbor density-based clustering method and its application to hyperspectral images / C. Cariou, K. Chehdi // International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). –2016.
2. Cariou, C. Application of unsupervised nearest neighbor density-based approaches to sequential dimensionality reduction and clustering of hyperspectral images / C. Cariou, K. Chehdi // " Proc. SPIE 10789, Image and Signal Processing for Remote Sensing. – 2018.– October.
3. Ларионов, С. М., Кластеризация гиперспектральных спутниковых снимков земной поверхности на основе метода плотности ближайших соседей // С.М. Ларионов, А.А. Макаренков / Цифровая обработка сигналов. – № 3. – 2020. – с. 15-20.
4. Сивоголовко, Е.В., Методы оценки качества четкой кластеризации // Е.В. Сивоголовко / Компьютерные инструменты в образовании. – № 4. – 2011. – с. 14-31.
5. Halle, P., Towards a Completely Blind Classifier for Hyperspectral Images / P. Halle, S. Le Moan, C. Cariou // International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ). – 2017. – DOI: 10.1109/IVCNZ.2017.8402444.
6. [http://www.ehu.eus/ccwintco/index.php?title=Hyperspectral Remote Sensing Scenes](http://www.ehu.eus/ccwintco/index.php?title=Hyperspectral_Remote_Sensing_Scenes)

УДК 004.932.4; ГРНТИ 89.57.45

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СУБПИКСЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Д.В. Фетисов, А.Н. Колесенков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены методы субпиксельной обработки повышения качества изображений, полученных средствами аэрофотосъемки: одномерного и двумерного сканирования, одномерного и двумерного восстановления, восстановления изображений с произвольным разрешением. Проведены экспериментальные исследования на примере четырех снимков низкого качества, смещенных относительно друг друга в различных направлениях. Временные затраты сведены в единую таблицу для сравнительного анализа. Также были произведены систематизация и анализ результатов, сделаны заключения о каждом алгоритме, его преимуществах и недостатках.

Ключевые слова: снимок, сканирование, восстановление, алгоритм, субпиксельная обработка, качество, исследование.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUB-PIXEL PROCESSING METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF AEROSPACE IMAGES

D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, morzitko@gmail.com, sk62@mail.ru*

Abstract. In the paper the methods of sub-pixel processing to improve the quality of images obtained by tools of aerial photography are considered: one-dimensional and two-dimensional scanning, one-dimensional and two-dimensional restoration, restoration of images with a high resolution. Experimental studies were carried out on the example of four low-quality images shifted relative to each other in different directions. Time costs are summarized in a single table for comparative analysis. The results were also systematized and analyzed, and conclusions were made about each algorithm, its advantages and disadvantages.

Keywords: picture, scanning, restoration, algorithm, sub-pixel processing, quality, research.

1. Введение

В настоящее время нельзя не отметить возрастающий интерес к данным дистанционного зондирования Земли. При изучении этой темы особое внимание уделяется космической съемке. Помимо данных средств получения снимков поверхности, имеются и развиваются технологические средства аэросъемки, которые также занимают большую часть рынка. Поэтому получить доступ к аэрокосмическим снимкам стало легче, а средства вычислительной техники дистанционного зондирования Земли, в свою очередь, все шире применяются в Российской науке. Однако не стоит забывать, что не все снимки поверхности обладают хорошим качеством и требуемой точностью. Чтобы уменьшить эти недостатки, на помощь приходят программные средства, алгоритмы и методы [1, 3].

На сегодняшний день существует огромное количество различных способов повышения качества аэрокосмических снимков, среди которых можно выделить методы субпиксельной обработки. В связи с этим цель данной работы состоит в сравнении ранее разработанных алгоритмов данной группы, а именно одномерного и двумерного сканирования, одномерного и двумерного восстановления, восстановления изображений с произвольным разрешением, а также в систематизации и анализе полученных результатов исследования.

2. Методы повышения качества аэрокосмических снимков

При одномерном субпиксельном сканировании [2] снимки низкого качества, полученные при фотосъемке, смещаются на половину пикселя в одной из плоскостей относительно друг друга: горизонтальной (вправо/влево) или вертикальной (вверх/вниз) [4]. Тогда выход-

ное изображение лучшего качества будет иметь по строкам и столбцам $2n+1$ – пикселей в каждом, где n – количество строк и столбцов в исходном снимке. Основным математическим аппаратом, используемым при формировании результирующего изображения, является метод усреднения. Одномерное субпиксельное сканирование повышения разрешения аэрокосмических снимков является быстрым и не требует дополнительных аппаратных ресурсов, но может уступать качеству снимков, которые были получены с помощью фотоаппаратов такого же разрешения [5].

Метод усреднения также применяется и при двумерном субпиксельном сканировании [6]. Здесь исходные снимки смещаются относительно друг друга в двух направлениях одновременно – горизонтальном и вертикальном на половину пикселя. Два и более изображений низкого разрешения, количество которых кратно двум, используются в качестве исходных данных. Выходное изображение в таком случае будет иметь размер $(2m+1) \times (2n+1)$ пикселей, где m и n – количество строк и столбцов исходного снимка соответственно. Однако учесть, что последние строка и столбец качественно не улучшаются, а первые строка и столбец необходимы только для математических вычислений, то и размер выходного изображения становится равным $2m \times 2n$. Алгоритм двумерного сканирования позволяет значительно улучшить качество выходного изображения по сравнению с алгоритмом одномерного субпиксельного сканирования, однако он также может быть нечетким.

Одномерное восстановление решает задачу получения изображения со сверхразрешением [7]. В данном случае выполняется синтез двух и более изображений низкого качества, которые смещены относительно друг друга на половину пикселя или его треть в одном направлении. Результирующее изображение при такой субпиксельной обработке будет иметь пространственное разрешение, увеличенное вдвое и втрое соответственно. Одномерное сканирование требует немного больше вычислительных ресурсов по сравнению с методами сканирования, что сказывается на времени выполнении программной части. Однако при этом качество изображения становится значительно лучше, что полностью отвечает требованиям сверхразрешения.

При двумерном восстановлении используется тот же подход формирования улучшенного изображения, что и при одномерном восстановлении. Однако в данном случае рекомендуется использовать 4 входных снимка низкого качества, смещенных на половину или треть пикселя друг от друга. Тогда можно получить результирующее изображение с качеством и детализацией, соответствующее снимку, который сделан при аэрофотосъемке с аппарата [8], обладающего таким же разрешением.

Основная идея алгоритма восстановления изображения с произвольным разрешением, который реализует задачу повышения качества снимков поверхности Земли, заключается в синтезе матриц исходных изображений, смещенных на долю пикселя относительно друг друга. Значения выходной матрицы результирующего изображения получаются путем применения целого набора математических операторов к значениям пикселей входных снимков. Данный алгоритм позволяет наглядно визуализировать улучшение исходного изображения. Повышение качества аэрокосмических изображений с произвольным увеличением их разрешения, задаваемого пользователем, является более сложной и трудоемкой задачей по сравнению с выше описанными методами сканирования и восстановления.

3. Экспериментальное исследование алгоритмов субпиксельной обработки

Для проведения экспериментов в качестве исходных данных выбраны четыре цветных снимка одинакового размера, попарно смещенных друг относительно друга следующим образом:

- на половину пикселя влево и вверх для одномерного сканирования;
- на половину пикселя вправо вниз и влево вниз для двумерного сканирования;

- на треть пикселя вправо и вниз для одномерного восстановления;
- на треть пикселя влево вниз и вправо вверх для двумерного восстановления;
- на долю пикселя вправо вверх и влево вверх для восстановления с разрешением 100x120, 62x51, 15x15.

Быстродействие разработанных алгоритмов определялось относительно четырех изображений в сетке размером 128x128 и их последующим масштабированием в 2, 4 и 8 раз, сопровождаемые потерей качества. Результаты экспериментов приведены в таблице ниже.

Таблица. Результаты проведения экспериментов

Размер сетки	128x128 1:1	64x64 1:2	32x32 1:4	16x16 1:8
Одномерное сканирование				
1 набор снимков (влево)	71 мс	54 мс	46 мс	39 мс
2 набор снимков (вверх)	73 мс	51 мс	45 мс	41 мс
Двумерное сканирование				
1 набор снимков (вправо вниз)	91 мс	75 мс	49 мс	47 мс
2 набор снимков (влево вниз)	94 мс	71 мс	50 мс	49 мс
Одномерное восстановление				
1 набор снимков (вправо)	84 мс	67 мс	48 мс	44 мс
2 набор снимков (вниз)	86 мс	67 мс	49 мс	43 мс
Двумерное восстановление				
1 набор снимков (влево вниз)	109 мс	81 мс	50 мс	48 мс
2 набор снимков (вправо вверх)	107 мс	82 мс	52 мс	48 мс
Восстановление с произвольным разрешением				
Разрешение	100x120	62x51	15x15	15x15
1 набор снимков (вправо вверх)	116 мс	87 мс	51 мс	50 мс
2 набор снимков (влево вверх)	124 мс	85 мс	49 мс	53 мс

Согласно полученным экспериментальным данным, все разработанные алгоритмы позволяют повысить качество снимков, полученных в результате аэрокосмической съемки, и изображения, которые были подвержены масштабированию, не уступают качеству исходных снимков. Алгоритмы субпиксельной обработки с уменьшением размера сетки пикселей увеличивают скорость своей работы.

При сравнении временных показателей самым быстрым оказывается одномерное сканирование, самым медленным – восстановление с заданным разрешением, но качество выходного изображения последнего алгоритма значительно превосходит качество выходного изображения первого алгоритма.

Также можно заметить, что время выполнения алгоритма двумерного сканирования и одномерного восстановления близки между собой, что свидетельствует о том, что они могут быть взаимозаменяемы.

Все алгоритмы при сетке размером 16x16 имеют незначительный разброс по времени работы программы. Это значит, что для сеток малых размеров необходимо запустить сторонние ресурсы для работы модуля, которые требуют основных временных затрат по сравнению с алгоритмическими ресурсами.

Восстановление с заданным разрешением немного больше требует временных затрат, чем двумерное восстановление, что обусловлено схожестью математического и алгоритмического аппарата.

Также восстановление с заданным разрешением обладает большим преимуществом, заключающимся в том, что при одинаково заданном разрешении и разных сетках исходных снимков время работы алгоритма практически не отличается.

Выводы

В работе рассмотрены пять алгоритмов субпиксельной обработки повышения качества снимков, полученных с помощью аэрофотосъемки со спутников: одномерного и двумерного сканирования, одномерного и двумерного восстановления, восстановления изображений с произвольным разрешением. Во всех алгоритмах, реализация которых также представлена на языке высокого уровня C# с графическим интерфейсом, удалось повысить качество снимков, но с различными временными затратами. Алгоритмы сканирования имеют простую математическую часть и являются довольно быстрыми, когда алгоритмы восстановления требуют больше вычислительных затрат и имеют более сложную структуру. Большим преимуществом всех алгоритмов является их устойчивость к шумам и помехам, небольшой набор изображений низкого качества для получения качественного снимка.

Изображения, которые получены в результате работы алгоритмов, очень полезны при работе с данными в режиме онлайн, когда необходимо оперативно обнаружить произошедшие изменения с объектом анализа для принятия управленческих решений или дальнейшего исследования.

Рассмотренные алгоритмы субпиксельной обработки повышения качества аэрокосмических снимков также обладают высоким потенциалом для исследования, например, можно применить дополнительные алгоритмы фильтрации, которые позволят еще больше улучшить снимки, или повысить их производительность, задействуя многопоточное распараллеливание на центральном или графическом процессорах.

Библиографический список

1. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2011. No 37. С. 12-17.
2. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Субпиксельная обработка аэрокосмических снимков при дистанционного мониторинге земли // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии» – Самара, 2018г. – С. 220-223.
3. Блажевич С.В., Селютина Е.С. Повышение разрешения цифрового изображения с использованием субпиксельного сканирования // Журнал «Научные ведомости Белгородского государственного университета», серия: Математика. Физика – Белгород, 2014 г. – С. 186 – 190.
4. Fetisov D.V., Kolesenkov A.N., Fetisova T.A., and Strotov V.V. Sub-pixel matching data of environmental remote sensing in the monitoring of natural resources, Proc. SPIE 11534, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications XI, 1153406 (20 September 2020), DOI: 10.1117/12.2571463.
5. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Алгоритм субпиксельной обработки цифровых изображений через одномерное сканирование // Современные технологии в науке и образовании (СТНО-2019), Международный научно-технический форум, Сборник трудов, Том 6. 2019. С. 164-169.
6. D.V. Fetisov, A.N. Kolesenkov, O.A. Bodrov, T.A. Fetisova. Sub-Pixel Processing of the Digital Images of the Remote Sensing of the Earth // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), 2019 - DOI: 10.1109/MECO.2019.8760047.
7. Козлов В.Л., Васильчук А.С. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры // Журнал «Приборы и методы измерений» – Беларусь, 2012 г. – С. 115-120.
8. Фетисов Д.В., Колесенков А.Н., Бабаев С.И., Фетисова Т.А., Скворцова Т.С. Одномерное сканирование как метод субпиксельной обработки данных в задачах мониторинга природных ресурсов // Сборник научных трудов «Известия ТулГУ», выпуск 2, г. Тула, 2019 г., с. 185-187.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ФОРМИРОВАНИЯ ИНДЕКСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

В.А. Еремеев, П.А. Князьков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В статье дан анализ подходов к построению индексных изображений по данным гиперспектральной съемки Земли на основе зарубежных публикаций. Представлена структура программного обеспечения построения индексных изображений по данным российского космического аппарата «Ресурс-П».

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования, гиперспектральная съемка, индексные изображения, вегетационные индексы, водные индексы.

SOFTWARE FOR GENERATION INDEX IMAGES BASED ON HYPERSPECTRAL SENSING OF THE EARTH FROM SPACE

V.A. Ereemeev, P.A. Knyazkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. Analysis of approaches of index images generation based on hyperspectral survey of Earth is presented in the paper. The structure of software for index images generation based on data from Russian satellite “Resurs-P” is presented.

Keywords: remote sensing data, hyperspectral survey, index images, vegetation index, water index.

Гиперспектральные данные дистанционного зондирования Земли содержат детальные сведения о распределении яркости отраженного от объектов излучения в зависимости от длины волны – спектральной характеристики. Эта информация позволяет производить углубленный анализ свойств объектов наблюдаемой сцены, что может быть использовано при решении задач анализа состояния водных и наземных экосистем.

Построение индексных изображений является одним из методов, позволяющих исследовать состояние растительного покрова или водного пространства. Для получения индексного изображения значение яркости каждого пикселя вычисляется путем применения арифметических операций над значениями яркости этого пикселя из разных каналов снимка. Построение индексных изображений применяется для различных целей, таких как: прогнозирование сельскохозяйственного производства, мониторинг засухи и определение пожароопасных зон, оценка качества воды и др.

Обзор вегетационных индексов

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность. Связь физико-химических характеристик растительности с ее спектральными отражательными способностями позволяет использовать данные дистанционного зондирования для изучения и оценки состояния растительности. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов (ВИ). ВИ — это показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования Земли, и характеризующий параметры растительности в данном пикселе снимка. В данной статье рассматриваемые ВИ разделены на две категории в зависимости от используемых при их вычислении исходных данных: широкополосные и узкополосные ВИ.

Широкополосные ВИ

Широкополосные ВИ разработаны для анализа мультиспектральных снимков Земли, в связи с чем оперируют относительно широкими спектральными диапазонами (50-100 нм). Для вычисления большинства из широкополосных индексов используется соотношение коэффициента отражения поверхности Земли в красном и ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне спектра. Это объясняется тем, что на ближнюю инфракрасную полосу, в которой отсутствует поглощение солнечной энергии хлорофиллом, приходится максимум отражения клеточных структур листа, а в красной области спектра хлорофилл наиболее эффективно поглощает солнечное излучение для фотосинтеза (рисунок 1). Именно поэтому соотношение этих двух спектральных диапазонов наиболее информативно для количественной и качественной оценки растительности.

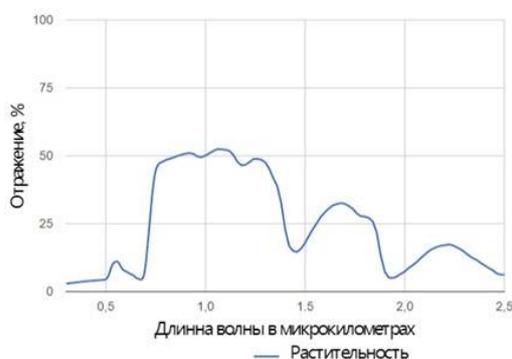


Рис. 1. Спектральная характеристика отражения растительности [1]

Наиболее популярным широкополосным ВИ является нормализованный разностный ВИ (Normalized Difference Vegetation Index) – NDVI [2]

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне, а RED – отражение в красной области спектра. NDVI может принимать значения от -1 до 1. Общий диапазон для растительности составляет от 0.2 до 0.8.

NDVI имеет низкую устойчивость к фоновым влияниям почвы, что может исказить значения индекса в местах с разреженной растительностью.

Скорректированный на почву ВИ SAVI [3] (Soil Adjusted Vegetation Index) учитывает фоновое влияние почвы и вычисляется как

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \cdot (1 + L), \quad (2)$$

где L – поправочный коэффициент, который может принимать значения от 0 до 1, в зависимости от плотности растительного покрова. Недостатком SAVI является то, что для его вычисления необходимо предварительно знать плотность растительности. Этому недостатка лишен модифицированный почвенный индекс MSAVI [4] (Modified Soil Adjusted Vegetation Index), где поправочный коэффициент L вычисляется как

$$L = 1 - \frac{2 \cdot NIR + 1 - \sqrt{(2 \cdot NIR + 1)^2 - 8 \cdot (NIR - RED)}}{2}. \quad (3)$$

Узкополосные ВИ

Вычисление узкополосных ВИ базируется на информации из узких спектральных полос (1 - 10 нм), поэтому они применяются к изображениям с высоким спектральным разрешением, таким как, гиперспектральные изображения. Для вычисления этих вегетационных показателей как правило используется спектральный диапазон красного края. Красным краем называется круто наклоненная область кривой отражения растительности между 0.69 мкм и 0.74 мкм (рисунок 2). Вычисление узкополосных ВИ в спектральной области красного края позволяет им быть более чувствительными к небольшим изменениям в состоянии растительности по сравнению с широкополосными индексами.

Одной из модификаций широкополосного NDVI является ВИ Red Edge NDVI (RENDVI) [5,6]. Этот вегетационный показатель использует полосы красного края вместо пиков поглощения и отражения солнечной энергии, используемых в традиционном NDVI. RENDVI вычисляется как

$$RENDVI = \frac{R750 - R705}{R750 + R705}, \quad (4)$$

где $R750$ и $R705$ – отражения в полосах с длинами волн 750 нм и 705 нм соответственно.

RENDVI так же, как и NDVI, не устойчив к фоновым влияниям почвы. Модифицированный индекс поглощения хлорофилла (MCARI2) [7] минимизирует влияние почвы и других нефотосинтетических поверхностей. MCARI2 вычисляется как

$$MCARI2 = \frac{1,5 \cdot (2,5 \cdot (R800 - R670) - 1,3 \cdot (R800 - R550))}{\sqrt{(2 \cdot R800 + 1)^2 - (6 \cdot R800 - 5 \cdot \sqrt{R670}) - 0,5}}, \quad (5)$$

где $R800$, $R670$, $R550$ – отражения в полосах с длинами волн 800 нм, 670 нм и 550 нм соответственно.

Обзор водных индексов

В жидком состоянии вода имеет относительно низкую отражательную способность. Вода обладает высоким поглощением и практически не отражается в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн и за его пределами (рисунок 2).

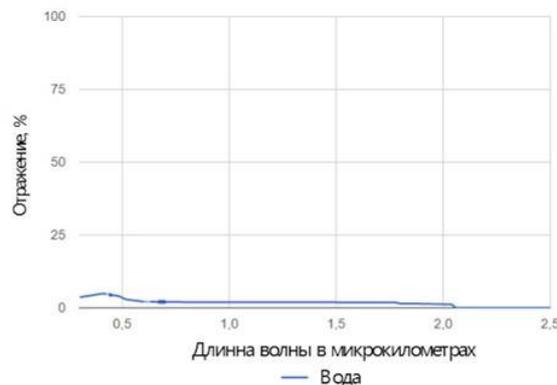


Рис. 2. Спектральная характеристика отражения воды [1]

Чистая вода имеет наибольшую отражательную способность в синей видимой области спектра. Мутная вода имеет большую отражательную способность в видимых областях спектра по сравнению с чистой. Это так же характерно для вод, содержащих высокую концентрацию хлорофилла. В исследовании [8] были разработаны показатели для оценки качества

воды. Водные индексы, рассмотренные в [8], предназначены для расчета по гиперспектральным данным.

Важным показателем качества воды является ее мутность. Мутность – эта мера, характеризующая снижение прозрачности воды из-за присутствия взвешенных частиц. Оценить мутность воды можно с помощью следующего показателя [8]:

$$Turbidity = R675 - R700, \quad (6)$$

где $R675$ и $R700$ – отражение в полосах с длинами волн 675 нм и 700 нм соответственно. Чем выше данный показатель, тем чище вода. Как правило, значения более 0 для водных объектов говорят о нормальной чистой воде.

Наличие хлорофилла в воде говорит о ее загрязнении. Оценить концентрацию хлорофилла в воде можно с помощью следующего соотношения [8]:

$$Chlorophyll_a = \frac{R705}{R675}, \quad (7)$$

где $R705$ и $R675$ – отражения в полосах с длинами волн 705 нм и 675 нм соответственно. Значения более 0.8 для водных объектов говорят о повышенной концентрации хлорофилла.

Важным фактором оценки чистоты воды является наличие в ней фосфора. Фосфор является питательным веществом, важным для роста растений. Оценить наличие фосфора в воде можно с помощью следующего соотношения [8]:

$$T.P. = \log \frac{R554}{R675}, \quad (8)$$

где $R554$ и $R675$ – отражения в полосах с длинами волн 554 нм и 675 нм соответственно. Как правило, значения менее 1 для водных объектов свидетельствуют о высокой концентрации фосфора в воде.

Программное обеспечение

Исходными данными для ПО являются гиперспектральные снимки от российского космического аппарата “Ресурс-П”. Снимок состоит из растрового многоканального файла в формате tiff и файл-паспорта снимка, содержащего длины волн для каждого канала, дату съемки, режим работы КА, а также другую атрибутивную информацию. Распаковка и визуализация гиперспектральных данных из многоканального tiff-файла осуществляется по схеме, представленной на рисунке 3.



Рис. 3. Схема распаковки и визуализации гиперспектрального снимка

В разработанном ПО реализована возможность построения индексных изображений по всем вышеперечисленным спектральным индексам. Построение индексного изображения осуществляется с помощью схемы, представленной на рисунке 4.



Рис. 4. Схема построения индексного изображения

Для визуализации индексного изображения каждому значению индекса необходимо назначить значение цвета. В разработанном ПО назначение цветов осуществляется с помощью палитры. Палитра может быть загружена из файла, либо сгенерирована программой. В ПО предусмотрена возможность визуального создания и редактирования палитры. Визуализация индексного изображения по генерируемой палитре производится по схеме, представленной на рисунке 5.

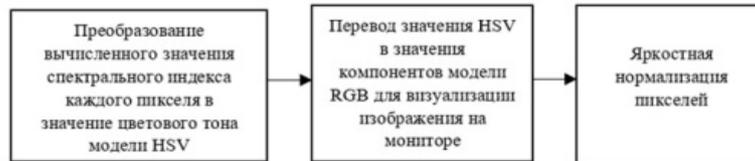


Рис. 5. Алгоритм визуализации индексного изображения

В случае визуализации индексного изображения по загруженной палитре, каждому пикселю назначается цвет, соответствующий определенному значению индекса, заданному в палитре. Помимо визуализации индексного изображения ПО отображает шкалу, на которой указывается в какой цвет окрашивается пиксель при определенном значении индекса.

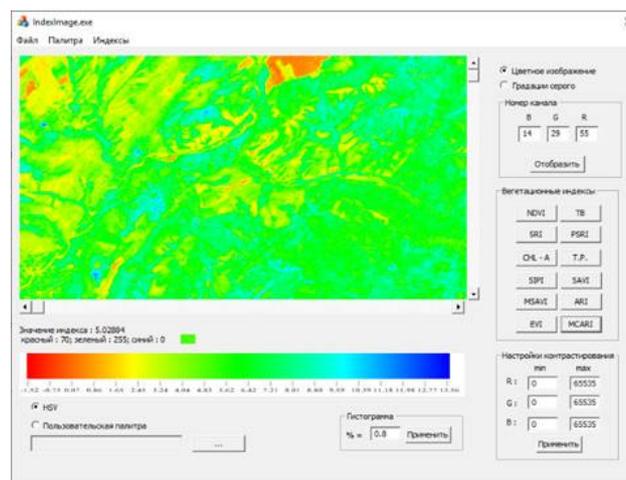


Рис. 6. Главное окно программы

На рисунке 7 изображен исходный гиперспектральный снимок (визуализация 3-х каналов видимого диапазона) и построенное по широкополосному индексу NDVI индексное изображение, а также его палитра.

Результаты обработки

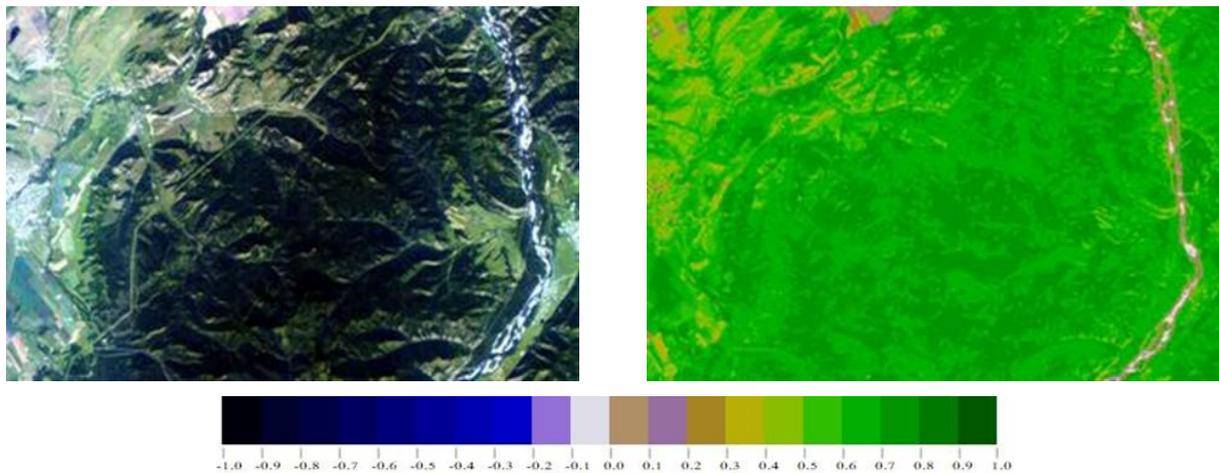


Рис. 7. Исходный снимок, индексное изображение (NDVI) и его палитра

На рисунке 8 изображено индексное изображение, построенное по узкополосному индексу MCARI, а также его палитра.

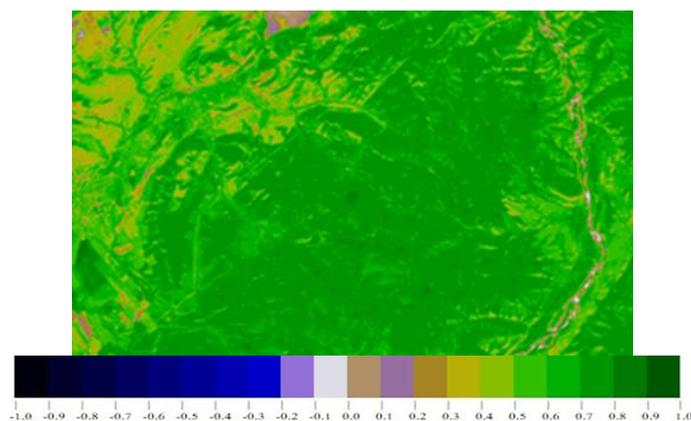


Рис. 8. Индексное изображение (MCARI) и его палитра

Значения индекса от 0.3 до 0.5 соответствуют разряженной растительности, а значения от 0.5 и выше – густой растительности.

На рисунке 9 изображен исходный гиперспектральный снимок (визуализация 3 каналов видимого диапазона) и построенное по водному индексу $Chlorophyll_a$ индексное изображение, а также его палитра.

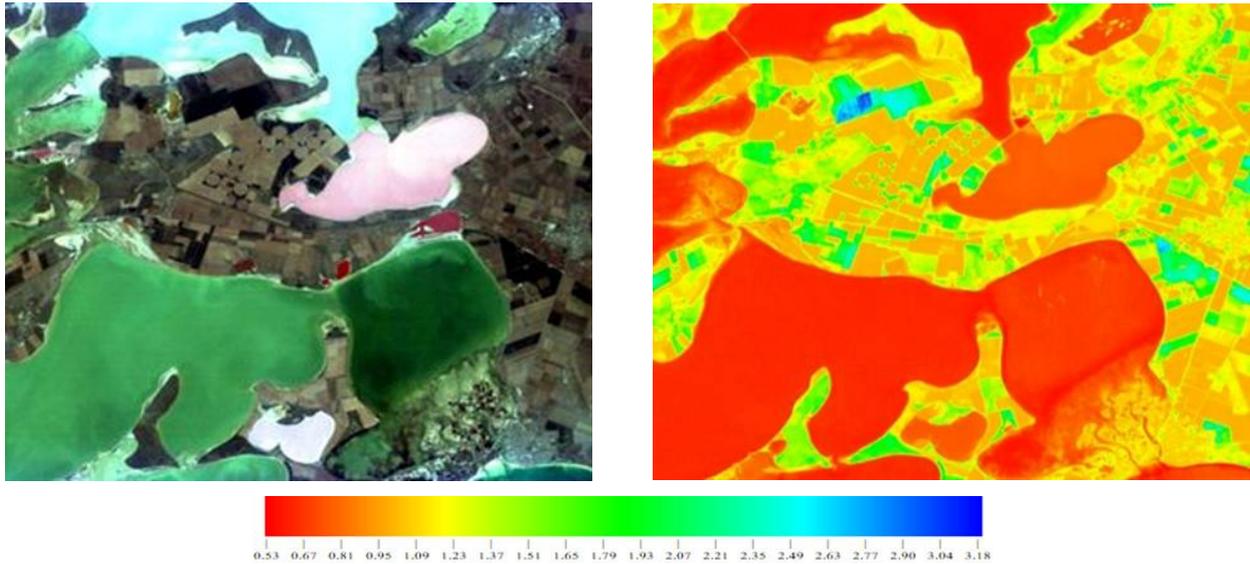


Рис. 9. Исходный снимок, индексное изображение (Chla) и его палитра

Значения индекса менее 0,81 для водных объектов свидетельствуют об отсутствии хлорофилла в воде.

Заключение

В результате анализа материалов, представленных в зарубежной печати, разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять построение и визуализацию индексных изображений по гиперспектральным данным космического аппарата "Ресурс-П". В ПО реализован расчет вегетационных и водных индексов, предназначенных для работы с гиперспектральными данными. Рассмотрены вегетационные и водные индексы, а также алгоритмы распаковки гиперспектральных данных, построения и визуализации индексных изображений.

Библиографический список

1. Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 61 p., Адрес ресурса: <https://doi.org/10.3133/ds1035>.
2. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317.
3. Huete, A. R. (1988) "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)," Remote Sensing of Environment, vol. 25, pp. 295-309.
4. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., and Kerr, Y. H. (1994). "Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)," Remote Sensing of Environment, vol. 48, pp. 119-126.
5. Gitelson, A., and M. Merzlyak. "Spectral Reflectance Changes Associated with Autumn Senescence of Aesculus Hippocastanum L. and Acer Platanoides L. Leaves." Journal of Plant Physiology 143 (1994): pp. 286-292.
6. Sims, D., and J. Gamon. "Relationships Between Leaf Pigment Content and Spectral Reflectance Across a Wide Range of Species, Leaf Structures and Developmental Stages." Remote Sensing of Environment 81 (2002): pp. 337-354.
7. Haboudane, D., et al. "Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture." Remote Sensing of Environment 90 (2004): pp. 337-352.
8. Hyperspectral Remote Sensing of Water Quality Parameters for Large Rivers in the Ohio River Basin, Jan 2003. Адрес статьи: <https://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Shafique.pdf>.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

КЛАССИФИКАЦИЯ ДАННЫХ ОТ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЗЕМЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В.А. Еремеев, С.М. Ларионов, А.А. Макаренко

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается подход к классификации гиперспектральных изображений от космических систем дистанционного мониторинга Земли с использованием искусственных нейронных сетей. Рассматриваемый подход позволяет выделить на изображении классы растительности и водных объектов для последующего определения вегетационных и водных индексов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, гиперспектральные изображения, классификация гиперспектральных изображений, искусственные нейронные сети.

CLASSIFICATION OF SATELLITE DATA OF EARTH HYPERSPECTRAL IMAGING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

V.A. Eremeev, S.M. Larionov, A.A. Makarenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The paper discusses the approach of hyperspectral images classification from satellite systems of Earth remote monitoring using artificial neural networks. The approach allows to identify classes of vegetation and water bodies in the image for the subsequent determination of vegetation and water indices.

Keywords: Earth remote sensing, hyperspectral images, hyperspectral images classification, artificial neural networks, vegetation indices, water indices.

В настоящее время технология дистанционного зондирования из космоса является важнейшим подходом к исследованию земной поверхности. Современное развитие средств дистанционного зондирования Земли характеризуется активным внедрением гиперспектральной аппаратуры [1]. За счет высокого спектрального разрешения гиперспектральные изображения позволяют получить подробную информацию о свойствах объектов подстилающей поверхности. Материалы гиперспектральной съемки представляют большой интерес для задач классификации земной поверхности, для анализа состояния водных и наземных экосистем.

Одним из наиболее эффективных подходов к решению задачи классификации является применение сверточных нейронных сетей (CNN). CNN обладают рядом преимуществ: повышенная устойчивость к искажению входных данных, высокая эффективность классификации образов, малое количество настраиваемых параметров. Целью данной работы является исследование возможностей использования сверточной нейронной сети для классификации гиперспектральных данных.

Формирование данных для обучения нейронной сети

Для обучения сверточной нейронной сети сформирован набор данных. Создание набора произведено на основе гиперспектрального снимка от космического аппарата «Ресурс-П». Снимок содержит 129 спектральных каналов, из которых шесть каналов (центры каналов: 0.49 мкм, 0.55 мкм, 0.68 мкм, 0.72 мкм, 0.8 мкм, 0.9 мкм) использовались при обучении. Использование каналов ближнего инфракрасного диапазона обусловлено особенностями спектрального отражения растительности. Для обучения и тестирования нейронной сети промаркирован фрагмент снимка размером 640 × 570 пикселей. Промаркированный фрагмент

мент разделен на обучающую и тестовую выборку в соотношении 70/30. При маркировке изображения выделены пять классов поверхности: растительность, редкая растительность, поле, водная поверхность, искусственная застройка. На рисунке 1 представлены фрагменты гиперспектрального и промаркированного изображения.

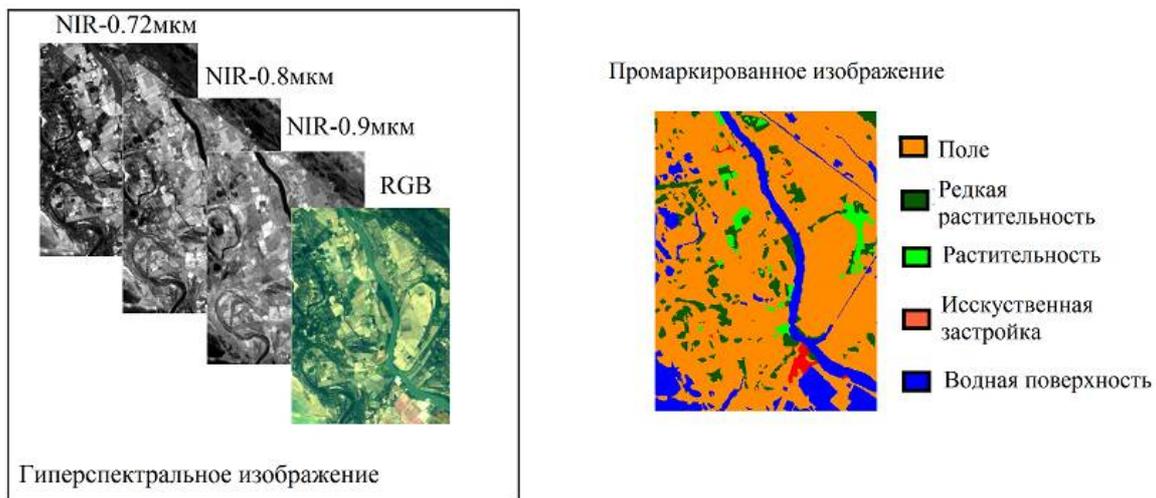


Рис. 1. Фрагменты гиперспектрального и промаркированного изображения

Обучающая выборка дополнена картами вегетационного индекса NDVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы [2]. Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения растений и рассчитывается в соответствии с выражением:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, а RED – отражение в красной области спектра.

В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, а в ближней инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. Значения NDVI варьируются в диапазоне от -1 до 1. Отрицательные значения соответствуют искусственным материалам, воде, снегу и льду (см. рисунок 2), значения от 0 до 0,4 указывают на открытую почву, значения индекса свыше 0,5 соответствуют растительности. Как правило, густая растительность принимает значение $NDVI \geq 0,7$, а значения NDVI от 0,5 до 0,7 относятся к редкой растительности. В соответствии со значением NDVI пиксели обучающих изображений классифицировались к одному из выделенных классов поверхности.

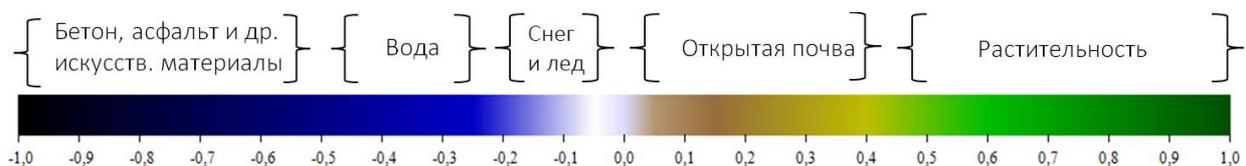


Рис. 2. Дискретная шкала NDVI

Для увеличения объема обучающей выборки изображений проведена аугментация данных: к исходной выборке применены следующие операции: повороты на 90, 180, 270 градусов, поворот на 45 градусов с зеркальным отражением недостающих частей изображения, наложение шума. Таким образом, аугментация увеличила размер исходной выборки в пять раз. Полученные изображения разделены на фрагменты размером 256×256 пикселей со смещением 25 % от размера фрагмента. В результате всех проведенных операций получена база из 184 изображений, разрешением 256×256 пикселей.

Архитектура нейронной сети

В работе использовалась архитектура сверточной нейронной сети U-Net[3]. Сеть U-Net показала свою эффективность в автоматической сегментации спутниковых изображений при малом количестве обучающих данных [4].

Сеть U-Net состоит из двух частей: кодировщика и декодировщика. Кодировщик представляет собой нейросеть, состоящую из пяти блоков. Каждый блок имеет два сверточных слоя с фильтрами 3×3, с функцией активации и применяемой к каждому из них нормализацией данных к нулевому математическому ожиданию и единичной дисперсии, а также слоя понижения дискретизации с окном 2×2.

Декодировщик имеет такое же количество блоков, что и кодировщик. Каждый блок декодировщика состоит из слоя повышения дискретизации с окном 2×2, слоя слияния с соответствующим набором признаков из кодировщика, двух сверточных слоев с фильтрами 3×3 и функцией активации, примененной к каждому из них. Последний слой использует сигмоидную функцию активации признаков для классификации на уровне пикселей.

Для обучения нейросети используется метод стохастического градиентного спуска с импульсом оптимизации [5]. Стандартный алгоритм градиентного спуска обновляет параметры сети, чтобы минимизировать функцию потерь путем выполнения небольших шагов в каждой итерации в направлении отрицательного градиента функции потерь:

$$\theta_{l+1} = \theta_l - a\nabla E(\theta_l), \quad (2)$$

где l – номер итерации, $a > 0$ – скорость обучения, θ – вектор параметров, $E(\theta_l)$ – функция потерь. Стохастический алгоритм градиентного спуска может колебаться вдоль пути наискорейшего спуска к оптимуму. Один из способов уменьшить эти колебания – это добавление импульса.

$$\theta_{l+1} = \theta_l - a\nabla E(\theta_l) + \gamma(\theta_l - \theta_{l-1}), \quad (3)$$

где γ – коэффициент, определяющий вклад предыдущего шага градиента в текущую итерацию.

Накопление больших градиентов ошибок приводит к большим весам модели во время обучения. Существуют различные способы отсечения градиента. Наиболее распространенным является L2-нормализация градиентов вектора параметров. Усечение градиента способствует более быстрому обучению сети и обычно не влияет на точность.

Одной из главных проблем при обучении нейронной сети является переобучение – когда нейросеть дает качественные результаты только на обучающем материале. Для предотвращения переобучения модели используется L2-регуляризация. Функция потерь с добавлением регуляризации принимает следующий вид:

$$E_R(\theta) = E(\theta) + \lambda\Omega(w), \quad (4)$$

где w – вектор весов; λ – коэффициент регуляризации; $\Omega(w)$ – функция регуляризации. Функция регуляризации имеет следующий вид:

$$\Omega(w) = \frac{1}{2} w^T w. \quad (5)$$

В результате работы проведено исследование возможностей использования сверточной нейронной сети U-Net для классификации гиперспектральных данных от российского космического аппарата «Ресурс-П». На основе натурной информации сформированы наборы данных для обучения и тестирования, состоящие из промаркированных изображений и карт вегетационного индекса NDVI. В ходе предварительной экспериментальной отработки подтверждена высокая эффективность и применимость нейронной сети U-Net для решения задачи классификации гиперспектральных данных от КА «Ресурс-П».

Библиографический список

1. Классификация гиперспектральных изображений на основе соотношений яркостей различных каналов // М.А.Гурьянов, С.М. Борзов / ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – №4. – Т.1. – 2018. – с. 81–88.
2. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W. (1973) "Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS," Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317.
3. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Springer, LNCS, vol. 9351, 2015. pp. 234-241.
4. Соловьев Р., Тельпухов Д., Кустов А. Автоматическая сегментация спутниковых снимков на базе модифицированной сверточной нейронной сети UNET // Инженерный вестник Дона. 2017. Т. 47. № 4.
5. <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainingoptions.html>

УДК 528.855; ГРНТИ 89.57.35

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ АБРИСОВ ПО ВЫСОКОДЕТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.Е. Кузнецов, А.С. Рыжиков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассмотрен алгоритм автоматического формирования абрисов, используемых для контроля и уточнения привязки спутниковых изображений земной поверхности, по снимкам высокого разрешения. Приведен краткий анализ методов детектирования характерных объектов на изображении. Рассмотрен способ поиска контрольных точек на основе анализа открытых данных OpenStreetMap. Предложен алгоритм формирования абрисов, основанный на совместном использовании характерных объектов снимка и OpenStreetMap. Показаны преимущества этого алгоритма перед классическими детекторами.

Ключевые слова: абрис, характерный объект, OpenStreetMap (OSM).

ALGORITHM OF AUTOMATIC GROUND CONTROL POINTS EXTRACTION FROM HIGH RESOLUTION EARTH REMOTE SENSING DATA

A.E. Kyznetsov, A.S. Ryzhikov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The issue of constructing an algorithm for the automatic ground control points formation based on high-resolution images is considered. A brief analysis of methods for detecting specific objects in the image is given. A method for finding control points founded on the analysis of open data from OpenStreetMap is considered. An algorithm for the the automatic ground control points formation is proposed, based on the joint usage of specific objects of the image and OpenStreetMap.

Keywords: ground control point (GCP), OpenStreetMap (OSM), feature point.

Для контроля и устранения грубых ошибок геодезической привязки (от сотен метров до километров) в работе [1] предложена технология, основанная на поиске одноименных объектов на снимке и глобальном опорном растровом покрытии, созданном по данным КА Landsat-8. Эта технология гарантирует точность привязки не хуже 30 метров. Для дальнейшего повышения точности до нескольких метров необходимо привлечение контрольных точек – координат характерных наземных объектов, измеренных с высокой точностью. Автоматическая идентификация координат контрольных точек на анализируемом снимке обеспечивается использованием абрисов. Под абрисом будем понимать фрагмент опорного ортотрансформированного снимка высокого разрешения, содержащий соответствующий контрольной точке участок земной поверхности. В настоящее время в Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ, г. Москва) ведутся работы по созданию банка абрисов на основе детальных снимков от КА «Ресурс-П» №3, который характеризуется стабильно высоким качеством геодезической привязки. При этом поиск контрольных точек на снимках выполняется вручную операторами, что не позволяет организовать высокоскоростную автоматическую потоковую обработку.

Существующие решения по поиску контрольных точек и формированию абрисов либо ориентированы на работу со снимками среднего разрешения [2], либо используют данные стереоскопической съемки на весь мир [3]. Перенести технологию, разработанную для среднего разрешения, на снимки высокого разрешения, невозможно, т.к. повышение детальности приводит к необходимости учета высоты зданий, выбора иных характерных объектов и большему влиянию сезонных различий. Обеспечить глобальную стереоскопическую съемку в высоком разрешении крайне затруднительно. Поэтому целью работы является построение алгоритма автоматического детектирования контрольных точек, пригодных для формирования абрисов, на отдельных снимках высокого разрешения от КА «Ресурс-П».

Требования к контрольным точкам

Автоматическая идентификация координат контрольных точек на анализируемом снимке традиционно выполняется путем корреляционно-экстремального анализа [4]. Для обеспечения высокой вероятности успешной идентификации контрольные точки должны удовлетворять ряду требований.

1. Окрестность контрольной точки должна незначительно различаться на ортотрансформированных изображениях, полученных при различных углах съемки.
2. Изображение местности на разновременных снимках вблизи контрольной точки не должно иметь существенных сюжетных различий.
3. Контрольная точка должна соответствовать характерному объекту, не представленному в других частях абриса.
4. Должна быть обеспечена надежная субпиксельная идентификация положения абриса в системе координат анализируемого изображения.

Методы детектирования контрольных точек

В работе [2] для поиска координат характерных объектов на изображении применяется детектор углов Харриса. Этот оператор позволяет выделить характерные точки, в окрестности которых у градиента изображения два доминирующих направления.

Альтернативой детекторам углов являются детекторы «пятен»(blob). В работе [3] для поиска характерных объектов применяется детектор SURF. Он ориентирован на выделение объектов-пятен с максимальным перепадом яркости относительно фона.

Детектор Харриса и SURF выполняют анализ текстуры изображения. Другой перспективный подход связан с привлечением открытых картографических данных OpenStreetMap (OSM). По векторным данным OSM можно определить координаты объектов, которые с вы-

сокой вероятностью будут присутствовать на снимке и являться характерными, – перекрестки дорог и иные участки дорожной сети, взлетные полосы аэродромов, разметка на открытых стадионах.

Указанные выше методы детектирования контрольных точек апробированы на натуральных снимках от КА «Ресурс-П» №3 и данных высокого разрешения GoogleMaps.

На снимках городской местности от 20 до 40% характерных объектов, найденных детектором Харриса, относятся к контурам или крышам зданий. Это является проблемой при обработке изображений районов с высотной застройкой, снятых не в надира. Т.к. высоты зданий не отражены в ЦМР, то геодезические координаты соответствующих таким объектам контрольных точек определяются с ошибкой. Кроме того, возрастает риск неточной идентификации положения абриса на снимке из-за влияния теней и геометрических искажений. Среди объектов, найденных на снимках из тестовой выборки детектором SURF, менее 20% соответствует строениям, при этом большинство характерных объектов на крышах – засвеченные области.

На изображениях лесных массивов детектор Харриса к характерным объектам относит преимущественно изгибы границы леса, детектор SURF – отдельно стоящие деревья и небольшие группы деревьев. На данный момент затруднительно сказать, какое поведение является предпочтительным, в этой части планируются дальнейшие эксперименты. В рамках эксперимента по использованию данных OSM на соответствующей анализируемым снимкам территории найдены перекрестки дорог и углы строений с высотой не более двух этажей. Соответствующие векторные объекты были растеризованы, после чего выполнено уточнение их положения на снимках. Этот этап необходим, т.к. в данных OSM в силу их природы могут быть неточности и грубые ошибки. В картографированных населенных пунктах, в т.ч. небольших, и на участках с разветвленной дорожной сетью количество сформированных таким образом контрольных точек оказалось достаточным, а их качество – выше, чем у классических детекторов. Однако плотность данных OSM различается в разных странах, техногенные объекты отсутствуют в плотных лесных массивах, пустынях и на т.п. территориях. Поэтому ограничиться использованием только заранее размеченных картографических данных для формирования абрисов невозможно.

На рисунке 1 изображен снимок деревни Мальчиха (Колыванский район Новосибирской области) и три группы абрисов, центры которых относятся к контрольным точкам, найденным соответственно тремя рассмотренными выше методами. На абрисах, сформированных по данным OpenStreetMap, пунктиром показаны дороги. Примечательно, что несмотря на малый размер деревни (население 69 человек) в OSM размечен ее дорожный граф.



Рис. 1. Изображение с GoogleMaps и сформированные абрисы. Контрольные точки абрисов слева (в красной рамке) найдены детектором SURF, сверху (в синей рамке) – детектором Харриса, справа — по OSM

Алгоритм формирования абрисов

В результате проведенного анализа методов детектирования контрольных точек сделаны два вывода.

Во-первых, на снимках населенных пунктов и детектор Харриса и SURF относят углы и крыши зданий, в т.ч. высотных, к характерным объектам; SURF – существенно реже.

Во-вторых, данных OSM недостаточно для построения полного набора контрольных точек на произвольную территорию.

С учетом этого предлагается двухэтапный алгоритм детектирования контрольных точек для формирования абрисов (рисунок 2).

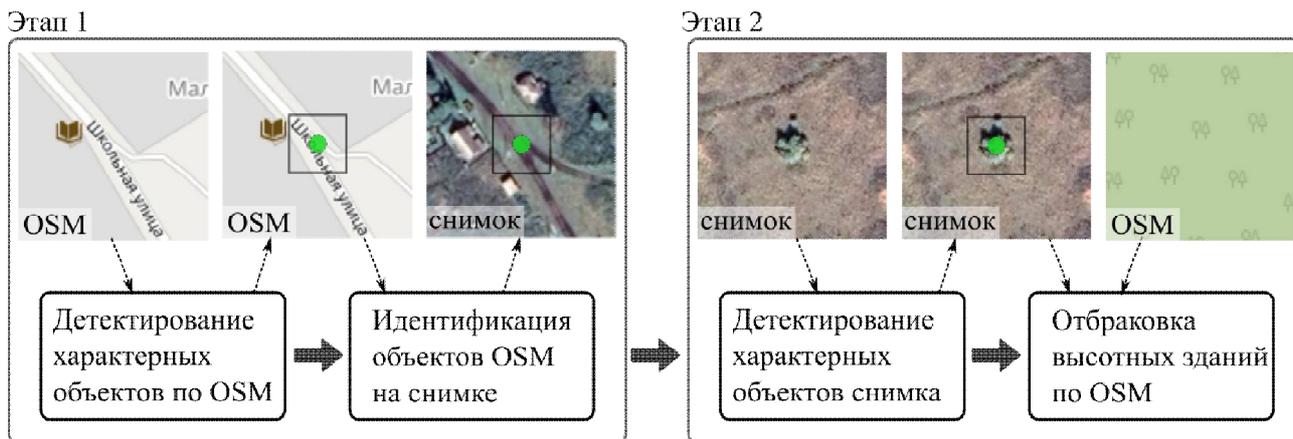


Рис. 2. Алгоритм детектирования контрольных точек абрисов

На первом этапе по доступным данным OSM формируется перечень характерных объектов, находящихся на территории анализируемого снимка. В него заносятся перекрестки дорог, углы строений, высота которых известна и не превышает заданное значение (2-3 этажа) на территории. Объекты из перечня характерных растеризуются, осуществляется их детектирование на снимке. Координаты успешно найденных объектов заносятся в массив контрольных точек.

После этого производится анализ достаточности сформированного массива координат контрольных точек. До проведения дополнительного исследования предполагается использовать критерий из работы [3]: каждый фрагмент регулярной сетки 6х6 км должен содержать минимум одну контрольную точку.

Далее в фрагментах снимка, не содержащих ни одной контрольной точки, осуществляется поиск характерных объектов детектором SURF. Координаты объектов, находящихся по данным OSM вблизи высотных зданий, отбраковываются. Оставшиеся помещаются в массив контрольных точек.

В банк абрисов заносятся фрагменты снимков фиксированного размера, центрированные на контрольных точках. Каждый абрис сопровождается геодезическими координатами соответствующей контрольной точки, высота берется из ЦМР (может быть уточнена при наличии данных стереосъемки на территорию снимка).

Заключение

Формирование абрисов по отдельным снимкам высокого разрешения целесообразно проводить на основе детектирования характерных объектов. Классический детектор Харриса с точки зрения поиска контрольных точек уступает детектору SURF в районах с высотной застройкой, т.к. чаще «привязывается» к углам зданий, высота которых неизвестна. Оптимальным с точки зрения успешности дальнейшей идентификации абрисов на снимках представляется предложенный двухэтапный алгоритм поиска контрольных точек с использованием детектора SURF и данных OSM.

При формировании абрисов по одиночному снимку нет возможности полноценно учесть влияние сезонных изменений и высоту объекта, соответствующего контрольной точке. Поэтому целесообразно в процессе эксплуатации отбраковывать абрисы, которые регулярно не удается идентифицировать на снимке или учет которых вносит большую ошибку при геодезическом ориентировании снимков (по остаточным координатным рассогласованиям). Этому вопросу планируется посвятить следующую работу.

Библиографический список

1. Кузнецов А.Е., Пошехонов В.И., Рыжиков А.С. Технология автоматического контроля точности геопривязки спутниковых изображений по опорным снимкам от КА «Landsat-8». – Цифровая обработка сигналов №3/2015.
2. Storey J.C., Rengarajan R. Choate M.J. Bundle Adjustment Using Space-Based Triangulation Method for Improving the Landsat Global Ground Reference. – Remote Sens. 2019/11.
3. Chandelier L., Coeurdevey L., Bosch S., Fave P., Gachet R., Orsoni A., Tilak T., Barot A. A worldwide 3D GCP database inherited from 20 years of massive multi-satellite observations. – ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-2-2020.
4. Кузнецов А.Е., Рыжиков А.С. Исследование быстродействия алгоритмов поиска на изображениях одноименных точек с использованием современной вычислительной техники. – Цифровая обработка сигналов №3/2017.

УДК 528.852; ГРНТИ 89.57.35

АЛГОРИТМ БЛОЧНОГО УРАВНИВАНИЯ СНИМКОВ, ПРИВЯЗАННЫХ ПО RPC-МОДЕЛИ

М.М. Егин, А.Е. Кузнецов, В.И. Пошехонов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается алгоритм блочного уравнивания спутниковых снимков высокого разрешения уровня обработки 1, геодезическая привязка которых определена при помощи RPC-модели. Приводятся особенности реализации процедуры блочного уравнивания без использования опорной информации.

Ключевые слова: дробно-рациональные коэффициенты (RPC), блочное уравнивание, одноименные точки, алгоритм Левенберга-Марквардта.

BLOCK ADJUSTMENT OF IMAGES DESCRIBED BY RPC-MODEL

M.M. Egin, A.E. Kuznetsov, V.I. Poshehonov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

Annotation. The paper considers an algorithm for block adjustment of high-resolution satellite images of level 1, the geodetic referencing of which is determined using the RPC model. The features of block adjustment procedure implementation without using reference information are given.

Keywords: rational polynomials coefficients (RPC), block adjustment, common points, Levenberg–Marquardt algorithm.

Введение

Съемочная аппаратура современных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности космических аппаратов (КА) «Ресурс-П», «Аист» и др., предусматривает функционирование в режиме площадной съемки. Площадная съемка применяется в случае, когда целевая область не может быть покрыта одним снимком, и КА в пределах одного витка полета за счет изменения угла съемки фиксирует целевую площадь в виде нескольких перекрывающихся снимков.

Для обработки материалов площадной съемки снимки приводятся к стандартному уровню обработки 1 – «сшитому» нетрансформированному изображению с радиометрической и геометрической коррекцией – сопровождающимся дробно-рациональными коэффициентами (RationalPolynomialCoefficients, RPC) модели камеры в момент съемки [1]. Модель камеры задает геодезическую привязку изображения.

Для создания мозаичного изображения наблюдаемых территорий снимки уровня обработки 1 ортотрансформируются в картографическую проекцию с использованием цифро-

вой модели рельефа (ЦМР) и объединяются в пределах единого растра. В области наложения снимков в виду неточной геодезической привязки исходных снимков наблюдаются значительные несостыковки. Устранение несостыковок традиционно осуществляется посредством одиночного и блочного геодезического ориентирования с использованием опорной информации. В виду того, что поиск опорных точек является времязатратной процедурой, рассматривается выполнение блочного уравнивания без использования опорных точек.

Цель работы – повышение точности объединения ортотрансформированных снимков, геодезическая привязка которых корректируется поправками, найденными в результате блочного уравнивания по RPC-модели, без использования опорных точек изображений уровня обработки 1.

Алгоритмы блочного уравнивания по RPC-модели

В работе [2] описан алгоритм блочного уравнивания с использованием одноименных и опорных точек снимков, геодезическая привязка которых задана RPC-моделью. Денормализованная RPC-модель преобразует геодезические координаты (φ, λ, h) в планарные координаты (L, S) , соответствующие строке и столбцу растра. Она представлена в виде нелинейных функций $p(\varphi, \lambda, h)$ для расчета строки и $r(\varphi, \lambda, h)$ для расчета столбца. Авторы предлагают полиномиальную модель поправок, определенную в пространстве изображения, и показывают, что для снимков протяженностью до 50 км ошибки физического процесса съемки могут быть скорректированы введением поправок вида:

$$\begin{aligned} \Delta p(\varphi, \lambda, h) &= a_0 + a_s \cdot r(\varphi, \lambda, h) + a_L \cdot p(\varphi, \lambda, h), \\ \Delta r(\varphi, \lambda, h) &= b_0 + b_s \cdot r(\varphi, \lambda, h) + b_L \cdot p(\varphi, \lambda, h). \end{aligned} \quad (1)$$

С использованием опорных и одноименных точек составляется система нелинейных уравнений невязок. Для каждой k -й опорной или одноименной точки, являющейся i -й точкой на изображении j с планарными координатами $(L_i^{(j)}, S_i^{(j)})$, с геодезическими координатами $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ в систему добавляются уравнения невязок:

$$\begin{cases} v_{L_i^{(j)}} = L_i^{(j)} - \Delta p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) - p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ v_{S_i^{(j)}} = S_i^{(j)} - \Delta r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) - r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \end{cases} \quad (2)$$

где $v_{L_i^{(j)}}$ и $v_{S_i^{(j)}}$ – невязки точки i на изображении j в пиксельном и строчном направлениях соответственно;

$p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ и $r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ – денормализованные функции преобразования координат пространства объекта RPC-модели изображения j ;

$\Delta p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ и $\Delta r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ – модель поправок (1).

Затем в окрестности начальных оценок значений неизвестных система линейризуется и решается относительно приращений неизвестных с использованием частных производных уравнений.

В ходе исследований реализован алгоритм блочного уравнивания [2] в отсутствие опорной информации, включающий следующие шаги.

1) Задаются начальные значения оценок неизвестных параметров уравнивания $\hat{\theta}$: истинные геодезические координаты одноименных точек измерены на одном из снимков блока; искомые параметры уравнивания проинициализированы нулевыми значениями.

2) Составляется система нелинейных уравнений для одноименных точек на основе уравнений (2). Составленная система линейризуется в окрестности оценок неизвестных и по-

лучается решение линейной системы уравнений относительно приращений неизвестных $d\hat{\theta}$ в виде:

$$d\hat{\theta} = (\mathbf{A}^T \mathbf{C}_w^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{C}_w^{-1} \mathbf{w} , \quad (3)$$

где \mathbf{A} – матрица плана первого порядка, сформированная из значений первых производных уравнений невязок относительно неизвестных параметров уравнивания и истинных геодезических координат;

\mathbf{C}_w – ковариационная матрица неизвестных, вводящая априорную информацию о точности оценок неизвестных;

\mathbf{w} – вектор значений невязок при заданных оценках неизвестных.

3) Обновляются оценки неизвестных в соответствии с найденными приращениями. Шаги 2–3 повторяются до достижения сходимости.

По результатам программной реализации выявлено, что алгоритм численно нестабилен, так как искомые параметры не ограничены привязкой к геодезической системе координат. Как результат, значения невязок после обновления оценок неизвестных приращениями (3) на каждой итерации алгоритма увеличивались.

Так как денормализованные функции преобразования $p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ и $r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ в уравнениях (2) являются нелинейными от неизвестных, в работе поиск неизвестных параметров уравнивания и истинных геодезических координат одноименных точек осуществляется в виде решения оптимизационной задачи нелинейной регрессии, которое может быть получено методами сопряженных градиентов, Ньютона-Гаусса, Левенберга-Марквардта. В работе используется программная реализация алгоритма Левенберга-Марквардта для решения задачи оптимизации [3]. Поиск решения с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта осуществляется минимизацией суммы квадратов невязок уравнений (2).

При одновременном поиске параметров уравнивания и истинных геодезических координат одноименных точек с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта выявлено, что задача является плохо сходимой и приводит к локальному минимуму функции суммы квадратов невязок.

С целью преодоления указанной проблемы блочного уравнивания без опорной информации предлагается двухэтапный алгоритм блочного уравнивания набора пересекающихся снимков уровня 1. Применение предлагаемого алгоритма позволяет избежать значительных временных затрат, возникающих в случае одновременного поиска параметров уравнивания и истинных геодезических координат одноименных точек. Алгоритм включает выполнение следующих этапов.

1) Уточнение истинных геодезических координат одноименных точек.

В рамках работы, опорная информация в процессе уравнивания не используется, и, следовательно, не ограничивает область поиска геодезических координат. С целью решения представленной проблемы предлагается выполнить уравнивание без поиска параметров уравнивания с целью уточнения истинных геодезических координат одноименных точек.

1.1) Составление уравнений невязок для одноименных точек.

Для каждой одноименной точки k , являющейся точкой i на изображении j с планарными координатами $(L_i^{(j)}, S_i^{(j)})$, и являющейся точкой q на изображении t с планарными координатами $(L_q^{(t)}, S_q^{(t)})$, с неизвестными геодезическими координатами $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ в систему уравнений невязок добавляются следующие уравнения:

$$\begin{cases} v_{L_i^{(j)}} = L_i^{(j)} - p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ v_{S_i^{(j)}} = S_i^{(j)} - r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ v_{L_q^{(i)}} = L_q^{(i)} - p^{(i)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ v_{S_q^{(i)}} = S_q^{(i)} - r^{(i)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \end{cases}, \quad (4)$$

где $v_{L_i^{(j)}}$ и $v_{S_i^{(j)}}$ – невязки точки i на изображении j в пиксельном и строчном направлениях соответственно;

$p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ и $r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ – денормализованные функции преобразования координат пространства объекта в денормализованную RPC-модели изображения j .

Таким образом, для каждой одноименной точки в систему добавляется 4 уравнения невязок и 3 неизвестные – истинные геодезические координаты соответствующей одноименной точки.

1.2) Решение оптимизационной задачи.

Необходимо найти такие значения истинных геодезических координат для каждой k -й одноименной точки $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$, чтобы сумма квадратов соответствующих точке невязок (4) была минимальна, то есть найти такой вектор Θ при котором функция суммы квадратов минимальна:

$$V(\Theta) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m^{(j)}} \frac{1}{\sigma_i^2} [v_{L_i^{(j)}}^2 + v_{S_i^{(j)}}^2] \rightarrow \min_{\Theta}, \quad (5)$$

где $j = \overline{1, n}$ – порядковый номер изображения блока;

$i = \overline{1, m^{(j)}}$ – порядковый номер точки на изображении j ;

$m^{(j)}$ – число точек на изображении j ;

σ_i – среднеквадратическое отклонение (СКО) измеренных планарных координат точки i на изображении j ;

Θ – вектор неизвестных геодезических координат опорных точек.

В результате решения оптимизационной задачи находятся истинные геодезические координаты одноименных точек.

2) Поиск параметров уравнивания с использованием одноименных точек в качестве опорных.

2.1) Составление уравнений невязок одноименных точек, используемых как опорные.

Каждая одноименная точка k с уточненными на этапе 2 алгоритма геодезическими координатами $(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ преобразуется в пару опорных точек на соответствующих изображениях. Для каждой полученной опорной точки в систему добавляются 2 следующих уравнения невязок:

$$\begin{cases} v_{L_i^{(j)}} = L_i^{(j)} - \Delta p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) - p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \\ v_{S_i^{(j)}} = S_i^{(j)} - \Delta r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) - r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) \end{cases}, \quad (6)$$

где $\Delta p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ и $\Delta r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k)$ – уравнивающие полиномиальные функции изображения j , описывающие аффинное преобразование, вида:

$$\begin{aligned} \Delta p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) &= a_0^{(j)} + a_S^{(j)} \cdot r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) + a_L^{(j)} \cdot p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k), \\ \Delta r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) &= b_0^{(j)} + b_S^{(j)} \cdot r^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k) + b_L^{(j)} \cdot p^{(j)}(\varphi_k, \lambda_k, h_k). \end{aligned} \quad (7)$$

Неизвестными в полученной системе уравнений невязок являются параметры модели уравнивания для каждого снимка j : $a_0^{(j)}, a_S^{(j)}, a_L^{(j)}, b_0^{(j)}, b_S^{(j)}, b_L^{(j)}$.

2.2) Решение оптимизационной задачи.

Аналогично шагу 2.2 составляется функция для минимизации как сумма квадратов невязок (6) в строчном и пиксельном направлениях. С целью предотвращения значительного ухудшения начальной геодезической привязки в связи с отсутствием ограничений дополнительно вводятся невязки параметров уравнивания. С учетом вышесказанного целевая функция принимает вид:

$$V(\Theta) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m^{(j)}} \frac{1}{\sigma_{изм_i}^2} [v_{L_i^{(j)}}^2 + v_{S_i^{(j)}}^2] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^6 \frac{1}{\sigma_{нап_i}^{(j)}} \theta_i^{(j)} \rightarrow \min_{\Theta}, \quad (8)$$

где $\sigma_{нап_i}^{(j)}$ – СКО неизвестного параметра модели уравнивания с индексом i в векторе параметров $\theta^{(j)}$ аффинного преобразования изображения j ;

Θ – вектор неизвестных параметров уравнивания.

В результате решения оптимизационной задачи находятся параметры модели уравнивания $\theta^{(j)}$ для каждого снимка j , геодезическая привязка которых обновляется для выполнения ортотрансформирования.

Результаты экспериментальной апробации

Для подтверждения работоспособности предлагаемого алгоритма была выполнена его программная реализация на языке программирования C++ в виде программного компонента, функционирующего в составе программного комплекса обработки данных ДЗЗ в операционной системе Linux.

В качестве тестового сценария были взяты два перекрывающихся снимка, полученные с КА Ресурс-П №1 с пространственным разрешением 0.7 метров и размерами 45000x45807 и 45000x45664 соответственно. Полученные снимки были приведены к стандартному уровню обработки 1 путем «сшивки» сканов ПЗС-матриц, радиометрической и геометрической коррекции.

В рамках экспериментальной апробации было выполнено ортотрансформирование исходных и блочно-уровненных по RPC-модели снимков уровня обработки 1 с использованием ЦМР с пространственным разрешением 26 м. Уравнивание производилось с набором 439 автоматически найденных одноименных точек корреляционно-экстремальным алгоритмом [4]. В таблице 1 представлены результаты оценки точности привязки ортотрансформированных снимков в виде СКО плановых координат, полученных в результате экспериментов. Для оценки точности привязки на каждом снимке было использовано 5 опорных точек.

Таблица 1. Оценка точности привязки ортотрансформированных снимков, полученных в результате эксперимента

Снимок Эксперимент	Снимок №1, СКО план.коорд., м	Снимок №2, СКО план.коорд., м
RPC-модель без блочного уравнивания	73.6272	76.5472
RPC-модель с блочным уравниванием	76.7829	72.8163

В результате выполнения блочного уравнивания в пределах области наложения значительные несостыковки устранены. На рисунке 1 (1,2,3) показаны фрагменты результатов совмещения ортотрансформированных снимков в области наложения.

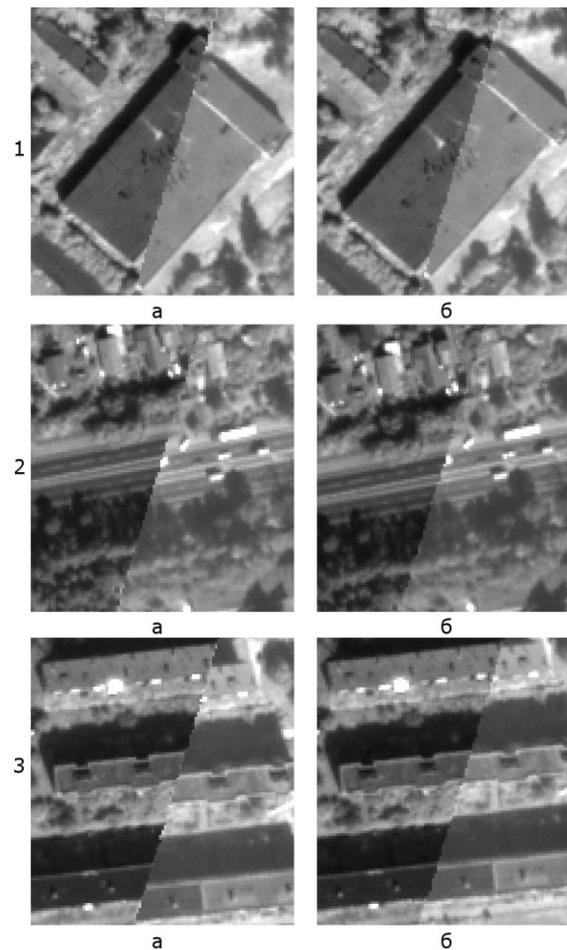


Рис. 1. Примеры совмещения ортотрансформированных изображений без блочного уравнивания (а) и с блочным уравниванием (б)

Заключение

Таким образом, предложен численно стабильный двухэтапный алгоритм блочного уравнивания без опорных точек изображений площадной съемки, основанный на уточнении истинных геодезических координат одноименных точек и поиске параметров уравнивания с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта. Целесообразность использования предлагаемого алгоритма подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями. Показано, что применение алгоритма не ухудшает точность географической привязки, и что в результате его выполнения видимые несостыковки в области наложения ортотрансформированных снимков значительно меньше начальных. Разработанный программный компонент будет внедрен в работу по обработке данных, полученных с КА «Ресурс-П» и «Аист» в составе программного комплекса, функционирующего на операционной системе Linux.

Библиографический список

1. Grodecki J., Dial G. IKONOS stereo feature extraction – RPC approach // Proceedings of ASPRS 2001 Conference – 2001.
2. Grodecki J., Dial G. Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2003. – Том 69. №1 – С. 59-68.
3. Lourakis M.I.A. A brief description of the Levenberg-Marquardt algorithm implemented by levmar // Technical Report Institute of Computer Science, Foundation for Research and Technology – Hellas, 2005.
4. Кузнецов А.Е., Рыжиков А.С. Исследование быстродействия алгоритмов поиска на изображениях одноименных точек с использованием современной вычислительной техники // Цифровая обработка сигналов. - 2017. - №3. - С. 40-44.

УДК 004.415.2; ГРНТИ 50.41.25

ИНТЕГРАЦИЯ В ГЕОПОРТАЛ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДАННЫХ ОТ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «LANDSAT-8»

А.М. Кочергин, С.А. Ларюков, А.С. Рыжиков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru

Аннотация. Рассматривается интеграция в геопортал спутниковых снимков данных дистанционного зондирования Земли, полученных от космического аппарата «Landsat-8».

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, геопортал, браузер, сервер.

INTEGRATION INTO THE GEOPORTAL OF SATELLITE IMAGES DATA FROM THE «LANDSAT-8»SPACECRAFT

A.M. Kochergin, S.A. Laryukov, A.S. Ryzhikov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru

The summary. In the paper are considered the integration into the geoportal of satellite images of Earth remote sensing data obtained from the «Landsat-8» spacecraft.

Keywords: Earth remote sensing, geoportal, browser, server.

В настоящее время использование геоданных и геоинформационных технологий прочно вошло в повседневную жизнь. Для расширения области применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) важно предоставить потребителям мощные и удобные сервисы распространения космических снимков - специальные Интернет-ресурсы, получившие название геопорталов. Проведённый анализ показал, что существующие системы ограничены в своих функциональных возможностях. Часть сервисов предоставляет только функции поиска и просмотра спутниковых снимков без нанесения их на картографическую основу. Другие требуют установки специального программного обеспечения. Кроме того, в ряде случаев доступ к части функций сервисов ограничен.

Для повышения востребованности спутниковых данных необходимо программное обеспечение, которое минимизирует требуемые аппаратные и программные ресурсы. В связи с этим в НИИ «Фотон» РГРТУ было принято решение о разработке специального программного средства удалённого доступа потребителей к данным ДЗЗ – геопортала спутниковых снимков [1]. Для работы с таким сервисом не требуется установка специализированного программного обеспечения на компьютер пользователя и дорогое оборудование. Геопортал позволяет получать доступ к данным ДЗЗ при наличии устройства с установленным браузером и выходом в сеть Интернет.

Одной из основных функций геопортала является поиск архивных данных ДЗЗ в электронном каталоге [2]. Для обеспечения предоставления пользователю единого интерфейса поиска спутниковых изображений, полученных от сканеров различного типа и хранящихся в различных базах данных (БД), в геопортале реализуется динамическая система поиска. Ее принцип заключается в следующем: для каждой БД архивных данных разрабатывается специальный модуль-провайдер, обеспечивающий унифицированный доступ к БД с учетом ее структуры. После регистрации провайдера в системе геопортала в пользовательском интерфейсе появляется возможность осуществлять поиск архивных спутниковых снимков, информация о которых хранится в соответствующей БД.

Для демонстрации функциональных возможностей разрабатываемого сервиса было принято решение интегрировать в геопортал данные ДЗЗ, полученные от космического аппарата (КА) «Landsat-8». Глобальный архив космических снимков со спутника «Landsat-8» бесплатно доступен для всех пользователей и ежедневно пополняется актуальными сценами [3]. Архив реализован по принципу облачного хранилища. Данные в архиве располагаются в ка-

талогах, организованных на основе опорной системы WorldReferenceSystem 2 [4]. Каталог каждой сцены включает следующие файлы.

1. Изображения формата GeoTIFF для каждого из 11 спектральных каналов (5 каналов видимого диапазона, 4 канала ближнего инфракрасного диапазона, 2 канала дальнего инфракрасного диапазона) разрешением от 100 до 15 метров.

2. Обзорные изображения формата TIFF для каждого из 11 спектральных каналов.

3. Обзорные мультиспектральные изображения формата JPEG, составленные из красного, синего и зелёного каналов видимого спектра разрешением 3 и 15 процентов от исходного размера.

4. Текстовый файл метаданных формата MTL для изображения.

5. HTML-страница, содержащая изображение для предварительного просмотра сцены в браузере пользователя и ссылки для скачивания файлов из архива.

Информация обо всех доступных сценах в облачном хранилище «Landsat-8» записана в текстовом файле формата CSV и доступна для скачивания по адресу [5]. В этом файле для каждого маршрута съёмки содержится уникальный идентификатор снимка, дата съёмки, процент облачности, уровень обработки, широта и долгота описанного прямоугольника вокруг изображения и URL-адрес HTML-страницы в облачном хранилище.

Для оптимизации процесса поиска в архиве и обеспечения доступа пользователей геопортала к данным ДЗЗ с КА «Landsat-8» была разработана база данных (БД) архива спутниковых снимков, являющаяся репликацией списка доступных сцен с КА «Landsat-8». Проведённый анализ показал, что CSV-файл с перечнем изображений в облачном хранилище не содержит всей атрибутивной информации для спутникового снимка. Поэтому по мере поступления новых снимков в БД архива дополнительно запускается процедура, которая для каждого маршрута съёмки скачивает MTL-файл метаданных, откуда извлекает атрибутивную информацию по изображению (угол съёмки, азимут и высота Солнца, код проекции, координаты контура снимка) и помещает её в БД архива.

Для динамической системы поиска был разработан и интегрирован в геопортал унифицированный модуль-провайдер спутниковых снимков с КА «Landsat-8». При осуществлении поиска в каталоге геопортал вызывает функцию поиска модуля-провайдера, собирает информацию о найденных спутниковых снимках в виде таблицы и отправляет результат в браузер пользователя. Для каждого найденного изображения модуль-провайдер осуществляет поиск его уменьшенной копии (квиклука) в БД кэша. Если такой файл в кэше отсутствует, то выполняется его скачивание из облачного хранилища, географическая привязка и помещение в БД кэша. По мере готовности результаты поиска в виде растровых изображений последовательно отправляются в клиентскую программу геопортала при помощи технологии WebSocket [6], где наносятся на картографическую основу.

Особенностью загруженных из глобального архива квиклуков является то, что такие JPEG-изображения (рисунок 1) трансформированы в картографическую проекцию UTM и имеют зарамочное оформление. Поэтому для отображения таких снимков на картподложке необходимо маскировать (сделать прозрачным) зарамочное оформление перед их занесением в БД кэша. Для этого создается альфа-канал, в котором пиксели фона помечаются как прозрачные, а пиксели изображения как непрозрачные. Задача маскирования фона на квиклуках от КА «Landsat-8» осложнена двумя особенностями этих изображений.

Во-первых, они подвергнуты сжатию с потерями (JPEG), в связи с чем код яркости пикселя фона на границе изображения может отличаться от цвета фона заданного при трансформировании. При построении маски с использованием только кода яркости фона эти пиксели не определяются как фоновые, в результате в альфа-канале на границе изображения образуются группы пикселей фона ложно помеченных как пиксели изображения («артефакты») (рисунок 2).

Во-вторых, входные изображения ортотрансформированы, в связи с чем контур снимка представляет собой набор кривых. Это затрудняет построение эвристических алгоритмов устранения «артефактов».



Рис. 1. Исходное JPEG-изображение спутникового снимка с КА «Landsat-8»

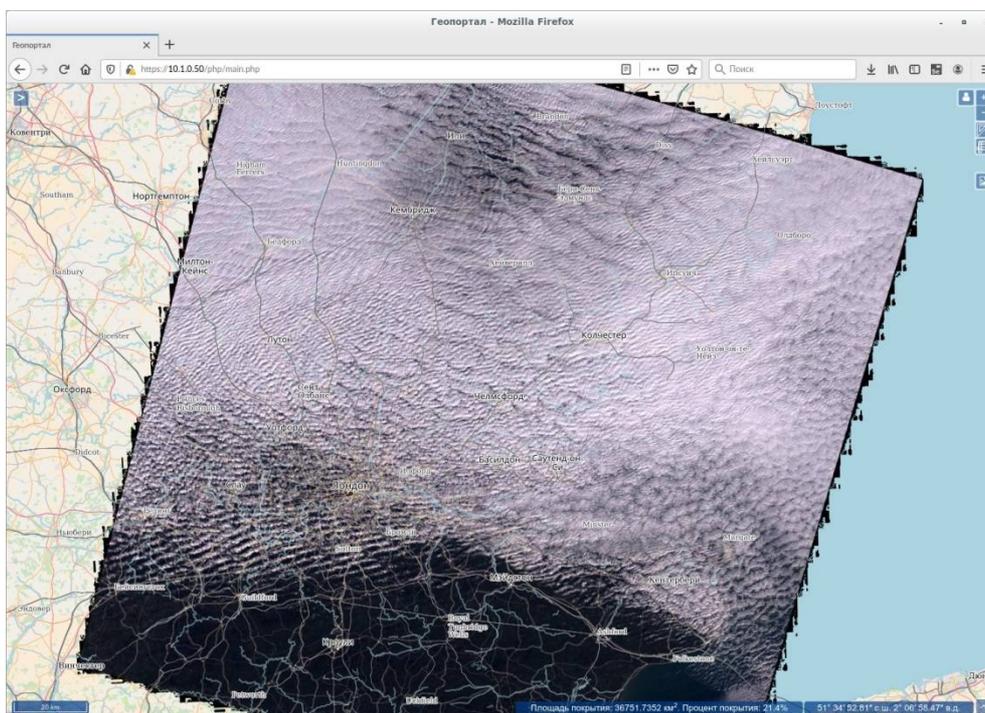


Рис. 2. JPEG-изображение спутникового снимка с КА «Landsat-8» с «артефактами» в альфа-канале

В связи с указанными особенностями маскирование организовано в три этапа. На первом этапе на основе алгоритма водораздела осуществляется первичное разбиение пикселей изображения на два класса: фон и прочие. На втором этапе выполняется поиск параметров прямоугольника минимальной площади, включающего все пиксели, не отнесенные к фону.

На третьем этапе осуществляется сжатие прямоугольника на размер блока JPEG. Все пиксели, расположенные за пределами полученного прямоугольника, маскируются.

На рисунке 3 показан результат поиска видеоданных в БД архива спутниковых снимков КА «Landsat-8» с учётом применения алгоритма маскирования.

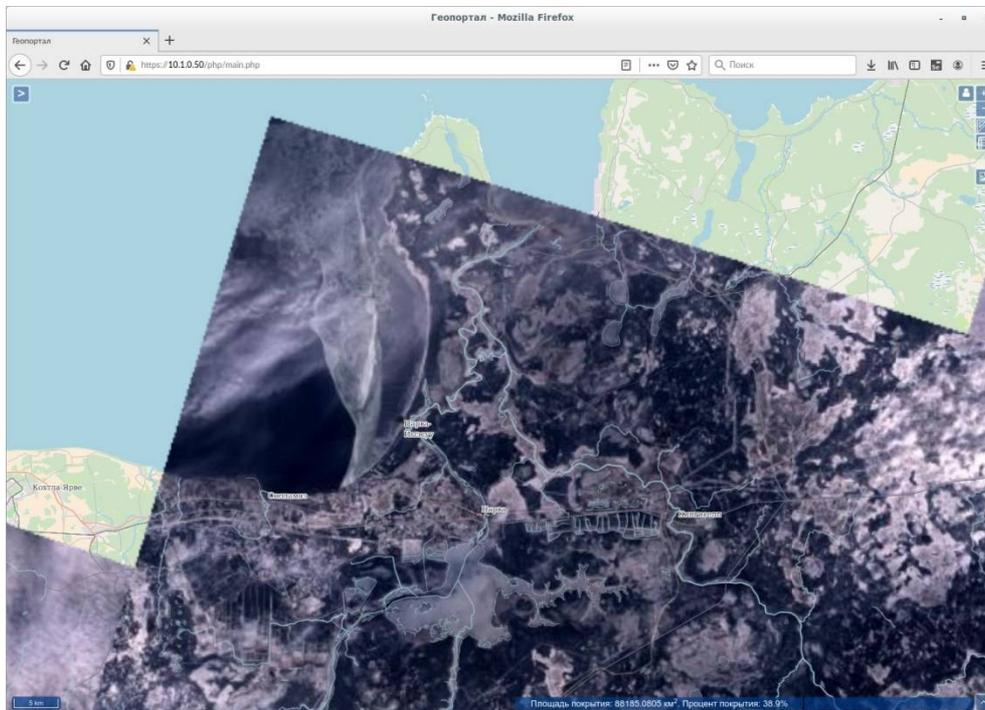


Рис. 3. Результат поиска видеоданных в БД архива спутниковых снимков с КА «Landsat-8» с применением алгоритма маскирования

Одной из функций геопортала является обработка архивных данных ДЗЗ. Для получения обработанных спутниковых снимков пользователю необходимо составить задание на обработку. Обязательными условиями для формирования задания на обработку являются наличие на геоподложке региона интереса и найденные архивные маршруты съёмки.

После составления задание отправляется на веб-сервер и сохраняется в БД пользователей геопортала. Пользователь может наблюдать за ходом выполнения задания на обработку в личном кабинете. Модуль обработки заданий сервера обработки [1] отслеживает появление новых записей в БД пользователей геопортала. При появлении такой записи для каждого снимка в задании сервер обработки автоматически скачивает из облачного хранилища «Landsat-8» GeoTIFF-изображения красного, синего и зелёного спектральных каналов видимого диапазона в исходном разрешении. После этого модуль обработки задания объединяет каналы снимка в единое изображение, трансформирует его в заданную систему координат, формирует альфа-канал снимка на основе алгоритма сегментации FloodFill [7], объединяет между собой полученные изображения и обрезает сформированный продукт по региону интереса. После получения результата сервис обработки данных запускает процедуры сжатия обработанных изображений в ZIP-файл, который в дальнейшем может быть скачан пользователем на локальное устройство и подготовки изображения для обеспечения возможности его просмотра непосредственно в геопортале. После выполнения этих процедур в личном кабинете пользователя появляется уведомление о выполнении задания. На рисунке 4 показан результат выполнения задания на обработку архивных снимков КА «Landsat-8».

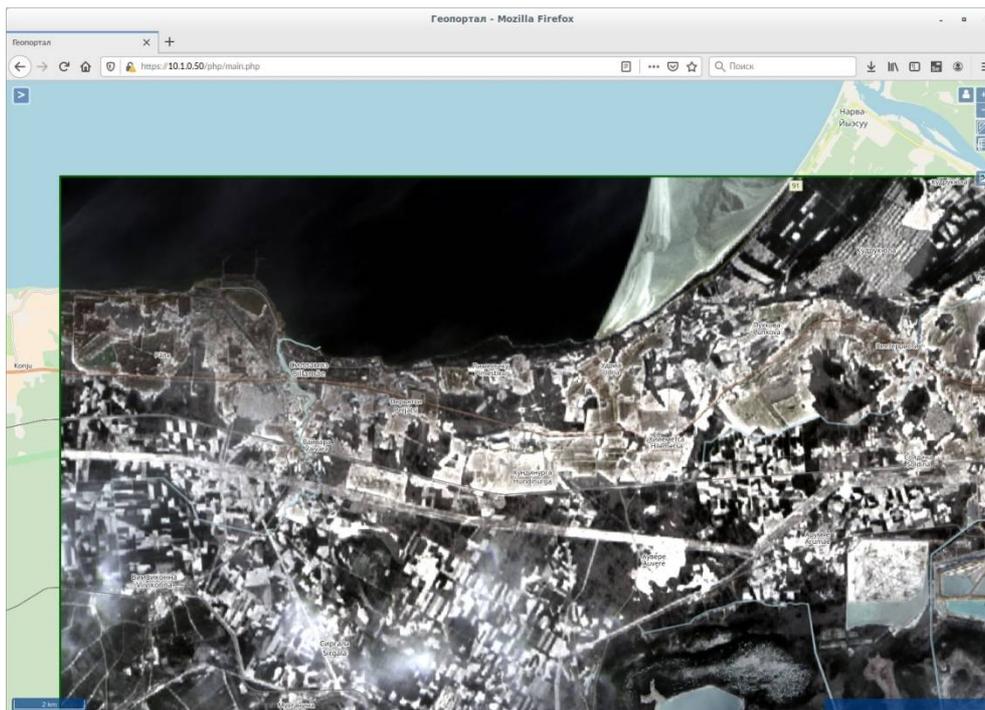


Рис. 4. Детальное изображение с результатом выполнения задания на обработку архивных снимков КА «Landsat-8»

Проведенная интеграция данных, полученных с КА «Landsat-8», в геоportal спутниковых снимков позволяет продемонстрировать функциональные возможности разрабатываемого сервиса, а также показать возможность интеграции в него спутниковых данных, полученных от различных космических систем с разнотипной съёмочной аппаратурой. Это, в свою очередь, позволяет предоставить доступ потребителям спутниковых снимков к данным широкого спектра и разнородной формы применения в рамках единого геосервиса. Автоматическая обработка архивных спутниковых изображений и просмотр снимков в исходном пространственном разрешении являются одними из существенных преимуществ геоportала, которые отсутствуют у существующих сервисов-аналогов. Введение в эксплуатацию данного геоportала повысит востребованность и увеличит эффективность использования данных ДЗЗ потребителями спутниковой информации.

Библиографический список

1. Кузнецов А.Е., Кочергин А.М., Ларюков С.А. WEB-технологии организации обработки и обеспечения потребителей данными ДЗЗ / А.Е. Кузнецов, А.М. Кочергин, С.А. Ларюков // Цифровая обработка сигналов. – 2020. – №3. – С.3 – 8.
2. Кочергин А.М., Ларюков С.А. Геоportal с использованием технологий облачной обработки и хранения данных ДЗЗ / А.М. Кочергин, С.А. Ларюков // Информатика и прикладная математика. – 2019. – №25. – С.60 – 65.
3. Глобальный архив «Landsat-8» [Электронный ресурс]. — URL: <https://landsat-pds.s3.amazonaws.com>. – Дата доступа: 15.01.2021.
4. LandsatDataContinuityMission [Электронный ресурс]. — URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-8-ldcm>. – Дата доступа: 15.01.2021.
5. LandsatOnAWS [Электронный ресурс]. — URL: https://landsat-pds.s3.amazonaws.com/c1/L8/scene_list.gz. – Дата доступа: 15.01.2021.
6. Спецификация RFC 6455 [Электронный ресурс]. — URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc6455>. Дата доступа: 14.10.2020.
7. Smith, Alvy Ray Tint Fill. Proceedings of the 6th annual conference on Computer graphics and interactive techniques / SIGGRAPH – 1979 – С.276 –283.

УДК 528.7; ГРНТИ 89.57.35

СКВОЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ СТЕРЕОСЪЁМКИ

А.Е. Кузнецов, В.И. Пошехонов, Н.А. Райков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. В статье представлено описание процесса картографирования Земли с использованием снимков, полученных в результате стереосъёмки. Кратко описаны используемые алгоритмы, лежащие в основе обработки стереоданных, и приведены результаты работы данного процесса.

Ключевые слова: стереосъёмка, стереообработка, картографирование, цифровая модель рельефа (ЦМР), цифровая модель местности (ЦММ), эпиполярное выпрямление, карта диспарантности, ортотрансформирование.

END-TO-END MAPPING TECHNOLOGY OF THE EARTH SURFACE ON STEREO DATA

A.E. Kuznechov, V.I. Poshekhonov, N.A. Rajkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. This article describes the process of mapping the Earth using stereo photography images. The algorithms used, which underlie the processing of stereo data, are briefly described. The results of data processing by this process are shown.

Keywords: stereo shooting, stereo processing, mapping, digital elevation model (DEM), digital terrain model (DTM), epipolar transformation, disparity map, orthorectification.

Картографирование земной поверхности, т.е. построение карты суши в выбранной картографической проекции, является одной из задач систем дистанционного зондирования Земли.

При съёмке местности космическим аппаратом (КА) полученные изображения подвергаются различным сюжетным геометрическим искажениям, которые связаны с наличием неравномерного рельефа, а также с различными углами и времени съёмки. Данные искажения устраняются на этапе ортотрансформирования, на котором выполняется трансформация изображений в картографическую проекцию с использованием высот из цифровой модели рельефа (ЦМР). Традиционно для выполнения картографирования в качестве ЦМР используются цифровые модели SRTM различной точности – 30, 3 или 1 угловых секунд (пространственное разрешение – 900, 90 и 30 метров/пиксель соответственно). Однако, при картографировании малонаселённых и городских районов точности и детальности существующих ЦМР оказывается недостаточно.

Целью настоящей работы является разработка информационной технологии картографирования земной поверхности с использованием цифровых моделей местности (ЦММ), получаемых в результате обработки стереоснимков наблюдаемой территории.

Процесс картографирования

Исходными данными для процесса картографирования являются данные уровня обработки 1 – радиометрически выровненные ориентированные сшитые изображения. Данные стереосъёмки представляют собой стереопару – два изображения уровня обработки 1, которые являются изображениями одной и той же местности, снятые космическим аппаратом с разных углов съёмки.

Процесс построения карты земной поверхности с использованием данных стереосъёмки состоит из 2-х основных этапов:

1. Построение ЦММ снимаемой поверхности по двум изображениям стереопары.

2. Формирование карты поверхности с использованием сформированной ЦММ.

Первый этап состоит из следующих операций:

- Эпиполярное выпрямление – трансформирование сшитых изображений стереопары в общую растровую систему координат (СК), в которой отклонения одноимённых точек между двумя изображениями стереопары вдоль одной из осей становятся минимальными.

- Построение карты диспарантности – вычисление смещений в растре между координатами одной и той же точки поверхности на изображениях стереопары. Необходимость вычисления карты диспарантности связана с тем, что оба изображения стереопары имеют искажения друг относительно друга, вызванные различными углами и временем съёмки, а также различным освещением.

- Построение ЦММ – вычисление высот снимаемой местности с использованием карты диспарантности.

Второй этап заключается в формировании ортопланов – трансформации одного или обоих снимков стереопары в картографическую проекцию с использованием полученной ЦММ.

Результатом процесса картографирования являются одно или два изображения снимаемой поверхности в картографической проекции, которые могут использоваться потребителями для решения своих задач. Помимо этого, если для решения задач потребителей требуется информация о высотах объектов, то в качестве дополнительных результатов картографирования по результатам стереосъёмки могут использоваться данные промежуточных вычислений – сшитые изображения, ЦММ, а также анаглифическое изображение.

Эпиполярное выпрямление

Эпиполярное выпрямление – операция создания идеальной стереопары путём выполнения трансформации изображений в соответствии с эпиполярной геометрией: одноимённая точка на одном изображении обязательно должна находиться на прямой, называемой эпиполярной прямой, на другом изображении. Полностью соответствовать эпиполярной геометрии могут только перспективные изображения, имеющие один центр перспективы.

Камеры КА выполняют съёмку путём построчного сканирования земной поверхности и каждая строка имеет свой центр перспективы [1]. В связи с этим эпиполярные линии на спутниковых снимках не являются прямыми, и процедура их выпрямления представляет собой нетривиальную задачу.

В описываемом процессе картографирования предлагается алгоритм выпрямления эпиполярных линий путём их аппроксимации, состоящий из следующих шагов:

- 1) На каждом из изображений идеальной стереопары формируется сетка из небольшого количества пикселей, после чего каждый пиксель из узла сетки проецируется несколько раз на другое изображение с использованием различных высот – данные спроецированные точки для узла сетки лежат на одной эпиполярной линии.

- 2) Для всех точек, полученных на предыдущем шаге (точки узлов сетки и соответствующие им спроецированные точки), определяются их координаты (m, n) в картографической проекции, построенной с использованием средней высоты маршрута.

- 3) По полученным картографическим координатам формируются аппроксимирующие функции (полиномиальные функции 3-го порядка) $y'' = f_y(m, n)$, $x'' = f_x(m, n)$, определяющие правила преобразования изображений в одну растровую СК идеальной стереопары.

- 4) Для трансформации сшитых изображений в СК идеальной стереопары по обратному закону вычисляются обратные функции $m = f^{(-1)}_x(x'', y'')$ и $n = f^{(-1)}_y(x'', y'')$ для аппроксимирующих полиномов.

Коэффициенты полиномов вычисляются с помощью метода наименьших квадратов путём минимизации невязок между точками узлов сети одного изображения и соответствующим им спроецированным точкам другого изображения вдоль вертикальной оси.

Полученные полиномы позволяют трансформировать оба сшитых изображения стереопары в одну СК таким образом, чтобы разница между одноимёнными точками вдоль вертикальной оси была минимальна, формируя идеальную стереопару.

Построение карты диспарантности

Операция построения карты диспарантности представляет собой процедуру поиска точного координатного соответствия одноимённых пикселей между двумя изображениями идеальной стереопары $A(m, n)$ и $B(m', n')$, $m = \overline{1, M}$, $n = \overline{1, N}$, $m' = \overline{1, M}$, $n' = \overline{1, N}$. Карта диспарантности является массивом смещений растровых координат пикселей одноимённых точек первого изображения относительно второго изображения вдоль строчного и кадрового направлений: $D(m, n) = (d_m, d_n) = (m - m', n - n')$.

В настоящее время самым точным алгоритмом, лежащим в основе операции построения карты диспарантности, является алгоритм полуглобального сопоставления (Semi-GlobalMatching, SGM) [2]. Он основан на идее 1D-минимизации энергии вдоль 8-и направлений анализа пикселей изображения (2-х вертикальных, 2-х горизонтальных и 4-х диагональных) для каждой диспарантности в окне минимизации [3].

В качестве значения энергии используется значение нормализованной кросс-корреляционной функции между пикселями двух изображений, приведённое к диапазону $[0..v_{\max}]$, где 0 и v_{\max} – значения, соответственно, наилучшего и наихудшего сопоставлений.

1D-минимизация выполняется с помощью рекурсивного накопления энергии вдоль направления анализа пикселей с помощью метода динамического программирования [4]. При накоплении энергии в зависимости от размера смещений между двумя соседними пикселями вдоль направления анализа к значениям энергии добавляются штрафы P_1 и P_2 ($P_1 < P_2$), которые сглаживают резкие изменения диспарантностей у соседних пикселей. Штраф P_1 добавляется при изменении диспарантности между соседними пикселями 1-го изображения стереопары на 1 пиксель, штраф P_2 – при изменении диспарантности более чем на 1 пиксель.

После выполнения минимизации по 8-и направлениям накопленные энергии, называемые также ценами сопоставления, для каждого пикселя и каждой диспарантности суммируются и в качестве итоговой диспарантности пикселя берутся диспарантности с минимальной суммарной ценой.

Указанная минимизация накладывает на карту диспарантности требование гладкости – штрафы P_1 и P_2 позволяют фильтровать на карте диспарантности резкие перепады смещений, означающие резкие перепады высот на цифровой модели.

Построение ЦММ

Операция построения цифровой модели местности обеспечивает вычисление высот местности для всех точек в области перекрытия снимков стереопары. Связь между одной точкой местности на разных изображениях стереопары определяется картой диспарантности.

Алгоритм операции построения ЦММ состоит из следующих основных этапов:

1. Каждая точка из пары одноимённых точек проецируется на исходные сшитые изображения с использованием обратных полиномов $f^{(-1)}_x$ и $f^{(-1)}_y$, вычисленных при выполнении операции эпиполярного выпрямления.

2. Для каждой точки из пары спроецированных точек определяется положение спутника и направление визирного луча.

3. Для каждой точки снимаемой поверхности определяются геодезические координаты как координаты точки середины отрезка минимальной длины, соединяющего визирные лучи одноимённых точек.

4. Путём проецирования геодезических координат точек, вычисленных на предыдущем шаге, на растровую сетку пикселей формируется растр ЦММ (проецирование выполняется с интерполяцией по ближайшему соседу и усреднением высот точек одного пикселя).

5. Интерполяция пустых областей растра ЦММ медианным фильтром.

Формирование ортоплана

Операция формирования карты заключается в трансформации изображений стереопары в картографическую проекцию – трансформация выполняется по обратному закону с использованием известных функций пересчёта геодезических координат в картографические с учётом высот построенной ЦММ. Функции пересчёта координат работают по принципу трёхмерной кусочно-линейной аппроксимации [5].

Описанный в статье процесс картографирования земной поверхности в настоящее время реализован в виде программного решения. Для демонстрации работы процесса используется стереопара, составленная из снимков г. Финикс (США), которые были получены КА «Ресурс-П» с углом конвергенции $\sim 60^\circ$.

На рисунках 1 и 2 представлены фрагменты исходных данных и результаты работы процесса. На представленных ортопланах видно, что в целом их ориентация соответствует ортоплану из GoogleMaps – дороги и здания ориентированы одинаково. Однако стены и крыши многоэтажных зданий искажены пропорционально высоте объектов. Это связано в первую очередь с наличием областей затенения сюжета и перекрытия высотными объектами рельефа и друг друга – в данных областях не могут быть корректно идентифицированы одноимённые точки на стереопаре и, соответственно, не могут быть правильно определены высоты для ЦММ. Это приводит к усреднению диспарантности в этих областях в соответствии с требованием гладкости.

Для решения этой проблемы предлагается фильтрация таких объектов местности и областей перекрытия, обеспечивающая переход от ЦММ к цифровой модели рельефа.



а



б

Рис. 1. Исходные данные для процесса картографирования(фрагмент 1):
а, б – сшитые изображения стереопары уровня обработки 1

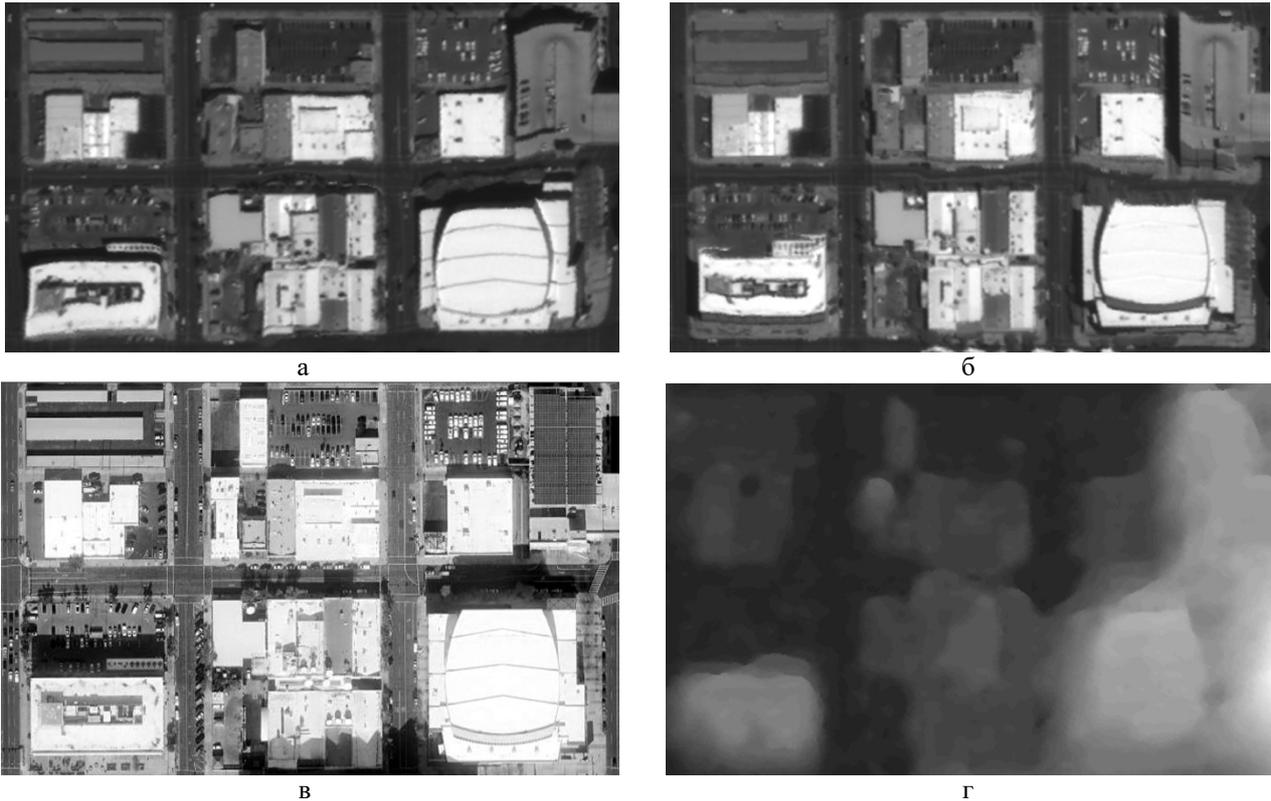


Рис. 2. Результат работы процесса картографирования (фрагмент 1): а, б – ортопланы, полученные из сшитых изображений с использованием исходной ЦММ; в – ортоплан из сервиса GoogleMaps; г – исходная ЦММ, построенная в результате картографирования (перепад высот – 296-333 метра)

В качестве демонстрации идеи улучшения качества ортоплана путём фильтрации объектов на ЦММ предлагается следующий простой алгоритм преобразования ЦММ в ЦМР:

- 1) Фильтрация ЦММ «по минимуму» – каждая высота в ЦММ заменяется на минимальную высоту в окне 21x21 метр – на данном этапе выполняется сглаживание ЦММ путём удаления объектов местности размером меньше половины окна.
- 2) Масштабирование сглаженной ЦММ до разрешения SRTM1” (30 метров/пиксель) путём прореживания растра ЦММ – на данном этапе удаляются большие по высоте инженерные объекты местности.
- 3) Фильтрация масштабированной ЦММ «по минимуму» в окне 7x7 метров – на данном этапе удаляются оставшиеся большие объекты местности, которые не удалось удалить на предыдущих этапах.

На рисунке 3 представлены результаты ортотрансформирования 2-го изображения стереопары с использованием отфильтрованной ЦММ и ЦМР SRTM1”. Как видно из этих примеров, из указанных ортопланов ближе всего по качеству к эталонному ортоплану из GoogleMaps находится ортоплан, построенный по отфильтрованной ЦММ (рисунок 3.а).

Однако предложенный алгоритм имеет ряд ограничений, вызванных тем, что:

- 1) При выполнении фильтрации «по минимуму» рельефные высоты неправильно определяются в случае попадания окна на область с углублением (ямой).
- 2) Указанная фильтрация не учитывает наклон поверхности рельефа – в горной местности, при резком перепаде высот, ошибки фильтрации приводят к большим ошибкам в ЦМР. Это выражается на ортоплане в искажениях сюжета и в ошибках определения геодезических координат.

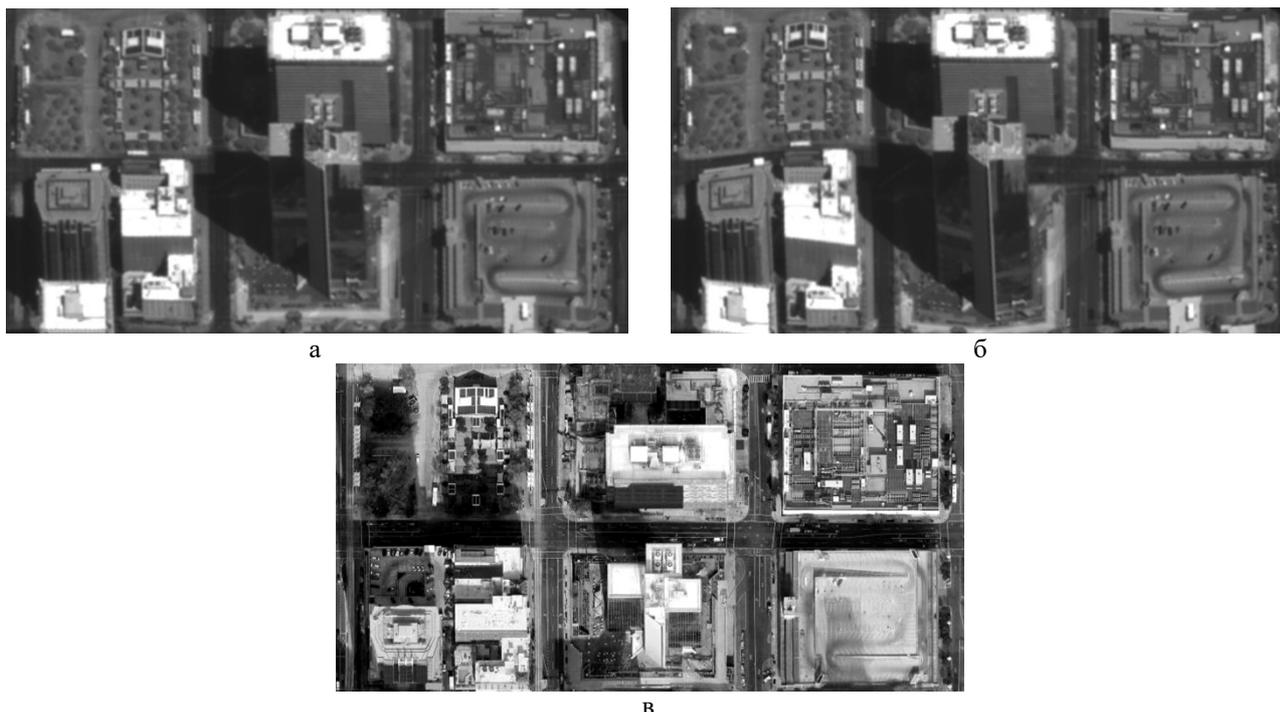


Рис. 3. Результат работы процесса картографирования (фрагмент 2): а, б – ортопланы, полученные путём ортотрансформирования 2-го изображения стереопары с использованием отфильтрованной ЦММ и ЦМР SRTM1” соответственно; в – ортоплан из сервиса GoogleMaps

Заключение

В статье представлен и кратко описан процесс картографирования земной поверхности с использованием стереоданных. Приведены реальные результаты работы этого процесса в виде фрагментов ортопланов. При этом отмечается, что полученная в ходе стереообработки высокдетальная ЦММ не подходит для формирования высокоточных ортопланов городских территорий. Предложен двухэтапный алгоритм фильтрации высотных объектов на ЦММ и преобразования последней к цифровой матрице рельефа. Это позволяет получать ортопланы лучшие по качеству, чем ортопланы, полученные с использованием ЦМР SRTM1”.

Решению проблемы улучшения качества фильтрации объектов местности на ЦММ будут посвящены будущие публикации.

Библиографический список

1. Kim T. A Study on the Epipolarity of Linear Pushbroom Images. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66(8):961-966, 2000. –pp. 961-966.
2. Hirschmuller H. Accurate and efficient stereo processing by semi-global matching and mutual information. – IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. № 2.
3. Кузнецов, А.Е. Идентификация одноименных точек на стереоснимках с использованием алгоритмов оптимизационного поиска. / А.Е. Кузнецов, В.И. Побаруев, В.И. Пошихонов // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. – Рязань, 2008. – С. 83-90.
4. Falkenhagen L. Depth estimation from stereoscopic image pairs assuming piecewise continuous surfaces – Workshop Image Processing for Broadcast and Video Production, 1994 – pp. 115-127.
5. Кузнецов, А.Е. Программный комплекс обработки информации от сканерно-кадровых съемочных систем КА «Канопус-В» и «БКА»/ А.Е. Кузнецов, В.И. Побаруев, В.И. Пошихонов, О.А. Пресняков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 11. №1. – Москва, 2014. – С. 287-300.

УДК 528.8; ГРНТИ 47.47

ОПТИМИЗАЦИЯ КАРТ-ПРОЕКЦИИ ДЛЯ НОРМАЛИЗОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СПУТНИКА «АРКТИКА»

В.В. Еремеев, Н.А. Егошкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, foton@rsreu.ru*

Аннотация. Работа посвящена выбору оптимальной картографической проекции для представления изображений от новой гидрометеорологической системы наблюдения с высокой эллиптической орбиты «Арктика-М». Анализируются условия съёмки с высокой орбиты, проблема сохранения пространственного разрешения. Показано, что использование широко распространенных стандартных проекций приводит к чрезмерному объему изображений. Предложены и исследованы проекции, представляющие материалы съёмки с наилучшим качеством при минимальном объёме данных.

Ключевые слова: геодезическая проекция, высокая орбита, геометрическая нормализация, пространственное разрешение, геометрические искажения.

OPTIMIZATION OF PROJECTION MAP FOR NORMALIZED IMAGES OF THE ARKTIKA SATELLITE

V.V. Eremeev, N.A. Egoshkin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, foton@rsreu.ru*

The summary. The work is devoted to the choice of the optimal cartographic projection for the presentation of images from the new hydrometeorological observation system from a high elliptical orbit "Arktika-M". The conditions for shooting from a high orbit, the problem of maintaining spatial resolution are analyzed. It is shown that the use of widespread standard projections leads to an excessive volume of images. Proposed and researched projections representing survey materials with the best quality with a minimum amount of data.

Keywords: geodetic projection, high orbit, geometric normalization, spatial resolution, geometric distortion.

Глобальные системы наблюдения Земли ориентированы на периодическое получение панорамных снимков Земли на фоне окружающего космоса при разрешающей способности съёмки порядка 1 км в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Существуют два вида подобных систем: геостационарные и полярно-орбитальные. Полярно-орбитальные системы позволяют получать данные с высоким пространственным разрешением, но они не достаточно оперативны. Геостационарные системы позволяют через каждые 5 - 30 минут получать снимки, поскольку спутник неподвижно «висит» в плоскости экватора над фиксированной точкой Земли. Однако пространственное разрешение максимально вблизи подспутниковой точки и убывает по мере удаления от экватора. Для России же стратегически важно наблюдение за приполярной областью (выше 60° с.ш.). В настоящее время на орбиту выведена не имеющая зарубежных аналогов система «Арктика-М» для съёмки земли с высокоэллиптической орбиты [1]. В ней съёмка будет осуществляться с орбиты типа «Молния» (наклонение 63°, апогей 39000 км, период обращения ~12 часов). Съёмка Земли осуществляется при нахождении спутника вблизи апогея (± 3.5 часа), а непрерывное наблюдение должно обеспечиваться парой спутников.

По характеристикам и принципам функционирования съёмочная аппаратура «Арктика-М» близка к аппаратуре геостационарных спутников, особенно российского «Электро-Л» №3. Исходные материалы съёмки не пригодны для использования потребителями. Они содержат существенные геометрические искажения, вызванные особенностями работы съёмочной системы (неравномерность вращения сканирующих зеркал, перемещение спутника по орбите, формирование изображения из множества отдельных частей – сканов). Поэтому перед выдачей потребителям материалы съёмки нуждаются в нормализации и представле-

нии в некоторой строго заданной геометрии, например, согласованной картографической проекции [1].

Для геостационарных систем информация распространяется в международном формате HRIT\LRIT в нормализованной геостационарной проекции [2]. Однако эта проекция на практике не применима для представления данных КС «Арктика-М», поскольку теряется детальность представления наиболее важных полярных областей. Кроме того, высота, широта и долгота спутника на высокой эллиптической орбите изменяются значительно сильнее, чем у геостационарного, это делает выбор проекции весьма сложной проблемой. Оптимальному решению задачи выбора картографической проекции для КС «Арктика-М» посвящена настоящая статья

Общие вопросы выбора картографической проекции

Проекция выходного изображения описывает связь между геодезическими координатами (λ, φ) и номерами пикселей (l, k) выходного изображения. Эту связь можно представить в виде композиции:

$$(\lambda, \varphi) = \mathbf{F}(\alpha, \beta), \quad (1)$$

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha l, \quad \beta = \beta_0 + \Delta\beta k, \quad (2)$$

где вектор-функция $\mathbf{F}(\alpha, \beta)$ описывает связь между геодезическими (λ, φ) и промежуточными картографическими координатами (α, β) , а параметры $\alpha_0, \Delta\alpha, \beta_0, \Delta\beta$ задают положение и шаг сетки дискретизации.

Множество значений (1) обозначим как Λ , это регион Земли, который в принципе может быть представлен на проекции \mathbf{F} . Для некоторых \mathbf{F} область Λ покрывается весь земной шар, для других – только некоторую часть.

В процессе работы съёмочной системы формируется изображение $B(m, n)$, координаты которого (m, n) определены на некоторой известной прямоугольной области M . Обозначим закон съёмки датчиком в виде вектор-функции $(\lambda, \varphi) = \mathbf{G}(m, n)$. Эта функция отображает M на некоторую область значений Φ , это регион Земли, видимый со спутника.

При выборе проекции \mathbf{F} желательно, чтобы она была известная, стандартная, знакомая потребителям и поддерживаемая ГИС-системами. Обычно стандартные карт-проекции Земли строятся исходя из минимума геометрических искажений заданного региона Земли, а их разнообразие вызвано невозможностью полной компенсации искажений. Для систем глобального наблюдения критерий минимума искажений применим только при задании достаточно малого (намного меньше Φ) региона интереса.

Более важно, чтобы проекция выходных продуктов без потерь представляла исходные материалы съёмки. Возникающие при этом геометрические искажения изображения Земли обычно не важны: потребители всё равно преобразуют исходные изображения в требуемые ими проекции. От стандартного продукта в этом случае требуется не ухудшить качества использования изображений потребителями по сравнению с исходными материалами съёмки. При этом ключевыми являются два вопроса:

1. Полнота представления материалов съёмки на проекции, т.е. выполнено ли условие $\Phi \subseteq \Lambda$. А также избыточность этого представления, т.е. является ли прообраз Q для области $\Phi \cup \Lambda$ при отображении (1), (2) ограниченным и насколько площадь описанного вокруг Q прямоугольника больше площади Q .

2. Сохранение пространственного разрешения съёмки при нормализации. Этот вопрос сложный и рассматривается ниже отдельно.

Следует учитывать, что для высокоорбитальной системы закон съёмки G не остаётся постоянным от съёмки к съёмке. Поэтому G и Φ зависят от некоторого вектора параметров p . Обозначим их как G_p и Φ_p . Тогда можно выбирать параметры проекции q в зависимости от p (параметризуя F как F_q), но при этом затрудняется сопоставление материалов отдельных съёмок. Либо можно требовать выбор q , удовлетворяющий некоторому семейству $p \in P$, например, рассматривая $\Phi = \bigcup_{p \in P} \Phi_p$.

Стандартные карт-проекции, не учитывающие особенности глобального наблюдения

Для представления изображений в проекции необходимо обеспечить сохранение разрешения исходных изображений. Однако это может потребовать увеличения объёма изображения из-за передискретизации, характеризуемого коэффициентом γ .

Можно показать, что для систем глобального наблюдения имеется простое достаточное условие сохранения разрешения: карт-проекция должна обеспечивать разрешение по земле не хуже, чем разрешение съёмки в подспутниковой точке. И без специального согласования проекции и геометрии съёмки это лучшее, на что можно рассчитывать. Можно показать, то отсюда следует в лучшем случае $\gamma=2$, но в реальности потери будут значительнее.

Рассмотрим, например, проекции из международной спецификации HRIL/LRIT. Выдача стандартных продуктов системы «Арктика-М» в формате HRIL/LRIT позволила бы сохранить преемственность и совместимость с геостационарными системами. Помимо нормализованной геостационарной проекцией, спецификацией поддерживается проекция Меркатора и полярная стереографическая (центром проекции должен быть северный или южный полюс Земли).

Проекция Меркатора бесконечно растягивает полярные области, прообраз Q не ограничен и поэтому на ней невозможно отобразить ключевой регион интереса (арктику).

Полярную стереографическую проекцию без искажений представляет полярные области. Для её исследования задавались предполагаемые параметры орбиты «Арктика-М» и моделировалось изменение положения спутника в процессе съёмки, а также процесс съёмки датчиком МСУ-ГС. На интервале времени ± 3.5 часа от апогея изменение долготы подспутниковой точки составило $\pm 2^\circ$ от номинальной долготы, зависящей от выбора долготы восходящего узла орбиты для каждого спутника. Широта меняется от 51° до 63° с.ш., высота над Землей от 27000 до 36000 км, видимый диаметр Земли от 19° до 28° .

Наиболее существенно изменение высоты и видимого диаметра Земли. Поле зрения датчиков МСУ-ГС $\sim 20^\circ \times 20^\circ$, поэтому в начале и конце рабочего участка масштаб наблюдения более детальный (разрешение 0,8 км), но земля представлена не полностью. Ближе к апогею разрешение съёмки падает (до 1,1 км), но земля полностью видна.

Для полярной стереографической проекции при удалении от полюса идет растяжение изображения и затруднительно даже полностью уместить видимую часть земли. Это растяжение формально не мешает сохранению исходного разрешения снимков, но делает его крайне избыточным и не применимым на практике.

Проекции, хорошо согласованные с условиями глобального наблюдения

Потребители информации геостационарных систем пользуются нормализованной геостационарной проекцией, которая описывает вид на идеальную землю с виртуального спутника. При этом виртуальный спутник располагается в плоскости экватора на фиксированной высоте. Для совместимости можно обобщить эту проекцию до проекции виртуально-

го спутника, где расположение (вектор \mathbf{R}_0) и ориентация (орты ξ, ζ, η) спутника могут быть заданы произвольно (рис. 1).

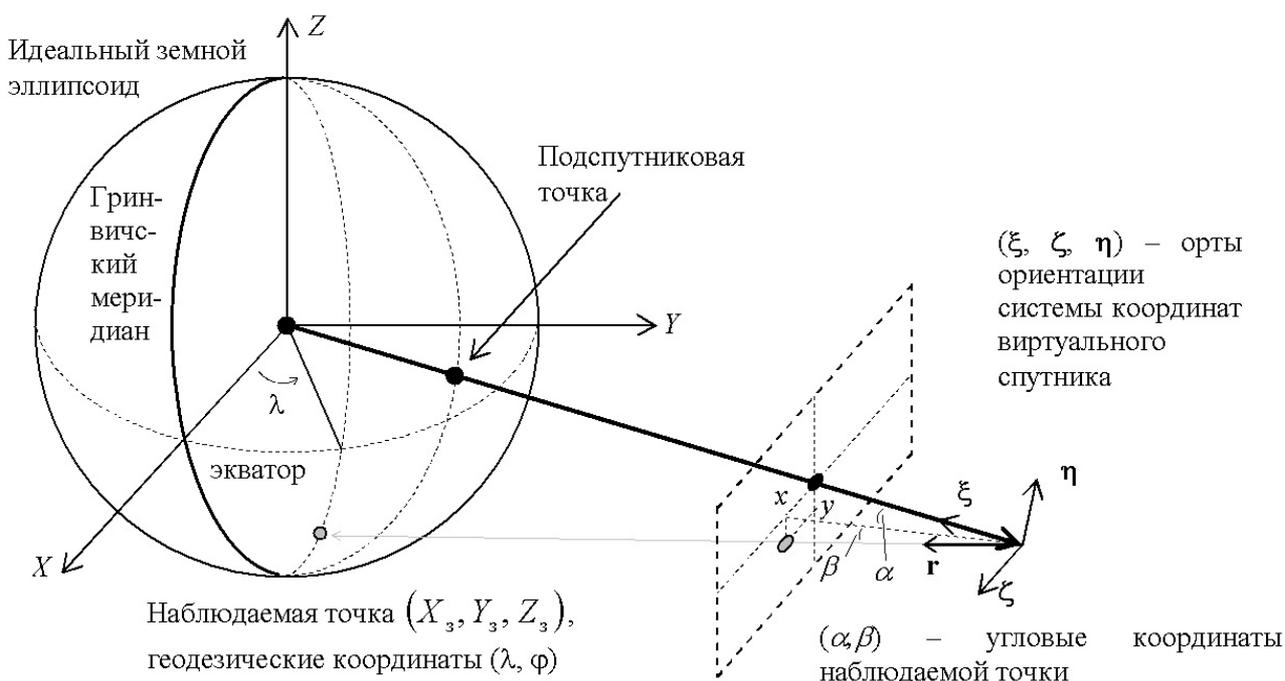


Рис. 1. Геометрия съёмки Земли виртуальным спутником

Переход от углов визирования (α, β) виртуального спутника к геодезическим координатам (λ, φ) при известных параметрах \mathbf{R}_0 и $\mathbf{M}_0 = (\xi : \zeta : \eta)$ выполняется в виде последовательности следующих действий.

1) Определяется направляющий вектор визирующего луча в системе координат виртуального спутника ξ, ζ, η (см. рис. 3):

$$\mathbf{r}_{ВСК} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta \\ \sin \alpha \cos \beta \\ -\sin \beta \end{pmatrix}. \quad (3)$$

2) Определяется направляющий вектор визирующего луча в гринвичской системе координат XYZ как

$$\mathbf{r} = \mathbf{M}_0 \mathbf{r}_{ВСК}. \quad (4)$$

3) Определяется точка $\mathbf{P}_3 = (X, Y, Z)$ пересечения прямой, проходящей через точку \mathbf{R}_0 в направлении \mathbf{r} , с идеальным земным эллипсоидом из решения системы уравнений:

$$(\mathbf{P}_3 - \mathbf{R}_0) \times \mathbf{r} = 0, \quad \frac{X^2 + Y^2}{a_3^2} + \frac{Z^2}{b_3^2} = 1, \quad (5)$$

где $a_3 = 6378.1690$ км, $b_3 = 6356.5838$ км – параметры идеального эллипсоида.

Если не существует вещественного решения (5), то точка (α, β) не имеет образа на Земной поверхности, для неё геодезические координаты не определяются. В противном случае для точки \mathbf{P}_3 находятся геодезические координаты:

$$\lambda = \operatorname{arctg}(Y/X), \quad \varphi = \operatorname{arctg}\left(Z \frac{a_3^2}{b_3^2} / \sqrt{X^2 + Y^2}\right). \quad (6)$$

В формуле (6) для λ необходимо учитывать знаки X и Y для корректного получения значения угла λ в пределах от $-\pi$ до π .

В проекции виртуального спутника можно для каждого кадра выбирать положение и ориентацию виртуального спутника близкими к реальным при съёмке каждого кадра. Тогда ввиду близости \mathbf{G} и \mathbf{F} , композиция (3) близка к тождественной, а коэффициент избыточности $\gamma \approx 1$. Это означает наиболее экономичное представление изображений в плане пространственного разрешения и практически без избыточности.

С другой стороны, сходство \mathbf{G} и \mathbf{F} не идеальное. Реальный спутник движется по орбите в процессе съёмки, идеальный строго неподвижен. Также у виртуального спутника фиксированное угловое разрешение, а у сканирующих датчиков типа МСУ-ГС закон съёмки более сложный, например, в видимом диапазоне по одной оси за счет сканирующего зеркала угловое разрешение фиксированное, но по другой оси уже нет, так как съёмка ведется линейкой фотоприёмников.

Поэтому, строго говоря, полнота представления материалов съёмки на данной проекции нарушена, $\Phi \cup \Lambda \subset \Phi$. Но это касается самых краёв изображений и может считаться не существенным. Тем не менее, может быть поставлен вопрос о выборе проекции с большим регионом съёмки, удовлетворяющим $\Phi \subseteq \Lambda$. Эта же задача стоит, если на одной проекции необходимо отображать материалы различных съёмок.

Другой аспект – ориентация виртуального спутника. Во-первых, можно использовать «естественную» ориентацию, при которой северный полюс располагается сверху. Однако ориентация реального спутника солнечно-земная [1], а значит значительно изменяется за 7 часов съёмки. Поскольку поле зрения МСУ-ГС прямоугольное, то для сохранения всей исходной информации может понадобиться увеличение размера изображения. Во-вторых, можно задавать ориентацию виртуального спутника, как у реального. Это наиболее экономично, но положение полюса будет произвольным. На рисунке 2 показаны соответствующие модельные изображения для начала, середины и конца съёмки. Моделировалось изменение освещенности Земли Солнцем в предположении прохождения спутником апогея в местный полдень.



Рис. 2. Ориентация изображений в проекции виртуального спутника в соответствии с реальной солнечно-земной ориентацией КА «Арктика-М»

К сожалению, в настоящее время проекция виртуального спутника не является стандартной и пока не поддерживается ведущими ГИС.

Из известных стандартных проекций наиболее близкой является проекция вертикальной ближней перспективы (near-sided perspective projection), рисунок 3, слева. При задании центра перспективы, соответствующим положению спутника при съёмке, она аналогич-

на проекции виртуального спутника, однако этот спутник регистрирует не угловые координаты точек земли α, β , а проективные в плоскости x, y (см. рис. 1). Для глобальных систем наблюдения углы визирования малы и разница не существенная. Данная проекция поддерживается широко используемой библиотекой proj.4, но не входит в реестр EPSG и не обязательно поддерживается спецификацией geotiff. Также недостаток – невозможность произвольного задания ориентации виртуального спутника (это, увы, не предусмотрено стандартом).



Рис. 3. Принципы представления изображений в проекции вертикальной ближней перспективы (слева) и ортографической проекции (справа)

Также достаточно близкая проекция – ортографическая проекция (Orthographic projection), рисунок 3, справа. Она представляется собой предельный случай бесконечного удаления виртуального спутника. Она поддерживается библиотекой proj.4 и спецификацией geotiff (номер 9840 в реестре EPSG). Поскольку положение виртуального спутника не соответствует реальному, то неизбежна избыточность. Из анализа геометрии съёмки можно показать, что избыточность $\gamma \approx 1.47$. Заметим, что представимая на данной проекции область земли несколько больше, чем видимая со спутника, что частично решает проблему полноты.

Следует также отметить проекции, позволяющие расширить наблюдаемый регион Земли для представления материалов съёмки нескольких сеансов. Это, например, проекция вертикальной дальней перспективы. Также можно расширить проекцию виртуального спутника, искусственно проецируя землю на сферу большего радиуса (проекция «дутой сферы»). В виду избыточности (хотя и меньшей, чем у проекций общего вида) эти проекции не оптимальны для выдачи выходных продуктов. Но они могут быть использованы для геодезической привязки внутри программы нормализации, и для сопоставления соседних кадров на этапе летных испытаний.

Заключение

Для представления выходных продуктов новой российской системы «Арктика-М» теоретически могут быть использованы известные картографические проекции, например, полярная стереографическая. Однако в общем случае для представления исходных изображений без потерь исходного разрешения необходимо увеличение объёма выходных продуктов в 2 раза и более. Поэтому целесообразно использовать только проекции, согласованные с условиями наблюдения с высокой эллиптической орбиты. При этом параметры проекции должны выбираться индивидуально для каждого кадра, поскольку изменение высоты КА с 36000 до 27000 км приводит к изменениям масштаба и наблюдаемого региона. В качестве подходящей проекции предложено использовать новую проекцию «виртуального спутника», обобщающую известную нормализованную геостационарную проекцию геостационарных спутников. Однако она не является стандартной и не поддерживается известными GIS. Исследованы ещё два варианта стандартных проекций: проекции вертикальной ближней перспективы и ортографическая. Показано, что первая может быть использована, однако она вообще говоря не поддерживается спецификацией geotiff. Ортографическая проекция поддерживается ведущими GIS, но при этом возникает избыточностью $\sim 47\%$.

Библиографический список

1. Гектин Ю.М., Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москатиный И.В., Смелянский М.Б. Базовое геометрическое обеспечение систем наблюдения Земли с геостационарных и высокоэллиптических орбит // Исследование Земли из космоса, 2016. №6. С. 68-81.
2. LRIT/HRIT Global Specification. CGMS 03. Issue 2.6. Coordination Group for Meteorological Satellites. August 1999.

УДК 004.5; ГРНТИ 27.43.51

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА T-SNE ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

А.О. Бодров

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Российская Федерация, antonybodrov@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается использование метода t-SNE для кластеризации данных, производится сравнение метода t-SNE с другими распространёнными методами понижения размерности и визуализации данных

Ключевые слова: t-SNE, кластеризация, визуализация, многомерные данные

APPLICATION OF THE T-SNE METHOD FOR VISUALIZATION AND CLUSTERIZATION OF MULTIDIMENSIONAL DATA

A.O. Bodrov

*Lomonosov Moscow State University,
Russian Federation, antonybodrov@mail.ru*

Abstract. The paper discusses the use of the t-SNE method for data clustering, and compares the t-SNE method with other common methods for reducing the dimension and visualizing data

Keywords: t-SNE, clustering, visualization, multidimensional data

Введение

Стохастическое вложение соседей с t-распределением (англ. t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding, t-SNE) — метод визуализации данных высокой размерности с помощью представления каждой точки данных в двух или трехмерном пространстве, являющийся модификацией метода стохастического вложения соседей.

Значительное число традиционных методов визуализации представляет многомерные данные как графы, где каждая вершина данных — это одно из пространств. Такое представление может допускать различную интерпретацию. К указанным методам можно отнести метод PCA (Principal Components Analysis). Метод t-SNE преобразует многомерный набор данных $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в двумерный или трёхмерный набор данных $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Такие данные могут быть представлены в виде диаграммы рассеяния, что облегчает интерпретацию данных.

Множество нелинейных методов понижения размерности предоставляет возможность сохранить внутреннюю структуру данных. К данным методам можно отнести Stochastic Neighbor Embedding (SNE, 2002), Isomap (2000), Sammon mapping (Sammon, 1969), Locally Linear Embedding (LLE, 2000), Maximum Variance Unfolding (MVU, 2004) и другие. Однако данные методы не могут сохранить и внешнюю, и внутреннюю структуры данных одновременно. Несмотря на хорошие результаты для искусственно созданных датасетов, данные методы плохо работают на реальных данных высокой размерности. Например, техника MVU не способна правильно разделить вручную написанные цифры на соответствующие им кластеры.

В данной статье будет продемонстрировано преимущество техники t-SNE над указанными выше техниками понижения размерности.

Метод стохастического вложения соседей (StochasticNeighborEmbedding)

Метод StochasticNeighborEmbedding (SNE) преобразует многомерные Евклидовы расстояния между точками в условные вероятности p_{ji} , которые отражают подобие

$$p_{ji} = \frac{\exp(-\|x_i - x_j\|^2 / 2\sigma_i^2)}{\sum_{k \neq i} \exp(-\|x_i - x_k\|^2 / 2\sigma_i^2)}.$$

Данная формула показывает, насколько близко друг к другу лежат точки x_i и x_j при распределении Гаусса вокруг x_i с заданным отклонением σ . При этом отклонение в каждой точке определяется с помощью оценки перплексии:

$$Perp(P_i) = 2^{H(P_i)},$$

где $H(P_i)$ – энтропия Шеннона.

Стандартное отклонение устанавливается как $1/\sqrt{2}$, далее вычисляется условная вероятность для точек двумерного пространства y_i и y_j , соответствующих точкам x_i и x_j из многомерного пространства с помощью следующей формулы:

$$g_{ji} = \frac{\exp(-\|y_i - y_j\|^2)}{\sum_{k \neq i} \exp(-\|y_i - y_k\|^2)}.$$

Если точки отображения y_i и y_j моделируют корректно подобие с точками x_i и x_j из многомерного пространства, то вероятности p_{ji} и q_{ji} будут эквивалентными. В данном случае качество оценивается с помощью минимизации суммы расстояний Кульбака-Лейблера. В качестве функции потерь для данного метода рассматривается следующая функция [1],[2]:

$$Cost \sum_i KL(P_i \| Q_i) = \sum_i \sum_j p_{ji} \log \frac{p_{ji}}{q_{ji}},$$

где $KL(P_i \| Q_i)$ – расстояние Кульбака-Лейблера между данной парой p_{ji} и q_{ji} .

Минимизация функции потерь осуществляется методом градиентного спуска. В данном случае градиент функции потерь будет представлять следующую формулу:

$$\frac{\partial Cost}{\partial y_i} = 2 \sum_j (p_{ji} - q_{ji} + p_{ij} - q_{ij})(y_i - y_j)$$

Несмотря на хорошие результаты классического SNE для значительного количества датасетов данный алгоритм имеет недостатки в области оптимизации функции потерь и имеет проблему скученности. Поэтому классический SNE получил дальнейшее развитие, в ходе которого был получен метод t-SNE.

Стохастическое вложение соседей с t-распределением (t-DistributedStochasticNeighborEmbedding)

В t-SNE (t-DistributedStochasticNeighborEmbedding) используется отличная от SNE функция потерь, которая представляется следующим образом:

$$Cost = KL(P \parallel Q) = \sum_i \sum_j p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{q_{ij}},$$

где $p_{ii} = q_{jj} = 0$, $p_{ij} = p_{ji}$, $q_{ij} = q_{ji}$ для любых i, j . Совместные вероятности p_{ij} , q_{ij} вычисляются по формуле:

$$p_{ij} = \frac{p_{ji} + p_{ij}}{2n},$$

где n – кол-во точек в датасете. При этом градиент функции потерь для t-SNE выражается значительно проще, чем для классического SNE:

$$\frac{\partial Cost}{\partial y_i} = 4 \sum_j (p_{ij} - q_{ij})(y_i - y_j).$$

Таким образом, близлежащие точки будут в некотором роде группироваться концентрированно, а удалённые – отталкиваться.

Сравнения методов кластеризации данных

Ниже приведены результаты сравнение метода t-SNE (рисунок 1, а) с методами Isomap (рисунок 1, b), Sammonmapping (рисунок 1,с), LLE (рисунок 1,д) на датасете MNIST [1]. База данных MNIST — объёмная база данных образцов рукописного написания цифр. Как видно из визуализации результатов, t-SNE существенно лучше выделяет кластеры для каждой из цифр по сравнению с другими методами.

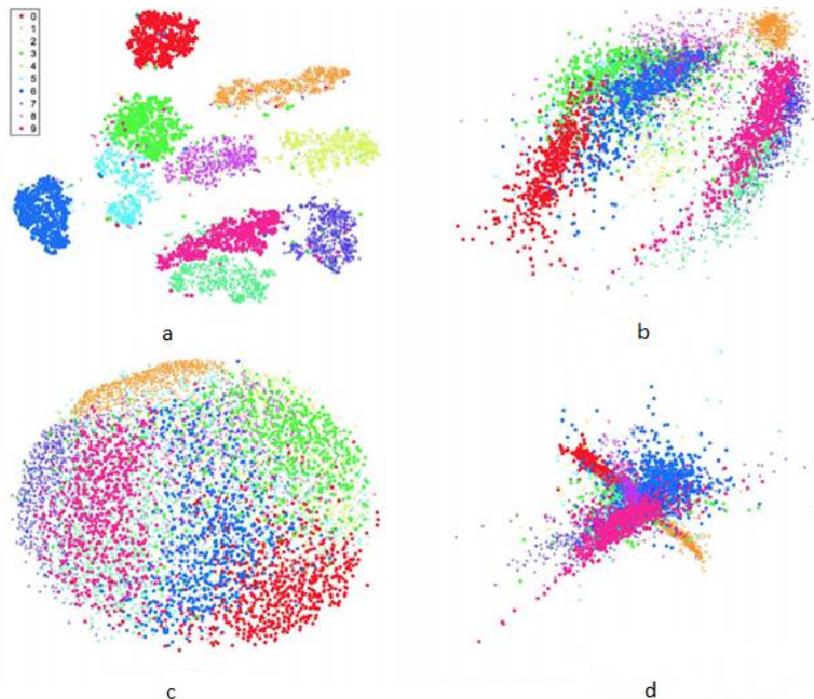


Рис. 1. Сравнение кластеризации методами t-SNE, Isomap, Sammonmapping, LLE

Проведём сравнение методов t-SNE и PCA на другом датасете с цифрами [3]:

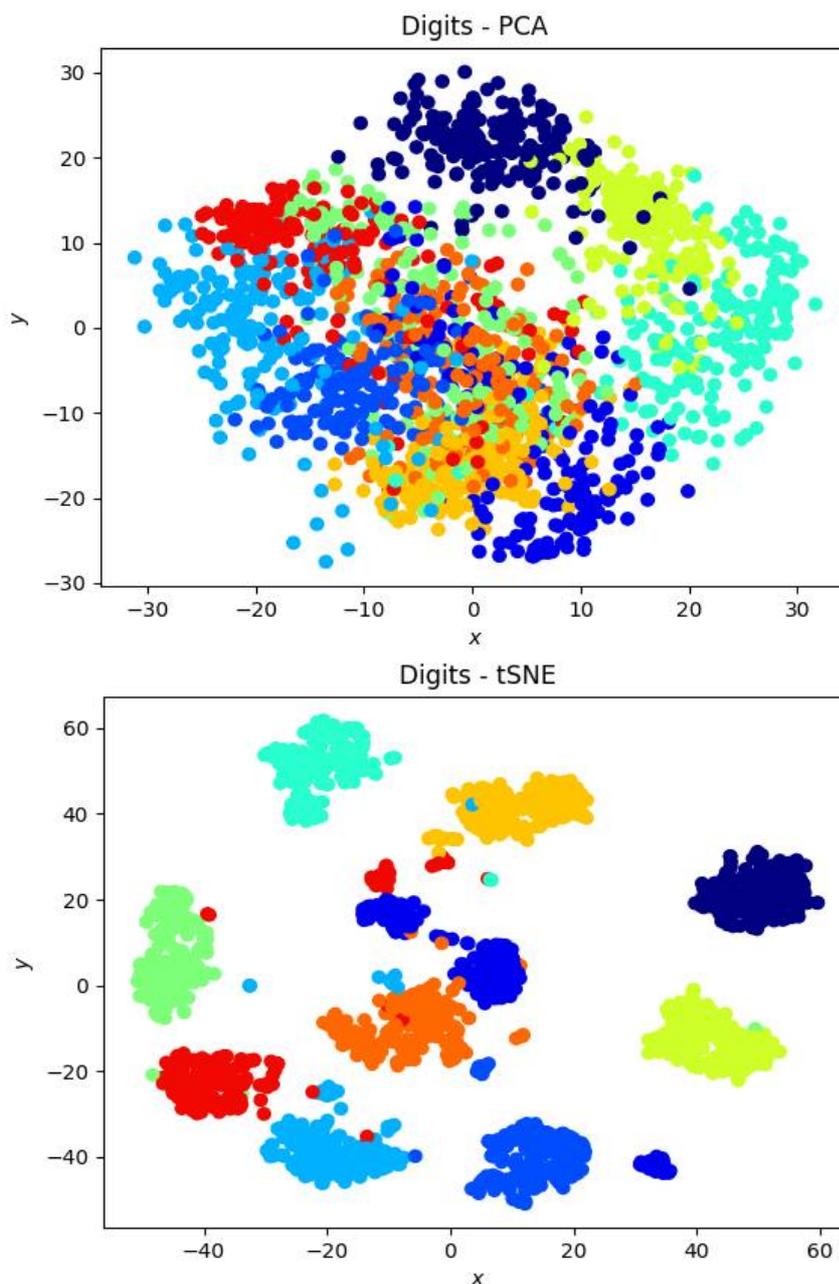


Рис. 2. Сравнение кластеризации методами PCA и t-SNE

Из анализа приведенных данных видно, что t-SNE лучше кластеризует данные при визуализации.

Таким образом в результате приведённых экспериментов можно сделать вывод, что метод t-SNE хорошо работает при понижении размерности и кластеризует многомерные данные.

Библиографический список

1. L.J.P. van der Maaten and G.E. Hinton. Visualizing Data Using t-SNE. Journal of Machine Learning Research 9(Nov):2579-2605, 2008.
2. Игорь Хмельков Препарируем t-SNE – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/267041/>. – Дата доступа: 01.03.2021.
3. tSNEvsPCA– Режим доступа: <https://www.thekerneltrip.com/statistics/tsne-vs-pca/>. – Дата доступа: 01.03.2021.

УДК 681.31; ГРНТИ 50.53

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ИНЖИНИРИНГА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЛАСТИ CALS (ИПИ)-ТЕХНОЛОГИЙ

А.И. Таганов, Н.В. Макарова, Д.Ф. Алимов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы построения системы дистанционного обучения для подготовки специалистов в области CALS (ИПИ)-технологий для решения профессиональных задач системного анализа и инжиниринга информационных процессов.

Ключевые слова: методическое обеспечение, CALS (ИПИ)-технологи, система дистанционного обучения

METHODOLOGICAL SUPPORT OF SYSTEM ANALYSIS AND INFORMATION PROCESS ENGINEERING IN THE FIELD OF CALS (IPI)- TECHNOLOGIES

A.I. Taganov, N.V. Makarova, D.F. Alimov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, alxtag@yandex.ru*

Annotation. The paper deals with the issues of building a remote learning system for training specialists in the field of CALS (IPI)-technologies for solving professional problems of system analysis and engineering of information processes.

Keywords: methodological support, CALS (IPI)-technologists, distance learning system

Современный этап информатизации и автоматизации промышленных предприятий и организаций оборонного профиля характеризуется насущной необходимостью внедрения CALS (ИПИ)-технологий [1-3]. Целью применения CALS является ускорение вывода на рынок новых образцов продукции, сокращение затрат на разработку, проектирование и производство, сокращение «стоимости владения» (т.е. совокупности затрат на поддержание в работоспособном состоянии) и улучшение качества на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) продукции, снижение рисков наукоемких проектов [4,6,8]. Концепция ИПИ-технологии представляют собой современную организацию процессов разработки, производства, эксплуатации и послепродажного сервиса высокотехнологичных изделий путем информационной поддержки процессов на основе стандартизации методов представления данных и безбумажного электронного обмена данными [5]. Эта концепция определяет набор правил, регламентов, стандартов, в соответствии с которыми строится информационное («электронное») взаимодействие участников процессов проектирования, производства, испытаний и т.д.

Обширная зарубежная и формируемая отечественная практика применения CALS (ИПИ)-технологий, как инструмента организации и информационной поддержки всех участников создания, производства и пользования продуктом, показывает, что повышение эффективности деятельности предприятий достигается за счет ускорения процессов исследования и разработки продукции, сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации продукции, повышения уровня сервиса в процессах ее технического обслуживания. Достаточно сказать, что многие тонны технической документации, используемой в традиционных технологиях разработки, создания и эксплуатации сложных машинотехнических комплексов, заменяются небольшим количеством дискет, содержащих ту же информацию, но в электронном виде. При этом гарантируется возможность связаться в диалоговом режиме с компьютерным центром завода-изготовителя и предприятиями-поставщиками комплектующих изделий по вопросам технического обслуживания и ремонта эксплуатируемой техники.

Для обеспечения процесса подготовки (переподготовки) специалистов по вопросам системного анализа и инжиниринга информационных процессов в области CALS (ИПИ)-

технологий в РГРТУ разработана и используется в учебном процессе специальная электронная информационно-образовательная среда («ЭИОС-CALS»), которая содержит достаточно актуальный комплект электронных учебников и руководств для сопровождения образовательного процесса [2,3,7]. В основу реализации автономной версии системы «ЭИОС-CALS» положена дистанционная технология представления профессиональных знаний, которая позволяет организовать дистанционное обучение в широкой аудитории обучаемых. В этом случае дистанционное обучение является формой получения образования, наряду с очной и заочной, при которой в образовательном процессе используются лучшие традиционные и инновационные методы, средства и формы обучения, основанные на компьютерных и телекоммуникационных технологиях. Образовательный процесс при дистанционном обучении основывается на целенаправленной и контролируемой интенсивной самостоятельной работе обучаемого, который может учиться в удобном для себя месте, по индивидуальному расписанию, имея при себе комплект специальных средств обучения и согласованную возможность контакта с преподавателем по факсу, телефону, электронной и обычной почте, а также в очной форме.

Практика применения системы «ЭИОС-CALS» в образовательном процессе на кафедре «Космические технологии» РГРТУ показала, что отличительными чертами современного этапа применения и развития дистанционного обучения являются:

- Гибкость. Возможность заниматься в удобное для себя время, в удобном месте и темпе. Нерегламентированный отрезок времени для освоения дисциплины.
- Модульность. Возможность из набора независимых учебных курсов - модулей формировать учебный план, отвечающий индивидуальным или групповым потребностям.
- Параллельность. Параллельное с профессиональной деятельностью обучение, т.е. без отрыва от производства.
- Охват. Одновременное обращение ко многим источникам учебной информации (электронным библиотекам, банкам данных, базам знаний и т.д.) большого количества обучающихся. Общение через сети связи друг с другом и с преподавателями.
- Экономичность. Эффективное использование учебных площадей, технических средств, транспортных средств, концентрированное и унифицированное представление учебной информации и мультидоступ к ней снижает затраты на подготовку специалистов.
- Технологичность. Использование в образовательном процессе новейших достижений информационных и телекоммуникационных технологий, способствующих продвижению человека в мировое постиндустриальное информационное пространство.
- Социальное равноправие. Равные возможности получения образования независимо от места проживания, состояния здоровья, элитарности и материальной обеспеченности обучаемого.
- Интернациональность. Экспорт и импорт мировых достижений на рынке образовательных услуг.

Использование современных дистанционных технологий в подготовке специалистов создаёт предпосылки для перехода к гибкой и удобной форме обучения по следующим направлениям профессионального творчества в технических областях:

1. По технологии анализа предметной области методом интервьюирования в соответствии с требованиями CASE-технологией.
2. По технологии обследования объектов автоматизации и представления результатов обследования в соответствии с принципами CASE-технологией.
3. По технологии функционального моделирования в соответствии с методологией IDEF0, предназначенной для создания функциональной модели, являющейся структуриро-

ванным изображением функций сложной системы или среды, а также информации и объектов, связывающих эти функции.

4. По технологии информационного моделирования в соответствии с методологией IDEF1X, предназначенной для построения информационной модели, представляющей структуру информации, необходимой для поддержки функций сложной системы или среды.

5. По технологии процессного моделирования в соответствии с методологией IDEF3, предназначенной для создания моделей процессов сложных систем на основе процессно-ориентированной стратегии приобретения знаний относительно процессов и событий предметной области.

6. По технологии процессного моделирования в соответствии с методологией IDEF4, предназначенной для создания моделей процессов сложных систем на основе объектно-ориентированной стратегии приобретения знаний относительно процессов и событий предметной области.

7. По технологии онтологического моделирования в соответствии с методологией IDEF5, предназначенной для сбора онтологических описаний.

8. По технологиям автоматизированного моделирования IDEF0, IDEF1X, IDEF3 в среде CASE/IDEF.

9. По технологии разработки интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР).

10. По методологическим основам стандартного подхода к руководству проектами (СПРП) информационных систем.

11. По технологии и процессам управления НИОКР.

Разработанная версия системы «ЭИОС-CALS» построена по модульному принципу и содержит следующие электронные модули, уроки и тесты:

Наименование электронного модуля	Кол-во электронных (гипертекстовых) страниц	Кол-во электронных уроков	Кол-во тестовых вопросов
1. Электронный модуль “Анализ”	80	5	30
2. Электронный модуль “Сбор”	60	3	25
3. Электронный модуль “IDEF0”	90	7	73
4. Электронный модуль “IDEF1X”	140	9	60
5. Электронный модуль “IDEF3”	150	10	70
6. Электронный модуль “IDEF4”	170	9	75
7. Электронный модуль “IDEF5”	115	5	36
8. Электронный модуль “CASE”	130	5	30
9. Электронный модуль “ИЭТР”	134	8	25
10. Электронный модуль “Основы СПРП”	125	10	50
11. Электронный модуль “НИОКР”	112	7	72

Конфигурация системы «ЭИОС-CALS» содержит также ряд вспомогательных компонент и поддерживающих функций:

- главное электронное меню по всем компонентам ЭИОС;
- личная карточка пользователя для регистрации и управления доступом к компонентам ЭИОС;
- режим самообучения по всем или выборочным компонентам ЭИОС, содержащий уроки, методические указания, примечания, справочную информацию и тесты самоконтроля;
- режим информационного справочника по содержанию всех разделов ЭИОС.

Разработанная версия системы «ЭИОС-CALS» предназначена для широкого использования в образовательной и проектно-производственной деятельности различных организаций и предприятий, а также в проектных организациях при решении задач инжиниринга и реинжиниринга бизнес-процессов, информационной поддержки процессов создания аппаратно-программных и информационных средств автоматизированных систем для областей деятельности: ракетно-космической, энергетической и радиоэлектронной и др.

В настоящее время реализуется следующий вариант системы «ЭИОС-CALS», который предусматривает использование опыта создания электронных обучающих ресурсов, построенных на основе системы дистанционного обучения Moodle [9].

Библиографический список

1. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России. М.: НИЦ CALS “Прикладная логистика”, 2002. – 130 с.
2. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. - 320 с.
3. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы разработки и управления требованиями к программным системам: Учебное пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2009. - 224 с.
4. Таганов А.И. Методы идентификации, анализа и сокращения проектных рисков качества программных изделий в условиях нечеткости // Информационные технологии. 2011. № 9. С. 22-27.
5. Акинина Н.В., Таганов А.И. Методология создания интерактивных электронных технических руководств в CALS-технологии: Учебное пособие. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. - 124 с.
6. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков проекта // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. 2003. № 11. С. 115-118.
7. Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И. Оценивание качества и функциональной надежности программных средств информационных систем. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III международного научно-технического форума: Под общ. ред. О.В. Миловзорова. Рязань, 2020. Том 6. С. 205-209.
8. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях нечеткости. - М.: Горячая линия - Телеком, 2014. - 168 с.
9. Клейносова Н.П., Кадырова Э.А., Телков И.А., Баскакова О.М., Хруничев Р.В. Дистанционное обучение в среде Moodle. Учебные и учебно-методические материалы. Методические указания. <https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1744>.

УДК 52-323.6 ГРНТИ 41.51.41

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ.

И.В. Бодрова, Д.И. Симонов, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, bodrovamilyutina@mail.ru*

Аннотация. Фундаментальным направлением в исследовании процессов, происходящих в околоземном пространстве (ОКП), является контроль степени засоренности ОКП и разработка новых методов регистрации объектов космического мусора, определение их физических и оптических характеристик, а также поиск решения глобальной проблемы очистки околоземных орбит. Проведен анализ программных средств, подходящих для автоматизации расчета оптических параметров покрытий космических объектов, и описаны особенности алгоритма расчета.

Ключевые слова: фотометрические методы, математическая модель, параметры Стокса, информационная система, программные средства.

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR AUTOMATIC REGISTRATION OF OPTICAL COVERING PARAMETERS OF OBJECTS.

I.V. Bodrova, D.I. Simonov, O.A. Bodrov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, bodrovamilyutina@mail.ru

Annotation. A fundamental direction in the study of the processes occurring in near-earth space (OKP) is the control of the degree of debris in the OKP and the development of new methods for registering space debris objects, determination of their physical and optical characteristics, as well as the search for a solution to the global problem of cleaning near-earth orbits. The analysis of the software suitable for the automation of the calculation of the optical parameters of the coatings of space objects is carried out and the features of the calculation algorithm are described.

Keywords: photometric methods, mathematical model, Stokes parameters, information system, software.

1. Проблема загрязнения околоземного пространства

Проблема загрязненности околоземного пространства является одной из наиболее острых, связанных с находящимися на орбите космическими аппаратами. Современная наука не позволяет совершать космические запуски без выброса космического мусора и не имеет инструментов для масштабной очистки орбиты Земли [1]. В то же время сложно игнорировать то, что по подсчетам специалистов космической отрасли сегодня на орбитах находится 21 тыс. крупных фрагментов космического мусора диаметром больше 10 см, и 500 тыс. диаметром до 10 см, общая масса в околоземном пространстве оценивается в 6300 тонн, скорость полёта отдельных объектов может достигать 56 000 км/час [2].

На данный момент наукой глубоко изучены вопросы рассеяния светового электромагнитного излучения от поверхностей различных тел. Используя эти знания, возможно решить задачу регистрации космического мусора и определения материалов, из которых он состоит, и в последствии создать систему автоматической обработки поступающих данных.

2. Математические модели отражения светового пучка

Для разработки информационной системы необходимо построить математическую модель, исходя из которой будет выстроена логика системы, выбран подходящий инструментарий для разработки программного обеспечения.

В рамках работы ставилась задача использования существующих и разработки новых математических моделей отражения светового потока от поверхностей космических объектов с учетом поляризации [3].

Рассмотрим систему излучатель – приемник – космический объект (КО) в сферической системе координат. Схема приведена на рисунке 1.

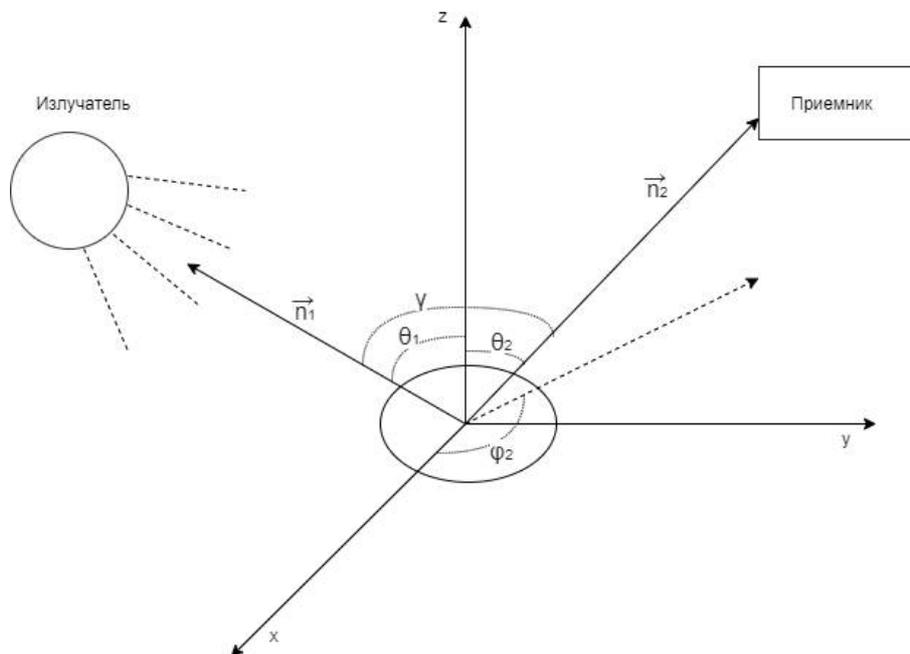


Рис. 1. Излучатель и приемник в сферической системе координат, связанной с КО

В данной схеме начало координат совмещено с исследуемым объектом, нормаль к касательной плоскости исследуемой поверхности КО является осью Oz, отмечен угол θ_1 между направлением на излучатель и нормалью к поверхности, угол θ_2 между направлением на приемник излучения и этой нормалью, φ_1 и φ_2 - азимутальные углы проекции векторов нормали на приемник и излучатель, а так же угол γ - между направлениями на излучатель и приемник излучения.

Используя эту систему в качестве исходной для расчетов, перейдем к решению задачи

При распространении в среде световой пучок представляет из себя электромагнитную волну. Если рассматривать световую волну в некоторой точке пространства $z=0$ и в момент времени $t=0$, то модельно можно описать световую волну вектором Джонса:

$$\vec{E} = \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x e^{i\varphi_x} \\ A_y e^{i\varphi_y} \end{pmatrix}$$

В свою очередь компоненты вектора Стокса являются линейными комбинациями комплексных координат вектора Джонса. Используя эти данные и построив матрицу светового потока, можно вычислить параметры Стокса для двух случаев:

1. При отражении от диэлектрической поверхности

$$\vec{S}' = \begin{pmatrix} \frac{J+Q}{2} \\ \frac{J-Q}{2} \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |E_1|^2 \\ |E_2|^2 \\ 2 \operatorname{Re}(E_1 \overline{E_2}) \\ 2 \operatorname{Im}(E_1 \overline{E_2}) \end{pmatrix},$$

где $\vec{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса, а его компоненты являются действительными.

2. При отражении от металлической поверхности

$$\begin{pmatrix} J \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{|r_1|^2 + |r_2|^2}{2} & \frac{|r_1|^2 - |r_2|^2}{2} & 0 & 0 \\ \frac{|r_1|^2 - |r_2|^2}{2} & \frac{|r_1|^2 + |r_2|^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \operatorname{Re}(r_1 \bar{r}_2) & -\operatorname{Im}(r_1 \bar{r}_2) \\ 0 & 0 & \operatorname{Im}(r_1 \bar{r}_2) & \operatorname{Re}(r_1 \bar{r}_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} J_0 \\ Q_0 \\ U_0 \\ V_0 \end{pmatrix},$$

где $\bar{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса отраженного излучения;

$\bar{S}_0 = (J_0, Q_0, U_0, V_0)^T$ - вектор Стокса падающего излучения.

Учитывая, что физический смысл параметров Стокса (J – полная интенсивность светового потока, Q – степень поляризации, U – определяет плоскость поляризации, V – степень эллиптичности светового потока), мы косвенно приходим к решению задачи фотометрии.

Регистрация и расчет параметров Стокса фотометрическими методами осуществляется с помощью измерений интенсивности отраженного и поляризованного светового потока на модифицированной оптической установке модуляторного типа, в которой поляризационные приборы расположены между фотоприемником и исследуемым объектом [4].

Операторные матрицы приборов приобретают следующий вид:

1. Операторная матрица модулятора:

$$M(\gamma) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{pmatrix},$$

2. Операторная матрица анализатора.

$$A(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\varphi & \sin 2\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

3. Операторная матрица поляризатора.

$$P = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Тогда общая операторная матрица приборов будет иметь вид:

$$L = PAM.$$

После прохождения через указанные приборы компоненты вектора Стокса преобразуются согласно операторному уравнению:

$$\bar{S}' = PAM\bar{S},$$

где $\bar{S}' = (J', Q', U', V')^T$ - вектор Стокса прошедшего через фотометрические приборы светового потока, а $\bar{S} = (J, Q, U, V)^T$ - вектор Стокса отраженного излучения (до прохождения через приборы).

Компоненты вектора Стокса отраженного излучения находились из решения системы линейных уравнений:

$$I_k(\theta_2, \phi_2) = \frac{1}{2}(J + Q \cos 2\varphi_k + U \sin 2\varphi_k \cos \gamma_k + V \sin 2\varphi_k \sin \gamma_k), k = 1, 2, 3, 4.$$

4. Постановка задачи создания информационной системы регистрации, сортировки, учета оптических параметров отраженной световой волны

Таким образом, для расчета оптических параметров конкретного космического объекта достаточно произвести вычисления по формуле:

$$I_k(\theta_2, \phi_2) = \frac{1}{2}(J + Q \cos 2\varphi_k + U \sin 2\varphi_k \cos \gamma_k + V \sin 2\varphi_k \sin \gamma_k), k = 1, 2, 3, 4,$$

где значения I – это интенсивность светового потока, углы φ -известны, углы γ – задаются вручную. Таким образом, мы получаем систему из 4 линейных уравнений, с 4 неизвестными (параметрами Стокса).

Данную задачу можно решить используя практически любой язык программирования. Главным нюансом является не конкретный расчет параметров для субъекта, а решение этой задачи при различных условиях.

Процесс анализа и обработки данных состоит из пяти этапов [5]:

1. Формулировка вопроса.
2. Подготовка данных.
3. Анализ данных.
4. Визуализация вывода.
5. Предоставление выводов.

Учитывая, что первые два первых раздела данной статьи мы посвятили формулировке вопроса, а визуализация и предоставление выводов могут быть реализованы вне зависимости от программных средств, ключевые различия будут наблюдаться на 2 и 3 этапах.

На этапе подготовки данных стоит выделить следующие возможные типы ситуаций [5]:

1. Обрабатывается небольшой объем данных, данные вносит оператор вручную, данные не нуждаются в проверке на достоверность (не нуждаются в «очистке»).
2. Обрабатывается небольшой объем данных, данные вносит оператор вручную, данные нуждаются в проверке на достоверность.
3. Обрабатывается большой объем достоверных данных, данные в систему поставляются пакетами.
4. Обрабатывается большой объем данных, нуждающихся в «очистке», данные в систему поставляются пакетами.

В ситуациях 2 и 4 в программе должна быть реализована дополнительная логика, по очистке данных, которая будет учитывать погрешности приборов, естественные помехи при измерениях и погодные условия.

В то же время для ситуаций 3 и 4 важное значение будет иметь скорость вычислений.

Таким образом, для обработки данных первого типа, подойдут любые программные средства.

Для обработки данных второго типа, целесообразней будет использование языка, с помощью которого будет проще реализовать большое количество проверок (логических условий), не обращая внимания на скорость обработки данных. Самыми популярными на данный момент языками, удовлетворяющими этим критериям являются Python и R [6].

Для обработки данных третьего типа и четвертого типа, возникает задача обеспечения быстрой работы при работе с данными, что предполагает использование языков общего назначения, таких как Java.

При дальнейших исследованиях предполагается работа с данными первого и второго типа, а значит наиболее предпочтительным будет использование средств языков Python и R.

Библиографический список

1. Муртазов, А.К. Использование ПЗС-приемников для мониторинга околоземного пространства и астрономических объектов [Текст] / А.К. Муртазов // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы астрономии». – Одесса, 2007. – С. 29.
2. Муртазов, А.К. Распознавание космического мусора по результатам его оптических наблюдений [Текст] / А.К. Муртазов // Материалы Международной научно-технической конференции «Космическая защита Земли - 2000». – Евпатория, 2000. – С. 84.
3. Дмитриев, А.Л. Оптические системы передачи информации [Текст] / А.Л. Дмитриев – СПбГУ ИТМО, 2007. - 96 с.
4. Еремеев, В.В. Современные направления работ по анализу и повышению качества космических изображений поверхности Земли [Текст] / В.В. Еремеев // Цифровая обработка сигналов – 2012. -№1. – С. 38-44
5. Еременко, К.А. Работа с данными в любой сфере./ - Москва, Альпина Паблишер, 2019 – С. 80-144
6. Погопахин, В. В. Современное программирование с нуля./ - 2011 – С. 33-41

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ПРИМЕНЕНИЕ CDMA В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

М.С. Поборуева, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, horek.colupaeva@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается применение CDMA в спутниковых системах. Приведены их основные особенности, достоинства и недостатки, а также принципы кодового разделения каналов.

Ключевые слова: спутниковые системы, коды Уолша, псевдослучайные последовательности, множественный доступ с кодовым разделением (CDMA).

APPLICATION OF CDMA IN SATELLITE DATA TRANSMISSION SYSTEMS

M.S. Poborueva, O.A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, horek.colupaeva@yandex.ru*

The summary. The paper considers the use of CDMA in satellite systems. Their main features, advantages and disadvantages, as well as the principles of code separation of channels are given

Keywords: satellite systems, Walsh codes, pseudorandom sequences, code-separated multiple access (CDMA).

Спутниковые системы играют важнейшую роль в повышении качества жизни людей в условиях современной высокотехнологичной экономики. От них в данное время зависимы все хозяйственные отрасли. В чрезвычайных ситуациях спутниковые системы позволяют спасать жизни и предоставляют важные знания о нашем мире и окружающей среде, спутниковая связь присутствует повсюду, но зачастую остается невидимой для широкой общественности, что свидетельствует о ее успешной интеграции в рынок электросвязи в целом, но и

ограничивает порой точное понимание ее жизненно важного значения для взаимосвязанного мира [1].

В настоящее время известно два основных способа нахождения спутников на орбите: геостационарные и низкоорбитальные:

- Геостационарные спутники обеспечивают бесперебойную работу первой разновидности спутниковых систем, располагаются на высоте около 30 000 км от Земли. Данная система удобна тем, что она обеспечивает охват связи более 93% поверхности Земли и не требует организации межспутниковой связи.

- Низкоорбитальные спутники находятся на высоте 500-2000 км. Группировки низкоорбитальных спутников состоят, как минимум, из 40 спутников. Кроме того, все они должны быть запущены до начала коммерческой эксплуатации системы.

Космический сегмент ГНСС (глобальная навигационная спутниковая система) состоит из различных группировок спутников, вращающихся вокруг Земли на орбите МЭО (средняя околоземная орбита), на высоте примерно 20000 км и переводящих передачу с задержкой около 65 мс. В настоящее время существует четыре созвездия ГНСС в эксплуатации или на стадии развертывания: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), BeiDou (Китай) и Galileo (Европа).

Положение пользователя оценивается с помощью измерений расстояния (псевдодальностей) между антенной-приемником и положением пользователя, по меньшей мере, четырех спутников. И то, и другое определяется приемником, который оценивает сигнал спутника и навигационное сообщение, соответственно. Эта информация требует решения, которое обеспечивает определение положения и времени пользователя в любой точке земного шара.

Чтобы определить геометрический диапазон, все сигналы ГНСС модулируются с определенной длиной в несколько миллисекунд псевдослучайной модуляцией.

Код шума (КШ) однозначно идентифицирует спутник. Приемник непрерывно сравнивает и выравнивает локальную копию кода.

Измеренная задержка принятого КШ равна времени передачи, если часы передатчика и приемника идеально синхронизированы. Код КШ накладывается на биты навигационных данных, содержит положение передающего спутника. Если известно положение одного спутника, то положение приемника определяется сферой вокруг спутника с радиусом, равным дальности. Если доступны измерения дальности трех спутников, то три сферы пересекаются в двух точках. Поскольку одна точка не расположена близко к поверхности Земли, вторая точка является истинным положением приемника. Другими словами, одновременное измерение дальностей до трех спутников позволяет определенно фиксировать трехмерное положение. Из-за воздействия часов приемника три сферы не пересекаются в общей точке, поэтому требуется не менее четырех видимых спутников ГНСС.

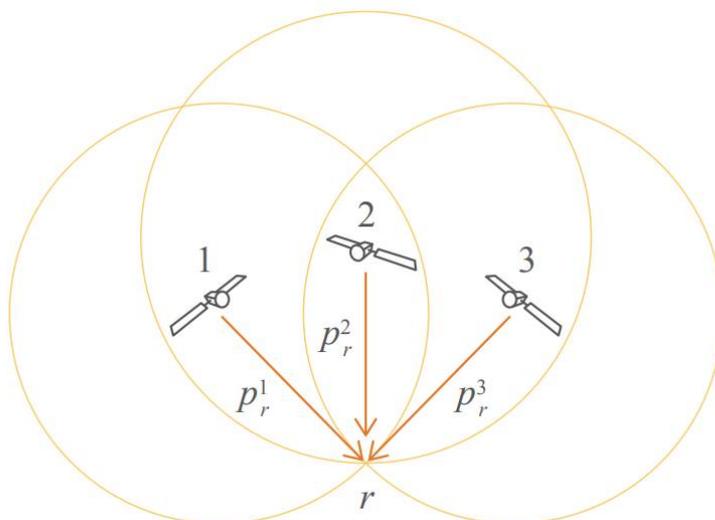


Рис. 1. Пересекающиеся сферы

На сегодняшний день потребность в спутниковых системах передачи информации каждый день увеличивается. Современные организации характеризуются большим объемом различной информации, в основном электронной и телекоммуникационной, которая проходит через них каждый день. Спутниковые системы включают не один спутник, а спутниковую группировку [1]. Они применяются для различных научных работ, так же для исследований определенных целей человечества, сбора информации, которая служит для улучшения различных отраслей жизни.

Использование спутниковых систем для сбора информации позволяет анализировать грунт для посевов, например, в сельском хозяйстве, следить за передвижением работников. Благодаря использованию спутниковых систем для сбора метеоданных становится возможно получать информацию о погоде, которая играет огромную роль в получении плодородного посева. Кроме того, с их помощью возможно осуществлять мониторинг пожаров, обеспечивать телефонной связью, телевидением и интернетом жителей страны.

Спутниковые системы обладают следующими особенностями:

1. Повышенная надежность, с использованием передовых технологий кодирования (искажения сигнала стали минимальны).
2. Высокая стабильность (для передачи сигнала на большие расстояния без наземных станций достаточно одного спутника).
2. Ширина канала (использование широкополосного диапазона в спутниковых системах связи обеспечивает прохождение огромного потока данных за малые промежутки времени).

Данные преимущества позволяют использовать спутниковые системы связи в таких удаленных географических объектах или объектах со сложными метеорологическими условиями, для которых проведение наземных линий связи экономически нецелесообразно [2].

Системы передачи информации

Системы передачи информации состоят из модулятора, кодера, канала связи, декодера, демодулятора, так же устройств, которые позволяют с большой достоверностью передавать и принимать сообщения. Системы передачи информации начинается с входа источника сообщения и заканчивается выходом приемника, как показано на рисунке 2.

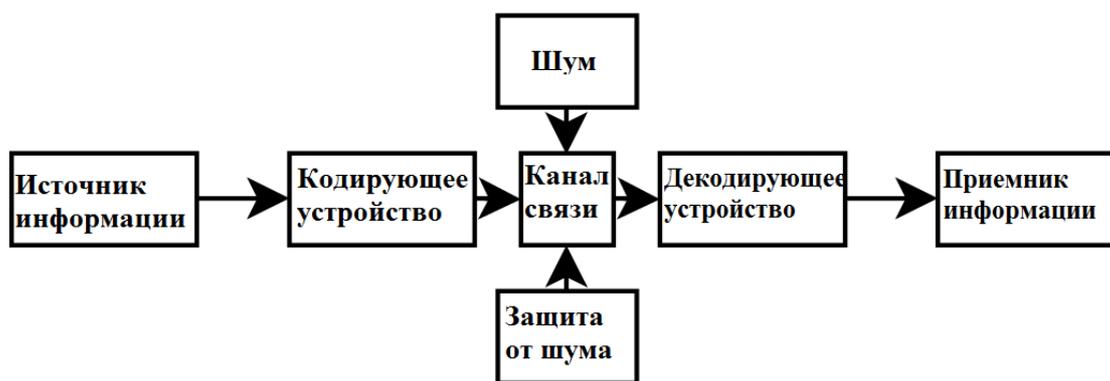


Рис. 2. Модель передачи информации по техническим каналам связи

Как правило, системы передачи информации являются многоканальными, в которых необходимо обеспечить множественный доступ пользователей. Множественный доступ — это совокупность мер по обеспечению возможности параллельной работы многих пользователей в рамках частотно-временного ресурса, выделенного данной системе.

Существует четыре варианта множественного доступа:

- 1) с кодовым разделением(CDMA);
- 2) с частотным разделением(FDMA);
- 3) с временным разделением(TDMA);
- 4) с разделением по длине волны (WDM).

В TDMA, FDMA, WDM не реализованы многие возможности по использованию спектра. Необходимо использование иерархической структуры и адаптивного распределения каналов. Кодовое разделение каналов имеет большое преимущество в распределении необходимой полосы частот и требуемых временных ресурсов [2].

Метод CDMA

Увеличение количества абонентов приводит к ухудшению качества передачи данных. От этих недостатков свободна система CDMA.

Метод CDMA основывается на передаче шумоподобных сигналов, которые обеспечивают использование существенно более широкой полосы частот, чем в случае передачи узкополосных сигналов. В качестве таких сигналов обычно применяются сигналы, построенные на базе кодовых последовательностей с хорошими корреляционными свойствами [3].

Входные сигналы будут модулироваться «несущей», которая передается со скоростью большей чем скорость исходного сигнала. Под несущей подразумевается некоторая псевдослучайная последовательность (рисунок 3). Далее полученные сигналы будут объединены в единый поток. При этом полоса частот в радиоканале будет шире, чем у исходного сигнала. Такой процесс называют расширением спектра. Псевдослучайные последовательности выбирают такими, чтобы на приемной стороне их можно было разделить и выделить сигнал, соответствующий своей псевдослучайной последовательности. Передача единого потока осуществляется в одной полосе частот, поэтому такие системы не требуют разделения данной полосы частот на отдельные каналы.

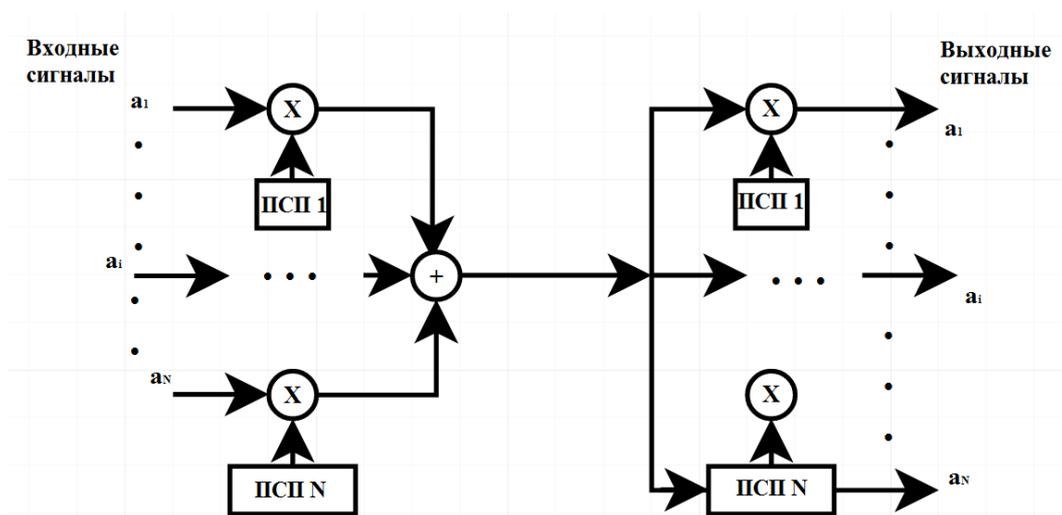


Рис. 3. Упрощенная структурная схема системы с кодовым разделением каналов

Метод CDMA имеет свои особенности, такие как: высокая емкость системы, большая помехоустойчивость. Эффективность системы зависит от корреляционных свойств кодовой последовательностей.

В зависимости в каком состоянии находятся линии связи будет определяться и качество передаваемого сообщения, так же принцип построения, которые характеризуются помехоустойчивостью и пропускной способностью.

Основным недостатком CDMA системы является ее аппаратная сложность. Но использование современных DSP-процессоров позволило упростить ее практическую реализацию.

Еще одним недостатком является то что при увеличении активных абонентов возникают взаимные помехи, которые характеризуются взаимно корреляционной функцией используемых кодовых последовательностей.

Для снижения чувствительности к разбросу мощности абонентских станций в системе CDMA применяется высокоточная система управления мощностью (шаг 0.5—1 дБ, скорость 1.6 кбит/с). При этом синхронизация базисных станций осуществляется при помощи сигналов GPS.

Системы сотовой связи CDMA

Входной информационный сигнал кодируется по коду Уолша, затем он объединяется с псевдослучайной последовательностью, диапазон которой сначала расширяется перемножением с сигналом источника псевдослучайного шума (рисунок 4).

На вход приёмника поступит сигнал, шум и помехи от мобильных станций. После сигнал поступает на коррелятор, где осуществляется свертка диапазона и выделение передаваемого сигнала, соответствующему данному коду Уолша. Спектр помех расширяется, и на выходе коррелятора они представляются в виде шума.

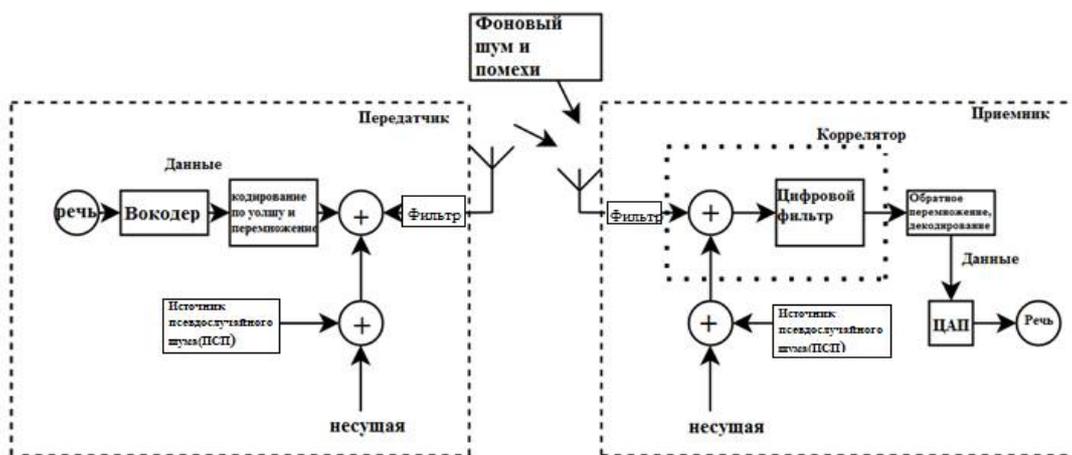


Рис. 4. Схема системы сотовой связи CDMA

Таким образом, для использования одного и того же участка частот и одного и того же временного диапазона для различных абонентов во всех ячейках сети может быть применена система CDMA.

Библиографический список

1. Тестоедов Н. А. Перспективы и приоритеты развития информационных спутниковых систем/ Н. А. Тестоедов А. В. Кузовников - Космические аппараты и технологии. 2017. №1.
2. Сомов А.М. Корнеев С.Ф. Спутниковые системы связи: учебное пособие для вузов. / А.М. Сомов, С.Ф. Корнеев - М.:Горячая линия-Телеком, 2012. - 244с.
3. Бабков В. Ю., Никитин А. Н., Осенний К. Н., Сивере М. А. Системы связи с кодовым разделением каналов. - СПб: ТРМАДА, 2003 - 239 с.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ СЛОЖНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Д.И. Лбов, О. А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dmitrylbov@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются CDMA системы. Рассматриваются существующие кодовые последовательности, а также методы их синтеза. Рассматриваются технологии многопоточного программирования OpenMP и CUDA, а также их применение для синтеза кодовых последовательностей

Ключевые слова: CDMA, кодовые последовательности, многопоточное программирование, OPENMP, CUDA.

APPLICATION OF PARALLEL CALCULATIONS IN SYNTHESIS COMPLEX DISCRETE SIGNALS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

D.I. Lbov, O. A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, dmitrylbov@gmail.com*

The summary. The work investigates CDMA systems. Code sequences and methods of their synthesis are considered. The technologies of multi-threaded programming OpenMP and CUDA are considered, as well as their application for the synthesis of code sequences.

Keywords: CDMA, code sequences, multithreaded programming, OPENMP, CUDA..

В современном мире широко используются различные спутниковые системы связи, позволяющие обеспечить телевидением, телефонной связью, а также услугами Интернет практически любую точку Земли, в том числе малонаселенные и удаленные районы. Постоянный рост количества потребителей услуг связи привел к необходимости уплотнения каналов. Одним из наиболее перспективных способов каналов является кодовое разделение каналов CDMA, на котором основаны такие стандарты связи, как CDMA-2000, CDMA-450.

Кодовое разделение каналов широко использовалось системами сотовой связи третьего поколения 3G и переходного 3.5G. Стандарт CDMA-450 широко использовался USB-модемами и позволял покрывать большие площади сетью интернет, однако максимальной скорости интернета (3.1 Мбит/с) недостаточно для современных пользователей. На смену CDMA-450 пришел стандарт UMTS, который основан на технологии WCDMA и позволяет обеспечивать скорость передачи информации до 42.1 (Мбит/с). Данный стандарт широко используется операторами связи.

CDMA используется крупнейшими навигационными системами, такими как ГЛОНАСС и GPS, а также французской навигационной системой DORIS. Эффективность и качество спутниковых систем связи, использующих CDMA, зависит не только от вида используемой модуляции, но и от используемых кодовых последовательностей [1]. Для оценки корреляционных свойств кодовых последовательностей используется корреляционная функция.

Известно большое количество различных видов кодовых последовательностей, например коды Баркера, M-последовательности, коды Голда, коды Касами. Такие последовательности обладают хорошими корреляционными свойствами, однако они не всегда могут использоваться для решения практических задач [2, 3]. Так, коды Баркера обладают недостаточной длиной (до 13), а M-последовательностей ограниченное число, и для их формирования требуются значительные вычислительные затраты. Поэтому существуют случаи, для которых существующие кодовые последовательности не подходят, и необходимо синтезировать новые кодовые последовательности.

В ходе предыдущих работ были реализованы алгоритмы синтеза кодовых последовательностей методом покоординатного спуска и эволюционных вычислений [4, 5].

Время выполнения реализованных алгоритмов значительным образом зависит от длины кодовых последовательностей, поскольку сложность вычисления автокорреляционной функции в квадратической зависимости от нее. Для повышения скорости выполнения было предложено использовать технологии параллельных вычислений.

Возможный рост производительности от применения параллельных вычислений описывается законами Амдала и Густафсона. Закон Амдала показывает ограниченность возможного роста производительности вычислительной системы при увеличении количества вычислителей. Согласно этому закону, ускорение выполнения программы за счёт распараллеливания её инструкций на множестве вычислителей ограничено временем, необходимым для выполнения её последовательных инструкций.

$$S_p = \frac{1}{\alpha + \frac{1-\alpha}{p}}, \quad (1)$$

где α – доля последовательных операций от общего объема вычислений, а $1 - \alpha$ может быть распараллелена идеально, p – количество процессоров вычислительной системы, S_p – ускорение. На рисунке 1 приведена зависимость возможного ускорения от степени распределенности и числа ядер.

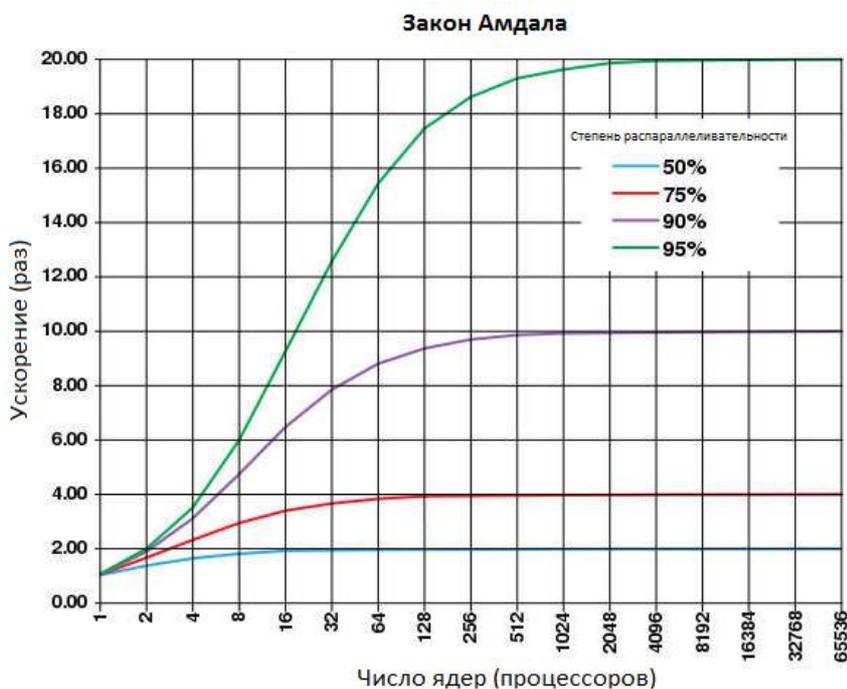


Рис. 1. Закон Амдала

Закон Густафсона определяет возможность ускорения выполнения задачи с фиксированным временем при наращивании ресурсов системы.

$$S = p + (1 - p)\alpha, \quad (2)$$

где α – доля последовательных операций от общего объема вычислений, p – количество процессоров вычислительной системы, S – ускорение.

Существует два основных способа распараллеливания вычислений на одном компьютере: распараллеливание на процессоре, при нем каждое ядро будет выполнять свой поток

операций, распараллеливание на видеокартах, при нем операции разделяются между блоками процессоров видеокарты, на которых происходит распределение операций на процессоры.

Для распараллеливания синтеза на процессоре предложено использование OPENMP, реализующей многопоточность на ядрах процессора, а также CUDA, реализующей многопоточной на видеокартах.

OpenMP (Open Multi-Processing) - открытый стандарт для распараллеливания программ на языках C, C++ и Фортран [6]. Интерфейс OpenMP задуман как стандарт для программирования на масштабируемых SMP-системах (симметричные мультипроцессорные системы) в модели общей памяти (shared memory model). При реализации многопоточности при помощи OpenMP используется набора директив компилятора, переменных окружения и параметров.

Использование OPENMP позволяет уменьшить время расчета в 2-1.5 раза, однако эффективность зависит не только от характеристик и архитектуры процессора, но и от сложности арифметических вычислений.

CUDA (изначально аббр. от англ. Compute Unified Device Architecture) — программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность при помощи графических процессоров фирмы Nvidia.

CUDA позволяет распараллеливать вычисления на графических процессорах Nvidia, а также подключаться к приложениям, реализованным на OpenGL и Direct3D. Для использования CUDA, необходимо установить Cuda SDK. Cuda может использоваться большим количеством языков, например C++, Python и тд. [4, 6].

Для компиляции приложений использующих CUDA, необходимо использовать специализированный компилятор nvcc. Процессоры в архитектуре CUDA объединяются в блоки, для каждого из которых выделяется память. Перед выполнением приложений использующих CUDA, необходимо выделить память на видеокарте и перенести в нее нужные данные, а после выполнения необходимо перенести данные из памяти видеокарты в оперативную память, для использования процессором. Также значительное количество процессоров в системе, которое может превышать несколько тысяч, вызывает необходимость в оптимизации работы с памятью видеокарты при помощи редукции и тд.

Использование OpenMP при генерации новых последовательностей уменьшает время выполнения в 2 раза, а CUDA – наоборот замедляет в 10 раз. Это вызвано тем, что при использовании CUDA необходимо производить дополнительные операции по выделению памяти на видеокарте и переносу данных на нее. Для расчета значиний корреляционных при помощи CUDA, необходимо производить редукцию, минимизирующую время ожидания потоками доступа к данным.

Библиографический список

1. Стеценко О. А. Радиотехнические цепи и сигналы / О. А. Стеценко М.: Высш ШК, 2007. –432 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е.Варакин –М.:Радио и связь –1985. –384 с
3. Бодров О. А. Синтез фазо-и частотноманипулированных сигналов в радиотехнических схемах. / О. А. Бодров –Горячая линия –Телеком, 2015. –132 с
4. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы / В. М. Курейчик В. М. -Известия ЮФУ. Технические науки. 1998. №2.
5. Иванов М.А. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. / М. А. Иванов, И. В. Чугунков
6. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров: пер. с англ. Слинкина А. А., научный редактор Боресков А. В. – М.:ДМК Пресс, 2015. – 232 с.

УДК 621.391; ГРНТИ 49.03.03

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ И КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНОВЕДУЩИХ СТРУКТУР

Е.П. Васильев, И.В. Садовская

*Рязанский государственный радиотехнический университет.
Россия, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрена тенденция развития электродинамических и квазистатических методов моделирования волноведущих структур микроволнового диапазона.

Ключевые слова: моделирование, электродинамический метод, квазистатический метод, метод конечных элементов.

ELECTRODYNAMIC AND QUASISTATIC METHODS MODELING WAVEGUID STRUCTURES

E.P. Vasiliev, I.V. Sadovskaya

*Ryazan State Radio Engineering University.
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru*

Abstract. The tendency development of electrodynamic and quasi-static methods of modeling waveguide structures in the microwave range is considered.

Keywords: modeling, electrodynamic method, quasi-static method, finite element method.

Универсальный аппарат уравнений Максвелла позволяет на электродинамическом и квазистатическом уровнях строгости решать внутренние задачи для базовых элементов и неоднородностей на их основе. При этом необходимо при выборе методов моделирования исходить из соображений обеспечения решения задач с достаточной степенью точности и с допустимыми временными затратами. Это позволит эффективно реализовать методы анализа, параметрической оптимизации и вероятностного моделирования сложных систем СВЧ. Можно выделить три основных подхода используемых для решения внутренних задач электродинамики: квазистатический, электродинамический и численный [1].

Первые теоретические работы по исследованию полосковых структур и неоднородностей на их основе использовали квазистатические подходы, которые вполне адекватны реальным объектам, особенно в длинноволновых диапазонах, когда выполняются условия $\Lambda > 8h\sqrt{\varepsilon}$; $\Lambda > 4w\sqrt{\varepsilon}$ (h , w – толщина подложки и ширина проводника; Λ – длина волны в линии; ε – относительная диэлектрическая проницаемость), кроме этого должны выполняться еще два условия, а именно $h \ll \Lambda$, $w \ll \Lambda$. Только в этом случае можно считать, что токи текут вдоль полосок и практически отсутствуют компоненты полей, направленные вдоль полосок. При этом решаются уравнения Пуассона для потенциальной функции или для функции Грина с учетом граничных условий. Оригинальный подход реализован в работе, где для исключения дифференциальных операций по одной из координат использовано преобразование Фурье, а также вводится пробная функция распределения плотности зарядов по полосковому проводнику с последующим ее уточнением исходя из принципа минимизации функционала для погонной емкости полосковой структуры. Другой подход основан на использовании интегрального уравнения:

$$\iint_{\Omega} \rho_s(x', y') G(x, y/x', y') dx' dy' = \Phi(x, y),$$

где $\rho_s(x', y')$ – поверхностная плотность зарядов;

$G(x, y/x', y')$ – функция Грина;

Ω – периметр поперечного сечения проводника;

$\Phi(x, y)$ – потенциальная функция.

Функция Грина определяется методом зеркальных изображений. Для приближенного решения интегрального уравнения периметр поперечного сечения полоски разбивается на N частей. Предполагается, что на каждой частичной полоске плотность зарядов ρ_{sk} постоянна. Тогда интегральное уравнение сводится к системе N линейных неоднородных уравнений для плотностей зарядов ρ_{sk} на частичной полоске Ω_k :

$$\sum_{k=1}^N \rho_{sk} \iint_{\Omega} G(x, y/x', y') dx' dy' = \Phi(x, y), k=1, 2, \dots, N.$$

Данная система уравнений решается численными методами.

В работе [2] приводится вывод телеграфных уравнений для волн в многослойной, многополосной линии с анизотропным заполнением, проницаемости слоев ε_i , μ_i (i – номер слоя) могут быть тензорами. При этом получены интегральные уравнения, позволяющие найти матрицы \mathbf{C}^e , \mathbf{L}^u коэффициентов телеграфных уравнений. Данные соотношения справедливы и в случае когда ε и μ зависят от частоты, так как частота, входящая в ε и μ , не связана с размерами сечения полосковой линии (ПЛ). Уравнения справедливы и для случая, когда в состав слоев входят ферриты, магнитные полупроводники, плазма, помещенные в постоянное магнитное поле. В частности, эти уравнения остаются справедливыми и для магнитостатических волн.

Целый ряд работ по квазистатическому моделированию полосковых структур основан на использовании метода конформных преобразований, который позволяет получить компактные и вполне приемлемые для практики соотношения. В тоже время, применение строгих подходов необходимо, так как они являются единственно пригодными в так называемой резонансной области частот и размеров, в которой неприменимы ни квазистатические, ни асимптотические методы. Зачастую только строгие методы позволяют вскрыть и понять сложные физические процессы и явления и получить фундаментальные математические результаты.

ПЛ можно представить в виде сочетания элементарных ячеек. Объединение ячеек эквивалентно размещению в соответствующих сечениях электрических или магнитных стенок в зависимости от типа рассматриваемой волны. Таким образом, граничные условия определяются конфигурацией или конструктивным типом полосковой структуры. Обычно накладываемые ограничения при решении электродинамической задачи сводятся к следующим:

- проводники нулевой толщины обладают идеальной проводимостью;
- абсолютные проницаемости сред, между которыми они размещены, равны ε_{ai} , μ_{ai} ($i=1, 2, 3\dots$);

- закон изменения составляющих электромагнитных полей собственных волн от времени t и продольной координаты z предполагается в форме $\exp[j(\omega t - \beta z)]$ (где β – подлежащая определению фазовая постоянная собственной волны; ω – круговая частота; j – мнимая единица). Тогда решение задачи можно свести к интегрированию уравнения Гельмгольца для каждой из частичных областей, входящих в рассматриваемую ячейку. Поля собственных волн должны удовлетворять граничным условиям: касательная составляющая вектора напряженности электрического поля $E_\tau = 0$ на электрических стенках; касательная составляющая вектора напряженности магнитного поля $H_\tau = 0$ на магнитных стенках; условиям непрерывности касательных составляющих на границах раздела сред; условиям Мейкснера на ребрах полоскового проводника. При решении уравнения Гельмгольца методом частичных областей [1] результат представляется в виде бесконечной системы уравнений, в каждое из которых входят двойные ряды с медленной сходимостью. Высокая степень прибли-

жения к строгому решению достигается при очень большом числе уравнений и членов в двойных рядах, что приводит к значительным вычислительным трудностям с точки зрения временных затрат. Поэтому зачастую находят применение альтернативные методы и в частности, метод Шварца. Вместо бесконечной системы уравнений аналитическое решение записывается в виде двойных рядов, которые быстро сходятся. При этом обычно удается просуммировать один из рядов и свести решение к одному ряду, отдельные части которого также поддаются суммированию. В результате решение представляется в виде простых и компактных формул удобных для программной реализации. Идея метода Шварца заключается в следующем. В рассматриваемом сечении полосковой структуры выделяются две подобласти частично перекрывающиеся друг друга и образующие некоторую общую область. Затем решается задача для одной из подобластей. Для нее обычно известны граничные условия за исключением того участка контура подобласти, который одновременно является границей общей части. На этом участке граничные условия задаются произвольно. Далее решается задача для второй подобласти. Поскольку часть контура второй подобласти входит в первую подобласть, граничные условия для этой части задаются из решения задачи, полученного из первой подобласти. Таким способом находится первое приближение. Затем вновь решается задача для первой подобласти, причем граничные условия на участке контура, входящего во вторую подобласть, определяются из предыдущего решения для второй подобласти. Процесс повторяется до тех пор, пока следующее приближение не повторит предыдущее в пределах заданной точности. Последовательности полученных приближений сходятся к предельным функциям, решающим поставленную задачу для суммы двух подобластей.

В последнее время все больше распространение для исследования высших типов волн в полосковых структурах, находят проекционные методы (метод Бубнова-Галеркина, Ритца, Трефтца и др.) [1, 3]. В частности метод Галеркина для некоторой граничной задачи $J\bar{u} = \bar{f}$, (где J – дифференциальный оператор, заданный с надлежащими граничными условиями) состоит в том, что строится представление решения \bar{u} в виде суммы

$$\bar{u}^N = \sum_{n=1}^N a_n^N \bar{u}_n,$$

с неопределенными коэффициентами a_n^N . Очевидно, что разность $J\bar{u} - \bar{f}$ равна нулю, а потому равны нулю ее проекции на базис $\{\bar{u}_n\}$, коэффициенты Фурье $(J\bar{u} - \bar{f}, \bar{u}_n)$:

$$(J\bar{u} - \bar{f}, \bar{u}_k) = 0, k=1, 2, \dots, \infty.$$

Берутся N соотношений ортогональности

$$(J\bar{u}^N - \bar{f}, \bar{u}_k) = 0, k=1, 2, \dots, N,$$

которые порождают систему линейных уравнений относительно коэффициентов a_n^N . Таким образом, метод Галеркина сводит граничную задачу к системе линейных уравнений. С другой стороны задачу на собственные значения для полосковых структур можно свести к вариационной задаче нахождения минимума функционала. Описанные проекционные методы универсальны, однако они требуют большого количества преобразований и вычислений, существенно возрастающих при усложнении конструктивных типов полосковых структур.

В последнее время получены строгие решения для трехмерных полосковых структур. Так в работе [3], рассматривается полностью экранированная трехслойная, трехмерная по-

лосковая структура, для которой находятся тангенсальные составляющие электрического поля через плотность поверхностного тока. При этом полный ток аппроксимируется одномерными рядами с последующим введением пробных функций.

Одними из самых мощных и универсальных численных методов являются метод конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) в прямой и вариационных постановках. МКЭ находит применение в задачах возбуждения, которые сводятся к расчету неоднородных по длине волнораспространяющих полосковых структур. Другой класс – это спектральные задачи связанные с расчетом однородных по длине регулярных волнораспространяющих структур с неоднородной геометрией поперечного сечения и произвольным изменением свойств среды в поперечном направлении.

Возможности использования конечного элемента различной формы, размеров и пространственной ориентации обуславливает упрощение дискретизации граничных условий при сложной форме поперечного сечения волнораспространяющей структуры.

Другое отличие МКЭ от МКР заключается в способе алгебраизации уравнений $Ju(\bar{x}) = f(\bar{x})$. Если в МКР аппроксимируются производные $\partial u / \partial \bar{x}$, то в МКЭ аппроксимируется решение $u(\bar{x})$ некоторой функцией $v(\bar{x})$ с неопределенными коэффициентами. Решение исходной задачи получается путем вычисления этих коэффициентов, а задача вычисления коэффициентов формулируется как задача минимизации функционала, характеризующего качество аппроксимации $u(\bar{x})$ функцией $v(\bar{x})$. В свою очередь последняя формулировка приводит к решению системы алгебраических уравнений.

Определенные сложности при использовании МКР возникают в случае разрывных коэффициентов исходной задачи, что приводит к снижению скорости сходимости конечно-разностного решения к точному. Устранение указанных трудностей, может быть реализовано на базе аппарата точных и усеченных разностных схем, что позволило создавать для задач с разрывными коэффициентами схемы на непрерывных сетках.

При использовании МКР для решения спектральных задач можно выделить два основных подхода. Первый основан на проекционно-сеточных методах (ПСМ), а второй на построении консервативных конечно-разностных схем с помощью метода баланса. В начале с помощью МКЭ были исследованы металлодиэлектрические волноводы, а затем данный подход был обобщен на открытые волнораспространяющие структуры с произвольной формой поперечного сечения.

МКР в вариационной постановке обладает относительно невысокой скоростью сходимости. Использование конечных элементов более высокого порядка, позволяет повысить точность при тех же размерах матриц, однако элементы выше четвертого порядка применять нецелесообразно.

При расчетах волнораспространяющих полосковых структур со сложными граничными условиями, т.е. криволинейными границами раздела в плоскости поперечного сечения, для более точной аппроксимации границ исследуемой области используются изопараметрические и криволинейные квадратичные элементы, но как показала практика, эффективней использовать большое количество простейших конечных элементов.

Специфика внутренних задач решаемых МКР или МКЭ в наибольшей степени проявляется при учете граничных условий для регулярных и нерегулярных (лежащих на расстоянии меньше шага сетки от граничной поверхности) точек сетки. Методики нахождения потенциальных функций в регулярных точках следующая. Вначале формируются граничные условия, в которые включаются значения потенциалов граничной и ближайших внутренних точек и данные о положении границы (расстояние до узловой нерегулярной точки и угол наклона нормали к границе). Полученные выражения разрешаются относительно потенциала граничной точки. Затем этот потенциал подставляется в конечно-разностное уравнение, записанное для приграничного узла. В точках, имеющих только одну внутреннюю соседнюю

точку, значение функции отыскивается аппроксимацией значений функций в трех ближайших узлах, лежащих на прямой линии. Таким образом потенциалы граничных точек вообще исключаются из рассмотрения.

Применительно к полосковым структурам в последние десять лет бурно развивается МКР в пространственно-временной области. При этом традиционные граничные условия получили развитие в работах, где граничные условия формируются с учетом дисперсионных свойств физической модели. Предложен подход, позволяющий учитывать затухающие и другие моды высшего порядка.

При практическом использовании МКР и МКЭ возникает ряд проблем: ошибки МКР, интерполяция, сходимости и фиктивные решения. Погрешность МКР обусловлена в основном двумя причинами: а) заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными, приводящей к ошибкам при определении искомого функций в узловых точках; б) отличием в построении интерполирующих и искомого функций несмотря на точное определение потенциальных функций в узлах сетки. При этом не только шаг сетки, но и характер анализируемого поля влияет на точность.

Для определения закона изменения потенциальной функции решается интерполяционная задача – определение значений потенциальной функции в промежутках между узлами. При этом линейная интерполяция между узлами сетки приводит к существенным ошибкам.

В настоящее время не существует универсальных алгоритмов, которые бы позволяли эффективно бороться с нефизическими (фиктивными) решениями, которые возникают при использовании МКР и МКЭ. Однако можно выделить два подхода, используемых для решения данной проблемы: апостериорный, когда истинные моды отделяются от фиктивных после процесса вычисления, и априорный, когда используются такие постановки задач, при которых фиктивные решения не возникают.

Библиографический список

1. Гринев А. Ю., Гиголо А. И. Математические основы и методы решения задач электродинамики: учеб. пособие. М: Радиотехника, 2015. 216 с.
2. Современные методы и результаты квазистатического анализа полосковых линий и устройств / А.И. Гипсман, В.М. Красноперкин, Г.С. Самохин и др. Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ. М.: ЦНИИ Электроника. 1991. 102 с.
2. Банков С. Е., Курушин А. А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. Москва 2008. 276 с. [Электронный ресурс]. URL:<http://jre.cplire.ru/jre/library/3/text.pdf>. (Дата обращения: 25.02.21).

УДК 621.391; ГРНТИ 49.03.03

ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.А. Кашеев*, С.И. Гусев**

*Филиал Акционерного общества «Ракетно-космический центр «Прогресс» -
Особое конструкторское бюро «Спектр»
Россия, Рязань, alexei_k1@mail.ru,

**ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»
Россия, Рязань, s.i.gusev@inbox.ru

Аннотация. В статье предложен комплексный подход к оценке текущего состояния запоминающего устройства целевой информации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли для надежных высокоскоростных радиолиний.

Ключевые слова: запоминающее устройство целевой информации, дистанционное зондирование Земли, космические аппараты, высокоскоростная радиолиния, пропускная способность, длительность сеансов связи.

CURRENT STATE ESTIMATION OF TARGET INFORMATION STORAGE DEVICE FOR EARTH REMOTE SENSING SATELLITES

A.A. Kascheev*, S.I. Gusev**

* Branch of the Joint-stock company "Rocket Space Centre "Progress" - Special design agency «Spectr»,
Russia, Ryazan, alexei_k1@mail.ru,

**Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, s.i.gusev@inbox.ru

Abstract. The article proposes an integrated approach to estimate the current state of target information storage device for Earth remote sensing satellites for reliable high-speed radio links.

Keywords: storage device, target information, Earth remote sensing, satellites, radio links, reception capacity, channel capacity.

На этапе штатной эксплуатации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) одной из актуальных задач является априорная оценка текущего состояния запоминающего устройства (ЗУ) целевой информации (ЦИ) в режиме воспроизведения информации, от объективности которой зависит точность планирования работы бортовой аппаратуры высокоскоростной радиолинии (ВРЛ).

Для решения указанной проблемы в работе предлагается комплексный способ оценки текущего объема ЗУЦИ в режиме воспроизведения информации с учетом выбора пропускной способности ВРЛ и длительности сеанса связи КА ДЗЗ с наземными пунктами приема информации (НППИ) для разной вероятности битовой ошибки передачи информации, определяющей надежность радиолинии.

Постановка задачи

В статье ставится задача оценки текущего состояния ЗУЦИ в режиме воспроизведения информации с учетом надежности радиолинии.

Модель ВРЛ предполагает следующее: радиолиния организуется с помощью наземной аппаратуры (НА) ВРЛ, расположенной на НППИ и бортовой аппаратуры (БА) ВРЛ, устанавливаемой на КА ДЗЗ. Вероятность битовой ошибки передачи информации по ВРЛ должна быть не хуже p .

На вход БА ВРЛ поступают данные маршрутов съемки земной поверхности, которые записываются в ЗУЦИ объемом V_{ZUCI}^{\max} , подвергаются блочному помехоустойчивому кодированию со скоростью r , фазовой манипуляции с индексом m , статистически мультиплекси-

руются в каналные кадры объемом V_K и в общем групповом потоке передаются на наземную аппаратуру по радиолнии со скоростью R .

Оценка текущего состояния ЗУЦИ

В процессе оптико-электронного наблюдения земной поверхности передача информации осуществляется при нахождении космического аппарата в зоне радиовидимости НППИ, а за ее пределами накопление информации происходит в ЗУЦИ.

График состояния ЗУЦИ приведен на рисунке 1, где: t_i^{HC} - время начала съемки i -го маршрута; t_i^{KC} - время окончания съемки i -го маршрута; t_i^{ex} - время входа КА ДЗЗ в зону радиовидимости i -го НППИ; t_i^{bex} - время выхода КА ДЗЗ из зоны радиовидимости i -го НППИ; $V_{ZUCI\,lost}$ - остаточный объём ЗУЦИ к моменту выхода КА ДЗЗ из зоны радиовидимости НППИ.

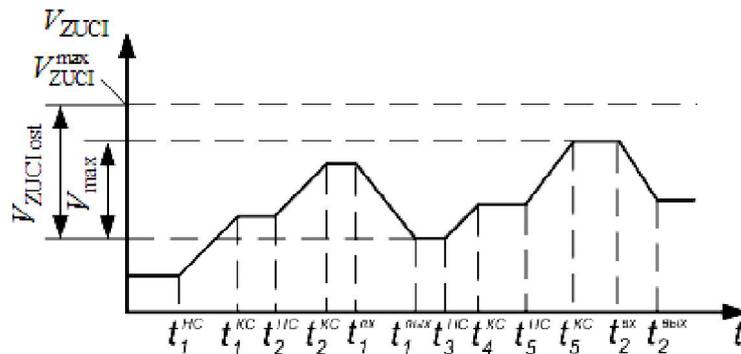


Рис. 1. График состояния ЗУЦИ в режимах съемки и воспроизведения информации

Текущий объем информации, передаваемый по ВРЛ в пределах зоны радиовидимости i -го НППИ, определяется как:

$$V_{ZUCI}(t) = V_{ZUCI}(t_i^{ex}) - C \cdot t; \quad t_i^{ex} \leq t \leq t_i^{ex} + \Delta T_i, \quad (1)$$

где $V_{ZUCI}(t)$ – текущий объем информации ЗУЦИ в режиме воспроизведения информации;

t_i^{ex} – время входа КА в зону радиовидимости i -го НППИ;

C – пропускная способность ВРЛ;

ΔT_i – длительность сеанса связи КА ДЗЗ с i -м НППИ.

Согласно формуле Шеннона, пропускная способность ВРЛ определяется необходимой шириной полосы пропускания передаваемой информации и пороговым отношением сигнал-шум (ОСШ) на входе приёмного устройства [1, 2], т.е.:

$$C = \Delta f \cdot \log_2 \left[1 + \left(\frac{P_{i,j}^{НППИ}}{P_{i,j}^{ш}} \right)_{por} \right], \quad (2)$$

где Δf - ширина полосы пропускания приёмника ВРЛ;

$P_{i,j}^{НППИ}$ – мощность полезного сигнала на входе приёмника ВРЛ i -го НППИ в j -й момент времени;

$P_{i,j}^{ш}$ – мощность шума на входе оборудования ВРЛ i -го НППИ;

$\left(\frac{P_{i,j}^{НППИ}}{P_{i,j}^{u}}\right)_{por}$ – пороговое ОСШ, при котором возможна синхронизация между передатчи-

ком и приемником ВРЛ.

Так как информация по радиолинии передается кадрами объемом V_k с вероятностью битовой ошибки передачи p , а также учитывая, что данные маршрутов съемки подвергаются блочному помехоустойчивому кодированию со скоростью r и фазовой манипуляции с индексом m , выражение для ширины полосы пропускания Δf в соответствии с [2] можно представить следующим образом:

$$\Delta f = \frac{1,2 \cdot R \cdot (1-p)^{V_k}}{r \cdot \log_2 m}, \quad (3)$$

Учитывая (3) формулу (2) можно записать как:

$$C = \frac{1,2 \cdot R \cdot (1-p)^{V_k}}{r \cdot \log_2 m} \cdot \log_2 \left[1 + \left(\frac{P_{i,j}^{НППИ}}{P_{i,j}^{u}}\right)_{por} \right]. \quad (4)$$

Для определения параметра $\left(\frac{P_{i,j}^{НППИ}}{P_{i,j}^{u}}\right)_{por}$ допускается использовать таблицы порогового ОСШ [5] или графики кривых достоверности для разных методов помехоустойчивого кодирования [6].

Длительность сеанса связи КА ДЗЗ с i -м НППИ ΔT_i рассчитывается исходя из размеров зоны радиовидимости i -го НППИ [3, 4] при разной надежности радиолинии в соответствии с [4]:

$$\Delta T_i = \begin{cases} t_i^{6bX} - t_i^{6x}, & \text{при } t_i^{6bX} > t_i^{6x}, \chi_i \in (\overline{\chi_i^{6x}, \chi_i^{6bX}}) \\ (t_i^{6bX} - t_0) + (t_{01} - t_i^{6x}), & \text{при } t_i^{6bX} < t_i^{6x}, \chi_i \in (\overline{\chi_i^{6x}, \chi_i^{6bX}}) \\ t_i^{6bX} - t_0, & \text{при } \chi_i \notin \chi_i^{6x} \text{ и } \chi_i \in \chi_i^{6bX} \\ \frac{V_i^{ZUCI}}{R_i}, & \text{при } \Delta T_i^{ZUCI} < \Delta T_i \end{cases}, \quad (5)$$

где t_0 - начальное время полета КА ДЗЗ;

t_{01} - время пересечения восходящего узла орбиты в конце первого витка полета КА ДЗЗ; ΔT_i^{ZUCI} - длительность передачи информации, находящейся в ЗУЦИ;

χ_i^{6x} - вход КА в зону радиовидимости i -го НППИ;

χ_i^{6bX} - выхода КА из зоны радиовидимости i -го НППИ.

Таким образом, с учетом выражений (4), (5) и формулы (1) решается задача оценки состояния запоминающего устройства целевой информации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в режиме воспроизведения информации с учетом надежности радиолинии.

Библиографический список

1. Кашеев А.А. Системный подход к выбору пропускной способности высокоскоростной радиолинии для современных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 1. С. 180-186. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-180-186.
2. Кашеев А.А. Оценка оперативности доставки информации по высокоскоростной радиолинии космических систем дистанционного зондирования Земли. Ин-т радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 2016, №8, URL: <http://jre.cplire.ru/jre/aug16/4/text.pdf>.
3. Кашеев А.А., Гусев С.И. Алгоритм построения зоны радиовидимости наземных приемных станций для высоконадежных космических радиолиний // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Рязань, 2018, № 66. Часть 1, С. 16 - 21. ISSN 1995-4565.
4. Кашеев А.А., Миронов В.В. Повышение точности оценки длительности сеансов связи космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с наземными пунктами приема информации для надежных высокоскоростных радиолиний // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 6. С. 235–244.
5. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. – М. Альпина Паблишер, 2004. 536 с.
6. CDM-600. Open Network Satellite Modem (2.4 Kbps-20 Mbps)/ Installation and Operation Manual for Firmware Version 2.0.1 or higher. – Comtech EF Data, 2005.250 p.

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

УДК 621.9.06; ГРНТИ 55.01.85

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ ДЕТАЛЕЙ ФОРМЫ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С НЕЯВНОЙ АСИММЕТРИЕЙ ТРАДИЦИОННЫМИ ЗАГРУЗОЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Е.В. Пантюхина

*Тулский государственный университет,
Российская Федерация, Тула, elen-davidova@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены причины снижения надежности и производительности традиционных конструкций механических дисковых бункерных загрузочных устройств при загрузке деталей формы тел вращения с неявной асимметрией по торцам.

Ключевые слова: автоматическая загрузка, бункерное загрузочное устройство, ориентирование деталей с неявной асимметрией.

PROBLEMS OF AUTOMATIC FEEDING OF PARTS OF THE SHAPE OF BODIES OF ROTATION WITH IMPLICIT ASYMMETRY BY TRADITIONAL HOPPER-FEEDING DEVICES

E.V. Pantyukhina

*Tula State University,
Russia, Tula, elen-davidova@mail.ru*

Abstract. The reasons for reducing the reliability and feed rate of traditional designs of mechanical disk hopper-feeding devices when feeding parts of the shape of bodies of rotation with implicit asymmetry at the ends are considered.

Keywords: automatic feeding, hopper-feeding device, orientation of parts with implicit asymmetry.

Одной из наиболее сложных задач создания автоматизированных сборочных линий в приборо- и машиностроении является автоматизация процесса загрузки собираемых деталей, которые в большинстве случаев поступают на предприятие «навалом», неориентированными или теряют ориентацию в процессе производства. Данную функцию выполняют системы, основным элементом которых является бункерное загрузочное устройство (БЗУ), обеспечивающее захват из «навала» единичной детали, её ориентирование и выдачу в сборочное оборудование в соответствии с темпом его работы. При автоматизированной сборке многоэлементных изделий, требующей загрузки собираемых деталей несколькими параллельно работающими БЗУ, разработка оптимальной конструкции БЗУ во многом определяет качество работы всей сборочной линии, характеризуемое обеспечением высокой надежности и требуемой производительности. При этом развитие приборо- и машиностроительных производств в настоящее время достигло такого уровня, что создание просто работоспособной конструкции БЗУ не является достаточным: необходимо обеспечить в процессе проектирования наилучшие показатели качества по ряду основных характеристик БЗУ, прежде всего максимальной надежности и производительности, при сохранении всех остальных требований в заданных пределах [1, 2].

Особенности функционирования БЗУ механического и вибрационного типов для деталей изложены во многих отечественных и зарубежных работах. Так как вибрационные БЗУ преимущественно применяют для загрузки плоских деталей с явно выраженными ключами ориентации, то для загрузки равноразмерных и близких к ним деталей формы тел

вращения, а также удлиненных стержневых деталей используют механические БЗУ. Они обеспечивают выполнение своих функций посредством механического воздействия элементов устройства на детали, движение которых осуществляется под действием сил тяжести, инерции и сосредоточенных сил, создаваемых специальными механизмами устройства (например, ворошителями, выталкивателями) [3, 4].

Основными функциональными элементами механического БЗУ являются захватывающие и ориентирующие органы. Захватывающие органы обеспечивают захват одной детали из общего количества засыпанных в бункер деталей, а ориентирующие органы приводят все захваченные захватывающим органом детали в определенное требуемое положение, в котором они направляются в зону сборки технологической машины или линии. Поэтому рациональная конструкция захватывающих и ориентирующих решающим образом оказывает влияние на качество работы всего сборочного оборудования. В большинстве традиционных БЗУ функции захвата и ориентирования выполняет единый захватно-ориентирующий орган и поэтому эти функции совмещены. Совмещение процессов захвата и ориентирования деталей с неявной асимметрией по торцам (отсутствие смещения центра масс относительно середины детали, соотношение диаметров торцов находится в диапазоне от 0,9 до 0,6, длина асимметричного торца составляет менее 30 % от всей длины детали) вызывает значительное снижение надежности и производительности, как самого БЗУ, так и всей сборочной линии, поэтому для таких деталей конструкция захватывающих и ориентирующих органов должна сильно отличаться от традиционных конструкций [5, 6]. Это привело к тому, что эффективность применения традиционных конструкций механических дисковых БЗУ резко упала и во многих случаях предприятия были вынуждены перейти с автоматической загрузки, обеспечивающей производительность 200-300 шт./мин, на ручную подачу, при которой детали с неявной асимметрией подаются с производительностью лишь 30-50 шт./мин.

Снижение надежности традиционных БЗУ обусловлено тем, что в них функции захвата и ориентирования совмещены, так как захватывающий орган, выполненный по конфигурации внешнего контура детали с некоторым зазором Δ для захвата, является одновременно и ориентирующим. При таком зазоре для деталей с неявной асимметрией по торцам функция захватывающего органа – обеспечивать одновременно с захватом и надежное ориентирование – резко нарушается.

В известной конструкции дискового БЗУ с радиальными профильными гнездами в отличие от деталей с явной асимметрией по торцам, где неправильно запавшая в карман деталь опирается на переориентор и с его помощью переводится в требуемое положение (рис. 1, а), при загрузке деталей с неявной асимметрией торцов (рис. 1, б) при рекомендуемой величине зазора Δ неправильно запавшая в захватывающий орган деталь будет с неявной асимметрией практически полностью погрузится в него, что делает невозможным его переориентирование в требуемое положение или удаления из кармана, что приводит к снижению надежности и производительности традиционного БЗУ с радиальными профильными карманами.

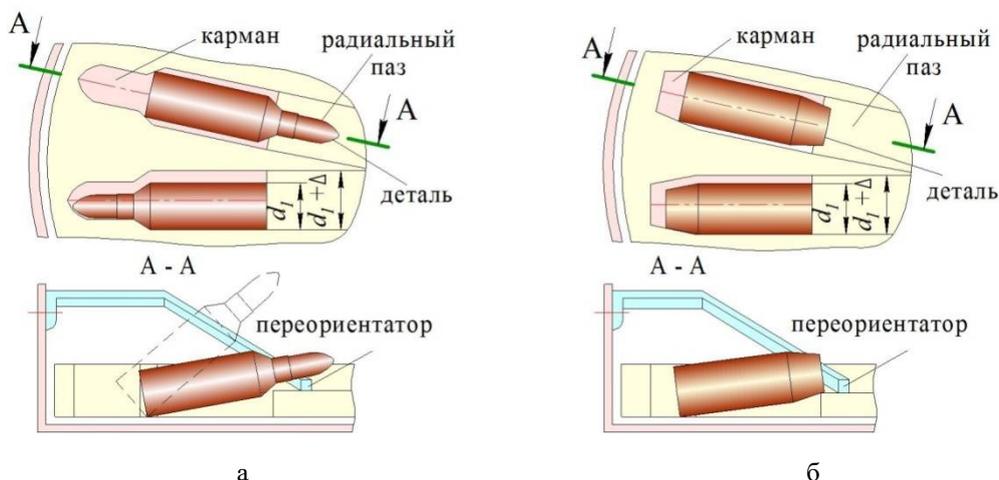


Рис. 1. Схемы работы традиционного бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными карманами при загрузке деталей: а – с явной асимметрией формы; б – с неявной асимметрией формы

В известной конструкции дискового зубчатого БЗУ, принцип работы которого основан на явном смещении центра масс детали, работоспособность снижается из-за ее полного отсутствия у деталей с неявной асимметрией. При этом, в случае явной асимметрии, деталь, запавшая в карман между зубьями своим дном, благодаря явному смещению центра масс по направлению к дну детали, надежно удерживается в кармане, а деталь, запавшая в карман открытым основанием, под действием силы тяжести G выпадает из кармана (рис. 2, а). Деталь, у которой отсутствует явное смещение центра масс, в независимости от того, каким из двух оснований она западет в карман, останется в нем (рис. 2, б).

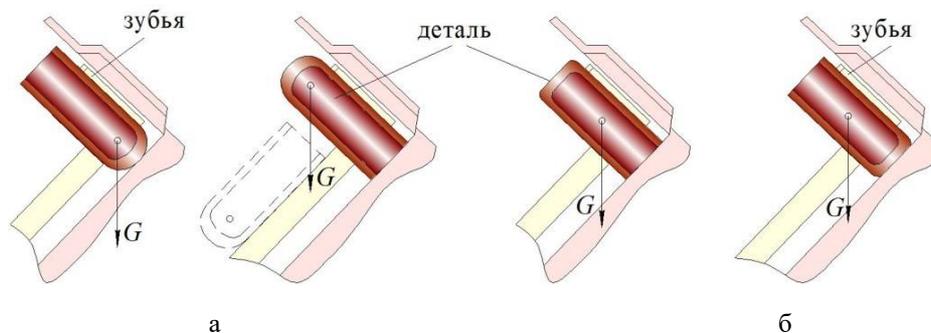


Рис. 2. Схемы работы традиционного зубчатого бункерного загрузочного устройства при загрузке деталей: а – с явным смещением центра масс; б – с неявным смещением центра масс

В традиционной конструкции механического дискового БЗУ с тангенциальными карманами, выполненными по внешнему контуру детали, принцип работы основан на явной асимметрии торцов детали. При этом деталь с явной асимметрией, при неправильном расположении в кармане, под действием силы тяжести и вращении диска в процессе пассивного ориентирования выпадает из кармана обратно в нижнюю часть устройства (рис. 3, а). Деталь, у которой отсутствует явное смещение по торцам, при любом из двух возможных вариантов западания в карман БЗУ почти полностью погружается в него и удерживается в нем, опираясь на боковину кармана и нарушая процесс пассивного ориентирования (рис. 3, б).

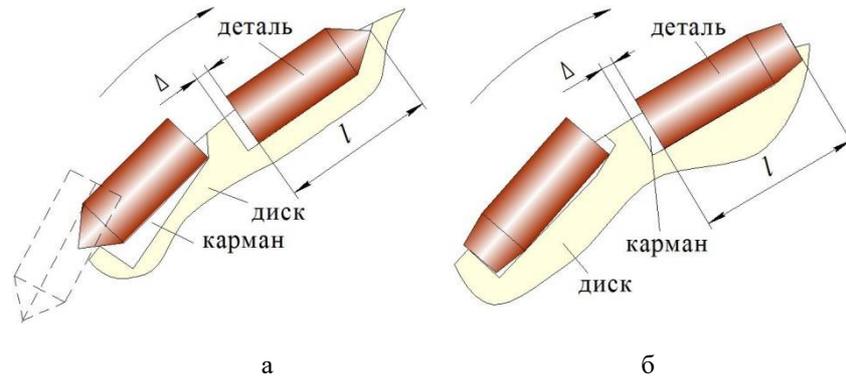


Рис. 3. Схемы работы традиционного бункерного загрузочного устройства с тангенциальными профильными карманами при загрузке деталей: а – с явной асимметрией формы; б – с неявной асимметрией формы

Таким образом, в рассмотренных конструкциях известных БЗУ, с совмещенными функциями захвата и ориентирования, при рекомендуемых значениях зазора Δ происходят нарушения при распознавании неправильно запавших в карман деталей и их ориентирование, что наглядно продемонстрировано при использовании в конструкции БЗУ активных способов ориентирования на рисунке 1 и конструкциях БЗУ с пассивным ориентированием на рисунках 2, 3.

Если разделить функции захвата и ориентирования деталей в конструкции БЗУ, используя для реализации последней функции переориентаторы внутри (рисунок 4) или на выходе из устройства в приемник (рисунок 5), то и в этом случае резко снижается надежность работы традиционных БЗУ при загрузке деталей с неявной асимметрией по торцам из-за допусков на конструктивные размеры переориентатора, выполненного в виде профильного окна. На рисунках 4 и 5 наглядно показано, как в традиционных БЗУ обеспечивается надежное ориентирование деталей с явной асимметрией и как нарушается процесс ориентирования деталей, не имеющих явно выраженных ключей ориентации по торцам. В результате этого в приемник выдаются неориентированные детали.

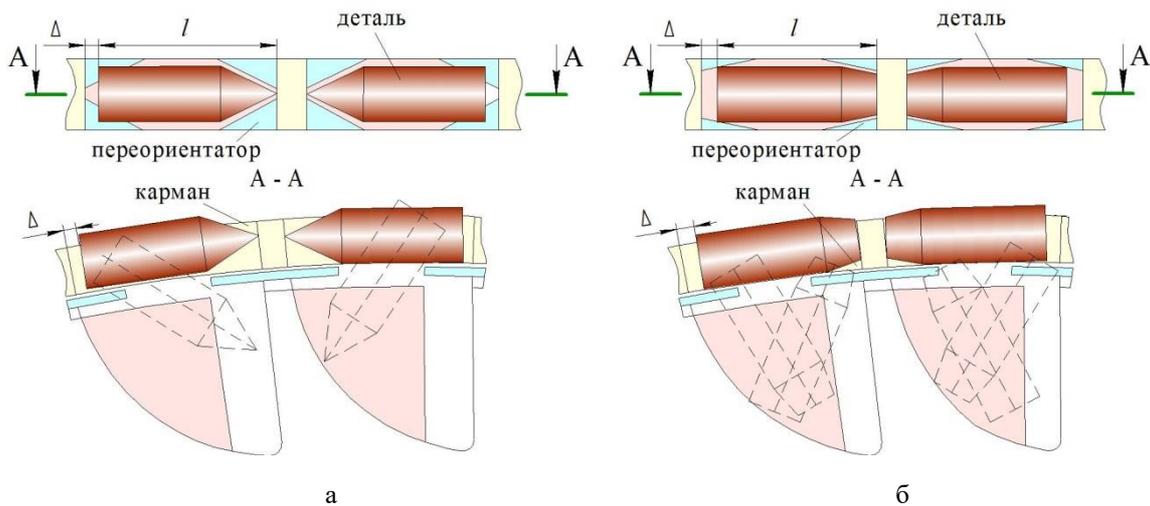


Рис. 4. Схемы работы традиционных бункерных загрузочных устройств с переориентированием внутри устройства специальной конфигурацией переориентатора по профилю деталей: а – с явной асимметрией формы; б – с неявной асимметрией формы

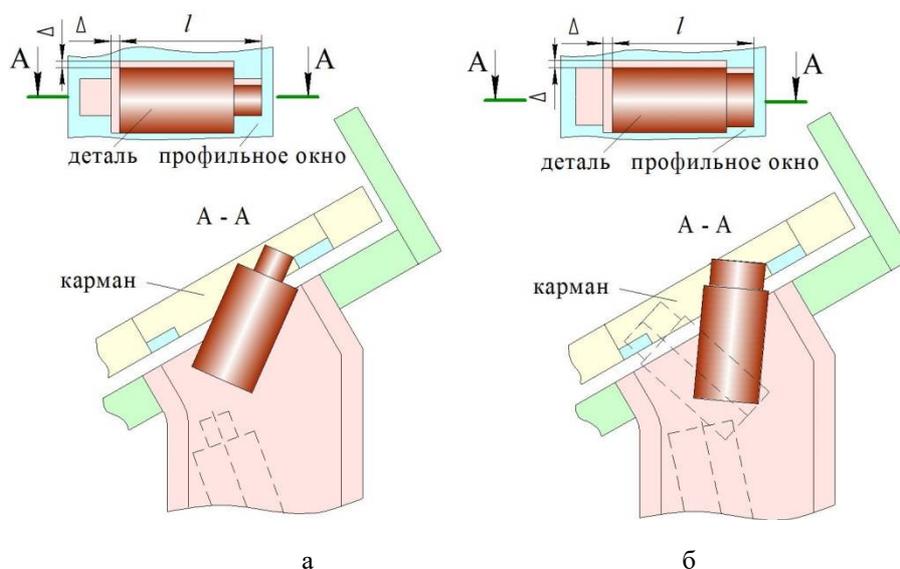


Рис. 5. Схемы работы традиционных бункерных загрузочных устройств с переориентированием вне устройства с профильным окном в зоне приемника для деталей: а – с явной асимметрией формы; б – с неявной асимметрией формы

Для надежного захвата детали захватывающим органом БЗУ, движущимся с постоянной окружной скоростью, необходимо, чтобы его ширина была больше размера детали на величину зазора Δ , которая должна быть такой, чтобы при движении захватывающего органа на протяжении пути Δ деталь успела запасть в карман на определенную глубину, при которой будет обеспечен детали осуществляется ее захват, было получено, что зазор Δ равен $0,1 \dots 0,2$ размера детали (для зубчатого БЗУ это диаметр, а для всех остальных конструкций – это длина детали).

Поэтому для надежного ориентирования деталей с неявной асимметрией традиционными БЗУ необходимо значительно уменьшать величину зазора между деталью и захватывающим органом (карманом, гнездом и т.п.). Но это, в свою очередь, приведет к значительному снижению вероятности захвата детали движущимся захватывающим органом и, как следствие, снижению производительности БЗУ.

Уменьшение величины Δ или геометрических параметров переориентаторов, повторяющих профиль детали, по тем же причинам будет неэффективным; а отсутствие смещения центра масс детали еще более усложнит задачу надежного ориентирования детали. Если меры по уменьшению величины зазора не принимать, то для повышения надежности требуется установка дополнительных устройств контроля в систему автоматической загрузки современных сборочных линий в приборо- и машиностроении деталями с неявно выраженной асимметрией по торцам.

При конструировании систем автоматической загрузки деталей с неявной асимметрией по торцам необходимо учитывать то, что использование в конструкции БЗУ захватывающих органов, повторяющих конфигурацию загружаемых деталей, способствует повышению сложности изготовления, и, как следствие, значительному удорожанию конструкции БЗУ, что требует принятия новых решений, повышающих технологичность производства БЗУ.

Аналогичные проблемы возникают при автоматической загрузке плоских, равноразмерных и близких к ним деталей с неявной асимметрией по торцам традиционными конструкциями вертикальных БЗУ с профильными карманами, которые широко применялись в различных отраслях приборо- и машиностроения для деталей в форме колпачка. Принцип работы вертикальных БЗУ основан на явном смещении центра масс колпачка в направлении к его дну и конфигурации захватывающих органов, выполненных в форме карманов, повто-

ряющих профиль детали. Это позволяло неправильно запавшему в карман колпачку беспрепятственно выпасть из него в верхней части бункера при пассивном ориентировании (рис. 6, а). Если использовать традиционное вертикальное БЗУ для деталей с отсутствием явно выраженных ключей ориентации в виде явной асимметрии формы или смещения центра масс, то снижение надежности его работы будет обусловлено не только нарушением процесса пассивного ориентирования, но и заклиниванием деталей в карманах, которое будет проходить тем интенсивнее, чем менее явно будет выражена асимметрия у детали, и тем более будет требоваться уменьшение зазора Δ (рис. 6, б). Это в свою очередь приведет к уменьшению производительности БЗУ. Кроме этого, значительно повышается трудоемкость изготовления захватывающих органов БЗУ, точно повторяющих контур деталей с неявной асимметрией.

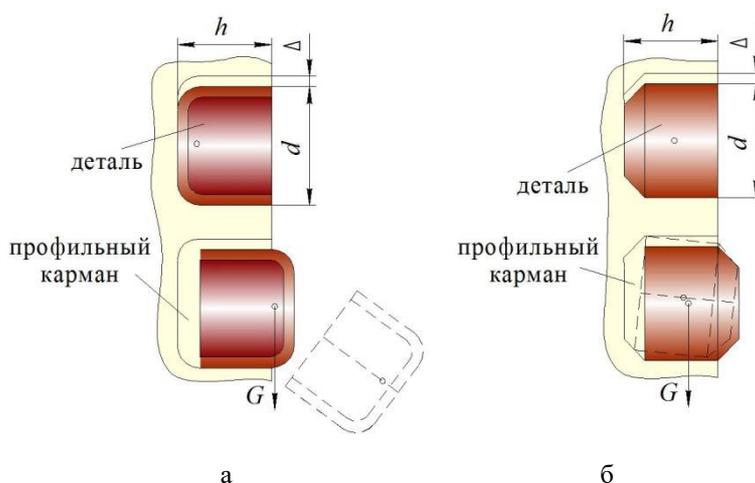


Рис. 6. Схемы работы традиционного вертикального бункерного загрузочного устройства с профильными карманами для деталей: а – с явно выраженной асимметрией; б – с неявной асимметрией

В связи с этими причинами традиционные конструкции БЗУ перестают быть эффективными, что вынуждает предприятия во многих случаях перейти с автоматической загрузки деталей, обеспечивающей производительность 200...300 шт./мин, на ручную подачу, при которой детали подаются с производительностью лишь 30-50 шт./мин.

Таким образом, для деталей с неявной асимметрией конструкция ориентирующих органов во многом определяет надежность работы механических дисковых БЗУ. Чтобы исключить любые возможности дальнейшей выдачи из БЗУ неориентированных деталей, ориентирующий орган должен быть выполнен с максимально возможными ограничениями. При этом деталь, частично захваченная захватывающим органом в неправильном положении, должна исключительнo в процессе пассивного ориентирования выпасть из органов захвата и ориентирования обратно в общую массу деталей только под действием сил тяжести и инерции, так как использование дополнительных конструктивных элементов может удалить из карманов правильно запавшую деталь.

Библиографический список

1. Прейс, В.В. Надежность автоматических роторно-конвейерных линий для сборки многоэлементных изделий / В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2003, № 10. - С. 17-22.
2. Давыдова, Е.В. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2007, № 9. - С. 28-33.
3. Усенко, Н.А. Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова // Тула: Изд-во ТулГУ. - 2013. - 312 с.
4. Давыдова, Е.В. Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2013, № 7-1. - С. 10-20.

5. Пантюхина, Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства для элементов патронов стрелкового оружия с неявной асимметрией / Е.В. Пантюхина, В.В. Прейс // В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды XII общероссийской научно-практической конференции. В 3-х томах. Сер. "Библиотека журнала "Военмех. Вестник БГТУ"" Санкт-Петербург. - 2020. - С. 79-85.

6. Пантюхина, Е.В. Пассивное ориентирование деталей в механическом дисковом бункерном загрузочном устройстве с кольцевым ориентатором и радиальными пазами / Е.В.Пантюхина, В.В.Прейс, О.В.Пантюхин // Динамика систем, механизмов и машин. Омск: ОмГТУ. -2020, Т.8, № 2. - С. 73-83.

УДК 621.9.06; ГРНТИ 55.01.85

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАГРУЗКА РАВНОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ФОРМЫ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ С ДВУМЯ ПОЛОСТЯМИ

Э.В. Дьякова

Тульский государственный университет,
Российская Федерация, Тула, leonora.borovkova@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы автоматической загрузки равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями. Представлены и проанализированы схемы загрузки и ориентирования таких деталей в различных конструкциях бункерных загрузочных устройств.

Ключевые слова: равноразмерные детали, автоматическая загрузка, бункерное загрузочное устройство.

AUTOMATIC FEEDING OF EQUAL-SIZED PARTS OF THE SHAPE OF BODIES OF ROTATION WITH TWO CAVITIES

E.V. Diakova

Tula State University,
Russia, Tula, leonora.borovkova@yandex.ru

The summary. The paper deals with the problems of automatic feeding of equal-sized parts of the shape of bodies of rotation with two cavities. The schemes of loading and orientation of such parts in various hopper-feeder device designs are presented and analyzed.

Keywords: equal-sized parts, automatic feeding, hopper-feeder device.

В настоящее время для получения некоторых элементов в отраслях приборо- и машиностроения появляются новые технологии. Одной из новых технологий данного процесса является операция двухстороннего полугорячего выдавливания тонкостенных деталей. При данной операции из прутка получают полуфабрикаты изделий, которые в дальнейшем необходимо автоматически и надежно загрузить в высокопроизводительные роторные линии для осуществления дальнейших технологических операций [1].

Общий вид такого полуфабриката показан на рисунке 1. Согласно приведенной в работе [2] классификации данную деталь можно отнести к сложной равноразмерной детали формы тел вращения с двумя полостями.

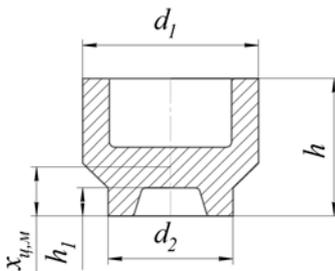


Рис. 1. Равноразмерная деталь формы тела вращения с двумя полостями

Для того чтобы обеспечить надежную автоматическую загрузку штучных деталей применяют механические бункерные загрузочные устройства (БЗУ), научные и методологические основы проектирования которых изложены в работах [3, 4]. Анализ показывает, что существует огромное разнообразие конструкций БЗУ для деталей, близких по форме и размерам рассмотренной на рисунке 1 детали [5]. Проанализируем самые известные конструкции для того чтобы определить, какие БЗУ способны обеспечить загрузки и ориентирование рассмотренной детали необходимой надежностью и производительностью.

На рисунке 2 показана схема возможного использования БЗУ с захватывающими органами в виде карманов для загрузки и ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями. Принцип работы БЗУ состоит в том, что запавшие в правильное положение детали в карманах надежно удерживаются, а неправильно ориентированные выпадают из них обратно в нижнюю часть бункера, где вновь западают в карманы. В данном БЗУ для деталей со смещением центра масс относительно середины применяют опрокидыватели, которые позволяют переориентировать неправильно запавшую в карман деталь, что способствует повышению фактической производительности по сравнению с другими типами. При применении данной конструкции для загрузки и ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями может возникнуть следующая проблема. Так как деталь имеет неявную симметрию, рассмотренная конструкция БЗУ не подходит, потому что не позволяет правильно ориентировать ее в устройстве.

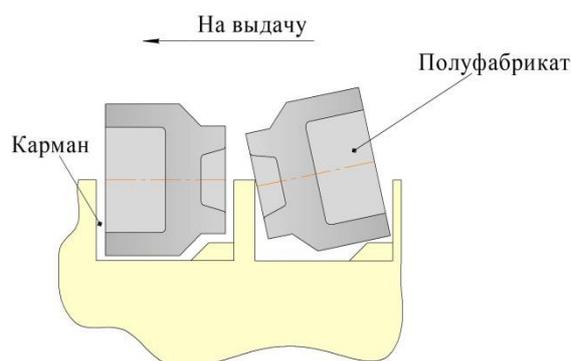


Рис. 2. Схема возможного ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями с помощью бункерного загрузочного устройства с захватывающими органами в виде карманов

Принцип работы БЗУ с крючками состоит в том, что захватывающие органы представлены в виде крючков, равномерно расположенных в несколько рядов на внутренней поверхности вращающегося барабана. Засыпанные в бункер детали, при вращении барабана надеваются на крючки и подаются в приемник, где снимаются потоком сжатого воздуха из специальных сопел. Детали, ненадежно захваченные на крючки при помощи волосяной щетки, досылаются на крючки. На рисунке 3 представлена схема возможного использования БЗУ с крючками для рассмотренных выше равноразмерных деталей с двумя полостями. Из схемы видно, что применение конструкции БЗУ для данных равноразмерных деталей становится сложным, так как они имеют две полости и крючки могут захватить ее как с одной стороны, так и с другой. Поэтому требуемое ориентирование рассмотренных деталей также невозможно применить при использовании БЗУ с роликами.

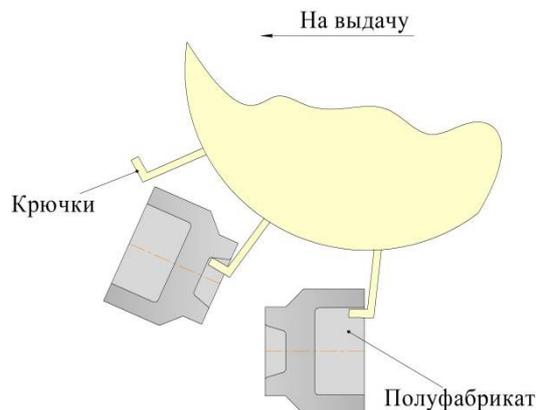


Рис. 3. Схема возможного ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями с помощью бункерного загрузочного устройства с крючками

Принцип работы БЗУ с пневмоориентированием заключается в следующем. Рабочий орган в виде диска имеет отверстия, через которые засасывается воздух так, что детали притягиваются в одном и том же положении к поверхности диска. Детали под действием собственного веса падают в канал, где установленные специальным образом сопла ориентируют их. На рисунке 4 показана схема возможного использования захвата и ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями при помощи БЗУ с пневмоориентированием. Процесс ориентирования нарушается по следующим причинам. Так как рассмотренная деталь является достаточно сложной в исполнении и имеет две полости, то данную конструкцию также невозможно применить для захвата и ориентирования деталей, так как воздух из сопел будет с равной вероятностью подаваться каждой из запавших в отверстие деталей.

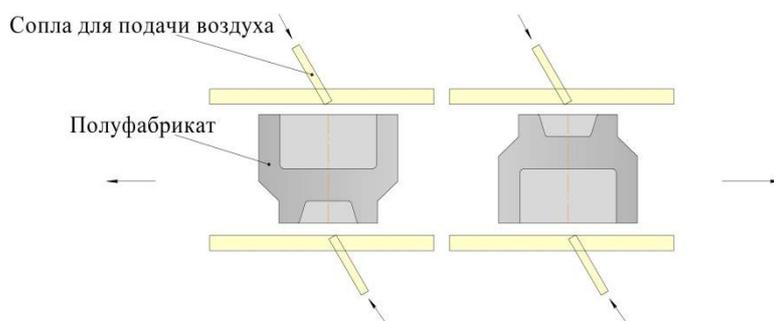


Рис. 4. Схема возможного ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями с помощью бункерного загрузочного устройства с пневмоориентированием

Еще одной известной конструкцией является БЗУ с вращающимися роликами [6]. В данной конструкции существует возможность быстро и просто изменять размер кармана, при помощи роликов для загрузки различных деталей. Принцип работы представляется следующим образом. Детали, засыпанные в бункер, захватываются рабочими органами, представленными в виде вращающихся роликов, которые находятся по периферии вращающегося диска. Детали, запавшие в полости между вращающимися роликами, направляются в разгрузочное окно, через которое попадают в приемник конструкции. Не полностью запавшие в захваты органы детали, выпадают под действием силы тяжести. Возможность использования конструкции БЗУ с вращающимися роликами для захвата и ориентирования, рассмотренных выше равноразмерных деталей представлена на рисунке 5.

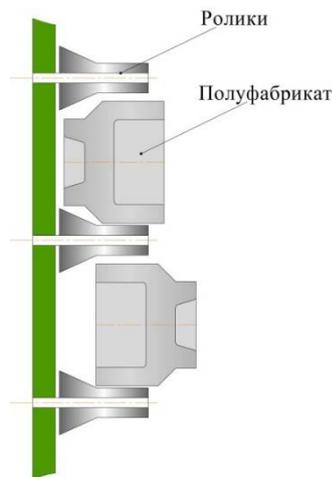


Рис. 5. Схема ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями с помощью бункерного загрузочного устройства с роликами

Анализируя конструкцию, можно сделать вывод о том, что также существует проблема использования данной конструкции для загрузки и ориентирования равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями. Так как деталь относится близко к равноразмерной, ее ориентирование является сложным в конструкции БЗУ с роликами, так как деталь может запасть в карманы в не требуемом для ориентации положении и в связи с этим не выпадет из полости между роликов.

Тем не менее, при анализе всех известных конструкций БЗУ приходим к выводу, что самой универсальной конструкцией является БЗУ с роликами, так как карман при помощи роликов можно изменять быстро и просто для загрузки и ориентирования любых деталей. Но данную конструкцию необходимо модернизировать для обеспечения надежного ориентирования деталей.

Таким образом, приходим к выводу, что геометрия любого изделия значительно влияет на характеристику подачи и ориентирования. Рассмотренная в процессе работы равноразмерная деталь формы тела вращения с двумя полостями является сложной, при ее загрузке и ориентировании в известные конструкции БЗУ возникают проблемы. При анализе всех конструкций, можно сказать, что самой оптимальной конструкцией можно считать БЗУ с вращающимися роликами. Для дальнейшего решения проблемы загрузки в данной конструкции следует осуществить ее совершенствование и провести теоретические и экспериментальные исследования, которые подтвердят надежность конструкции и ее работоспособность при подаче сложных равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями в высокопроизводительные роторные линии машино- и приборостроительных производств.

Библиографический список

1. Дьякова Э.В. Сравнительный анализ производительности бункерных загрузочных устройств с профильными карманами и вращающимися роликами / Э.В. Дьякова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021, № 10. – С. 450-455.
2. Boothroyd G. Assembly Automation and Product Design, Second Edition / G. Boothroyd – Taylor & Francis. – 2005. – pp. 536.
3. Пантюхина Е.В. Комплексная автоматизация пищевой промышленности / Е.В. Пантюхина. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2019. – 216 с.
4. Давыдова Е.В. Механические бункерные загрузочные устройства в пищевой промышленности / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. – 164 с.
5. Пузиков И.В. Автоматическая загрузка плоских и близких к равноразмерным асимметричных деталей в технологические машины и линии / И.В. Пузиков, Е.В. Пантюхина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012, № 10. – С. 513-522.
6. Патент № 170000. Бункерное загрузочное устройство / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, А.В. Чурочкин. Опубл. 11.04.2017. Бюл. № 11.

УДК 629.7.05.67; ГРНТИ 59.03.05

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ВЕЛИЧИНЫ И УГЛА НАПРАВЛЕНИЯ НАБЕГАЮЩЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

С.С. Мальцев

*Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ,
Российская Федерация, Казань, stakk1@bk.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются основные погрешности, влияющие на точность измерения величины и угла направления воздушного потока. Приведены способы повышения точности.

Ключевые слова: статическая погрешность, динамическая погрешность, собственная и вынужденная погрешности измерительного канала заданная точность, измерительный канал величины и угла направления набегающего воздушного потока.

ANALYSIS OF ERRORS AND PROVISION OF THE SET ACCURACY OF THE MEASURING CHANNEL OF THE VALUE AND ANGLE OF DIRECTION OF THE FORWARDING AIR FLOW

S.S. Maltsev

*Kazan National Research
technical university named after A. N. Tupolev - KAI,
Russian Federation, Kazan, stakk1@bk.ru*

Annotation. The paper considers the main errors that affect the accuracy of measuring the magnitude and angle of the direction of the air flow. Methods for increasing the accuracy are given.

Key words: static error, dynamic error, specified accuracy, measuring channel of the magnitude and angle of direction of the incoming air flow.

В наше время все чаще для решения тех или иных вопросов военных задач или же задач гражданского характера в большей мере используются вертолеты, нежели малоразмерные самолеты. В связи с этим увеличение безопасности и сведение к минимуму аварийных ситуаций имеет основополагающую цель в проектировании и производстве вертолетной техники Российской Федерации.

По причине интенсивного использования вертолетов в том числе в ночное время, требуется значительное увеличение точности бортовых систем автоматического управления и технических систем вертолета, что обуславливает актуальность расширения имеющихся средств измерения пилотажно-навигационных параметров и средств обработки информации вертолета. Ультразвуковой метод измерения параметров воздушного потока имеет ряд преимуществ над флюгерными и ионно-меточными измерителями, основным из которых является уменьшение количества каналов с повторяющимися элементами и малые погрешности выделения и преобразования частотных сигналов [1], что обеспечивает их конкурентные преимущества.

Ультразвуковые датчики скорости и различные расходомеры, термоанемометры на их основе имеют широкое применение в метеорологии, экологии, военной технике, а также в научных исследованиях физических процессов в атмосферном приземном слое [2]. Подобные приборы в настоящее время выпускаются многими зарубежными фирмами: Applied Technologies (США), Climatronics Corporation (США), Gill Instruments Ltd. (Великобритания), Vaisala (Финляндия), Metek (ФРГ), и др. Одной из основных проблем измерения величины и угла направления набегающего воздушного потока ультразвуковым измерительным каналом является наличие различного рода погрешностей [3]. Был разработан и проанализирован типовой измерительный канал на основе ультразвукового метода.

В первую очередь необходимо произвести анализ статической точности проектируемого канала величины и угла направления набегающего воздушного потока. Исходным для решения данной задачи являются уравнение для дисперсии результирующей статической погрешности проектируемого канала на основе ультразвукового метода:

$$\sigma^2_{\Delta W} = \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta f_1} \right)^2 \sigma^2_{\Delta \Delta f_1} + \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta f_2} \right)^2 \sigma^2_{\Delta \Delta f_2} + \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta L} \right)^2 \sigma^2_{\Delta L} + \sigma^2_{обр}, \quad (1)$$

где $\sigma^2_{\Delta \Delta f_1}, \sigma^2_{\Delta \Delta f_2}, \sigma^2_{\Delta L}, \sigma^2_{обр}$ - среднеквадратические значения соответствующих погрешностей.

Для расчета статической погрешности необходимо определить требования к датчикам первичной информации, каналам преобразования и обработки информации, следовательно, их среднеквадратические значения случайных погрешностей[4].

По реальным значениям случайных погрешностей датчиков первичной информации, аналого-цифрового преобразователя и устройства обработки информации определяется дисперсия суммарной статической погрешности проектируемого канала по формуле:

$$\sigma^2_{\Delta W} = \left(\frac{\partial W}{\partial P_{II}} \right)^2 \sigma^2_{\Delta P_{II}} + \left(\frac{\partial W}{\partial P_{CT}} \right)^2 \sigma^2_{\Delta P_{CT}} + \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta \phi_1} \right)^2 \sigma^2_{\Delta \phi_1} + \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta \phi_2} \right)^2 \sigma^2_{\Delta \phi_2} \left(\frac{\partial W}{\partial \Delta L} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial T} \right) \sigma_{\Delta T} + \left(\frac{\partial W}{\partial (P_{II} - P_{CT})} \right) \sigma_{\Delta \phi (P_{II} - P_{CT})} + \sigma^2_{обр}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\Delta V_{\Sigma}}, \sigma_{\Delta P_{II\Sigma-CT\Sigma}}, \sigma_{\Delta P_{CT\Sigma}}, \sigma_{\Delta T_{T\Sigma}}, \sigma_{\Deltaобр}$ - среднеквадратические значения соответствующих случайных погрешностей.

По данным расчетам можно определить соответствие статической погрешности проектируемого измерительного канала величины и угла направления набегающего воздушного потока требуемым нормам.

Далее проведем анализ динамической точности проектируемого измерительного канала величины и угла направления набегающего воздушного потока. Для этого нам необходимо знать:

1) Передаточную функцию измерительного канала $W(p)$, определяющую структуру и его параметры.

$$W(p) = K \cdot \frac{1}{1+Tp}. \quad (3)$$

2) Характеристики случайного входного сигнала и случайной помехи, приведенной ко входу измерительного канала, в виде автокорреляционных функций $K_x(\tau)$ и $K_{\zeta}(\tau)$ или спектральных плотностей мощности $S_x(\omega)$ и $S_{\zeta}(\omega)$.

$$S_{\beta}(\omega) = \frac{\sigma_{\beta}^2}{\pi} \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad (4)$$

$$K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\frac{1}{b}|\tau|}. \quad (5)$$

Обозначим $\frac{\sigma_\beta^2}{\pi} = \alpha^2$, $\frac{\sigma_\xi^2}{\pi} = \chi^2$, тогда спектральные плотности мощности принимают вид

$$S_\xi(\omega) = \frac{\chi^2 a}{a^2 + \omega^2}; \quad S_\beta(\omega) = \frac{a^2 b}{b^2 + \omega^2}. \quad (6)$$

Необходимо определить дисперсию суммарной динамической погрешности измерительного канала. Решение данной задачи проводится с использованием уравнения дисперсии случайной динамической погрешности и его приведения к табличному интегралу.

$$\sigma_\Sigma^2 = \sigma_c^2 + \sigma_\theta^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{ук}(s) - W_{И}(s)|_{s=j\omega}^2 S_x(\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{ук}(s)|_{s=j\omega}^2 S_\xi(\omega) d\omega, \quad (7)$$

где $W_{И}(p) = 1$.

Далее определим динамическую погрешность неоптимизированного канала (до фильтрации):

$$\sigma_\Sigma^2 = \sigma_c^2 + \sigma_\theta^2, \quad (8)$$

где σ_c^2 и σ_θ^2 дисперсии собственной и вынужденной составляющей погрешности неоптимизированного канала.

$$\begin{aligned} \sigma_\Sigma^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{K}{1 + 2\xi Tp + T^2 p^2} - 1 \right|_{s=j\omega}^2 = \frac{a^2 b}{(b^2 + \omega^2)} d\omega + \\ &+ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{K}{1 + 2\xi Tp + T^2 p^2} - 1 \right|_{s=j\omega}^2 \cdot \frac{\chi^2}{(a^2 + \omega^2)} d\omega \end{aligned} \quad (9)$$

Будем считать σ_c^2 и σ_θ^2 дисперсии собственной и вынужденной составляющей погрешности отдельно.

Дисперсию собственной составляющей погрешности неоптимизированного канала находится следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_c^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{ук}(s) - W_{И}(s)|_{s=j\omega}^2 S_{\Delta H}(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{Ke^{-\tau s}}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2} - 1 \right|_{s=j\omega}^2 \cdot \frac{\alpha^2 b}{(b^2 + \omega^2)} d\omega \\ \sigma_c^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{Ke^{-\tau s} - 1 - 2\xi Ts - T^2 s^2}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2} \cdot \frac{\alpha\sqrt{b}}{(b+s)} \right|_{s=j\omega}^2 d\omega \end{aligned} \quad (10)$$

Так как звено чистого запаздывания $e^{-\tau p}$ не изменяет уровня и формы сигнала, а лишь вносит запаздывание во времени на величину τ , то его можно не учитывать. Используя табличные интегралы находим дисперсию собственной составляющей погрешности:

$$J_1 = \frac{g_2^2 d_0 d_1 + (g_1^2 - 2g_0 g_2) d_0 d_3 + d_0^2 d_2 d_3}{2d_1 d_3 (d_1 d_2 - d_0 d_3)} \quad (11)$$

Для нахождения дисперсии вынужденной составляющей погрешности неоптимизированного канала проведем следующие расчеты:

$$\begin{aligned} \sigma_\varepsilon^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W_{\text{ук}}(s)|_{s=j\omega}^2 S_\xi(\omega) d\omega; \\ \sigma_\varepsilon^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{Ke^{-\tau s}}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2} \right|_{s=j\omega}^2 \frac{\chi^2 a}{(a^2 + \omega^2)} d\omega; \\ \sigma_\varepsilon^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{Ke^{-\tau s}}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2} \cdot \frac{\chi\sqrt{a}}{(a+s)} \right|_{s=j\omega}^2 d\omega. \end{aligned} \quad (12)$$

Также, как и в случае с собственной составляющей погрешности, используем табличные интегралы.

Полученные значения подставляем в формулу $\sigma_\Sigma^2 = \sigma_c^2 + \sigma_\varepsilon^2$ и получаем суммарную дисперсию погрешности неоптимизированного канала величины и угла направления набегающего воздушного потока.

Динамическая точность измерительного канала можно повысить посредством использования оптимальных линейных фильтров. Для фильтрации случайных помех, действующих на измерительные каналы измерительно-вычислительных систем (ИВС), необходимо установить на выходе из них линейные фильтры, выбрать структуру и параметры которых так, чтобы обеспечить эффективную фильтрацию помех и допустимые динамические искажения при изменении сигнала $x(t)$. На практике в ИВС с независимыми измерительными каналами наиболее широко применяются линейные оптимальные фильтры Винера.

Библиографический список

1. Никитин, А.В., Солдаткин В.М. Система измерения параметров вектора ветра и истинной воздушной скорости — Датчики и системы, 4-е изд. — Казань, 2015.
2. Богушевич А.Я. Оптика атмосферы и океана. 12, № 2, 1999.
3. International standard: ISO 16622-2002. Meteorology — Sonic anemometers/thermometers — Acceptance test methods for means wind measurements.
4. Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. М.: Машиностроение, 1976.

УДК 681.51; ГРНТИ 50.43.19

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ МНОГОРЕЖИМНЫМ ОБЪЕКТОМ ПО ВЫХОДУ В СХЕМЕ С НЕЯВНЫМ ЭТАЛОНОМ

С.А. Смирнова

*Амурский государственный университет,
Российская федерация, Благовещенск, sofya-books-1999@mail.ru*

Аннотация. Исследована задача комбинированного управления априорно неопределенным нестационарным объектом с переключениями, управляющий контур которого строится по критерию гиперустойчивости и условиям L-диссипативности, с использованием в схеме с неявным эталоном двух фильтр-корректоров. Подчеркнуто, что измерению доступны только скалярный вход и выход системы, а не их производные, а на каждую из подсистем действуют ограниченные внешние помехи.

Ключевые слова: система с переключениями, неизвестный относительный порядок объекта, структурно -параметрическая неопределенность, ограниченная внешняя помеха, задающий и выходной фильтр-корректор, неявный эталон, комбинированное управление, критерий гиперустойчивости, условия L-диссипативности.

DEVELOPMENT OF A COMBINED CONTROL SYSTEM OF A NON-STATIONARY MULTI-MODE OBJECT AT THE OUTPUT IN A CIRCUIT WITH AN IMPLICIT STANDARD

S.A. Smirnova

*Amur State University,
Russian Federation, Blagoveshchensk, sofya-books-1999@mail.ru*

Abstract. The problem of combined control of an a priori undefined non-stationary object with switchings is investigated, the control loop of which is constructed according to the criterion of hyperstability and L-dissipativity conditions, using two filter correctors in a scheme with an implicit standard. It is emphasized that only the scalar input and output of the system, and not their derivatives, are available for measurement, and limited external interference acts on each of the subsystems.

Keywords: switched system, unknown relative order of the object, structural -parametric uncertainty, bounded external noise, master and output filter-corrector, implicit standard, combined control, criterion for hyperstability, L-dissipativity conditions.

Среди систем автоматического управления особое внимание уделяется описанию моделей переключающихся систем, в которых переключения происходят за счет влияния различных факторов внешней среды или изменения условий функционирования системы. В результате действия переключений не только параметры, но и структура динамической системы будут подвержены изменениям, что является главной особенностью данной работы, помимо этого, присутствуют и дополнительные характеристики, усложняющие процесс проектирования, к примеру, – нестационарность, действие внешних помех и недоступность фазовых координат прямому измерению.

В настоящей статье, опираясь на результаты [1 – 3], синтезируется комбинированный алгоритм управления нестационарным объектом на множестве состояний функционирования, действующий в условиях структурно-параметрической неопределенности и ограниченных внешних помехах. Функциональная схема рассматриваемой системы управления представлена на рисунке 1.

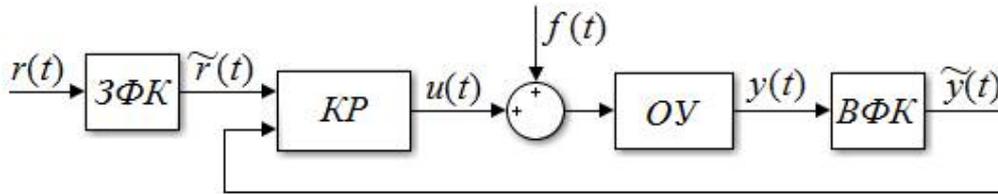


Рис. 1. Функциональная схема системы комбинированного управления, где ОУ – объект управления; КР – комбинированный регулятор; ЗФК и ВФК – задающий и выходной фильтр-корректоры

Здесь уместно подчеркнуть, что система управления должна работать следующим образом: если от ЗФК на вход основного контура системы поступит сигнал $\tilde{r}(t)$, то на его выходе (совпадающем с выходом ВФК) будет формироваться сигнал $\tilde{y}(t) \cong \tilde{r}(t)$, причем на выходе ОУ это будет происходить за счет такого сигнала $y(t)$, что должно иметь место эффективное отслеживание задающего сигнала $r(t)$, т.е. $y(t) \cong r(t)$.

Математическое описание системы управления

Предполагается, что в условиях априорной неопределенности происходит поэтапное изменение параметров ОУ на промежутках времени: $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_k$. Зададим математическую модель ОУ в пространстве состояний:

$$\begin{aligned} \frac{dx^{(k)}(t)}{dt} &= A^{(k)} x^{(k)}(t) + B^{(k)} \left((1 + \beta^{(k)}(t)) \left(u^{(k)}(t) + C^T x^{(k)}(t) + f^{(k)}(t) \right) \right), x_0^{(k)} = x^{(k)}(0), \dots \dots \dots (1) \\ y^{(k)}(t) &= C^T x^{(k)}(t) \end{aligned}$$

где $x^{(k)}(t) = [x_1^{(k)}(t) \ x_2^{(k)}(t) \ \dots \ x_n^{(k)}(t)]^T$ – составной вектор состояния;

$$A^{(k)} = \begin{pmatrix} a_1^{(k)} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_2^{(k)} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n^{(k)} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \text{ – стационарные матрицы } n \times n;$$

$C = [1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$ – вектор размерности $1 \times n$;

$B^{(k)} = [0 \ \dots \ 0 \ b_0^{(k)} \ b_1^{(k)} \ \dots \ b_m^{(k)}]^T$ – стационарные вектора;

$\beta^{(k)}(t)$ – скалярные временные функции;

$u^{(k)}(t)$ и $y^{(k)}(t)$ – скалярное управление и выход;

$f^{(k)}(t)$ – внешние помехи.

При этом ОУ в операторной форме записи будет иметь вид:

$$y^{(k)}(t) = \frac{b^{(k)}(p)}{a^{(k)}(p)} \theta^{(k)}(t) = W_{OU}^{(k)}(p) \theta^{(k)}(t), \tag{2}$$

где $\theta^{(k)}(t) = (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + C^T x^{(k)}(t) + f^{(k)}(t))$;

$W_{OU}^{(k)}(p)$ – передаточная функция линейной части объекта;

$a^{(k)}(p) = p^n + a_1^{(k)} p^{n-1} + \dots + a_{n-1}^{(k)} p + a_n^{(k)}$ – полиномы с произвольным расположением корней в комплексной плоскости $\text{deg } a^{(k)}(p) = n$;

$b^{(k)}(p) = b_0^{(k)} p^{m^{(k)}} + b_1^{(k)} p^{m^{(k)}-1} + \dots + b_{m^{(k)}-1}^{(k)} p + b_{m^{(k)}}^{(k)}$ – гурвицевы полиномы $\deg b^{(k)}(p) = m^{(k)}$;

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

Будем считать, что между подсистемами уравнения (1) имеет место преемственность траекторий:

$$x^{(k+1)}(t_k) = x^{(k)}(t_k). \tag{3}$$

Помимо этого, предполагается, что функционирование ОУ (2) происходит при следующих допущениях:

1. Показатель $m^{(k)}$ на каждом промежутке времени $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_k$ может принимать любое значение в диапазоне: $m_0 \leq m^{(k)} \leq n-1$, где $m_0 \geq 0$, n – известные значения. В связи с этим, относительная степень ОУ $p^{(k)} = n - m^{(k)}$ ограничена диапазоном: $1 \leq p^{(k)} \leq n - m_0$;

2. Значения нестационарных параметров $\beta^{(k)}(t)$ ограничены и определены с точностью до диапазонов:

$$0 < \underline{\beta}^{(k)} \leq \beta^{(k)}(t) \leq \overline{\beta}^{(k)}, \text{ где } \underline{\beta}^{(k)}, \overline{\beta}^{(k)} \text{ – известные числа;} \tag{4}$$

3. Неизвестная функция $f^{(k)}(t)$, удовлетворяющая неравенству:

$$|f^{(k)}(t)| \leq f_0^{(k)} = const, \text{ где } f_0^{(k)} \text{ – известные числа;} \dots \tag{5}$$

4. Непосредственному измерению доступны только выход $y^{(k)}(t) = x_1^{(k)}(t)$ и вход $u^{(k)}(t)$, а не их производные.

Поскольку верхний предел $\max p^{(k)} = n - m_0$ известен, целесообразно, следуя [4], подключить к ОУ выходной фильтр-корректор (ВФК), тогда будет справедлива следующая цепочка равенств:

$$\begin{aligned} y_{\phi}^{(k)}(s) &= W_{OY}^{(k)}(s) \cdot W_{BФК}^{(k)}(s) \theta^{(k)}(s) = \left(\frac{b^{(k)}(s)}{a^{(k)}(s)} \right) \cdot \left(\frac{\mathcal{Q}(s)}{\mathcal{Q}_*(s)} \right) \theta^{(k)}(s) = \\ &= \frac{b^{(k)}(s) \cdot (Ts + 1)^{n-m_0-1}}{a^{(k)}(s) \cdot (T_*s + 1)^{m^{(k)}-m_0}} \cdot \frac{1}{(T_*s + 1)^{n-m^{(k)}-1}} \theta^{(k)}(s) = W_{BOY}^{(k)}(s) \cdot W_{BCB}^{(k)}(s) \theta^{(k)}(s) \end{aligned} \tag{6}$$

где s – комплексная переменная, $y_{\phi}^{(k)}(s)$ – выход фильтра-корректора, T_* и T – постоянные времени, причем T_* , согласно [4 – 6], – достаточно малое по величине, а полиномы $\mathcal{Q}_*(s)$ и $\mathcal{Q}(s)$ – гурвицевы, $W_{BФК}^{(k)}(s)$ и $W_{OY}^{(k)}(s)$ – передаточные функции ВФК и ОУ, которая позволяет ввести в рассмотрение, подобно [1 – 3], математические модели *видоизмененного ОУ* (ВОУ) и *блока структурного возмущения* (БСВ):

$$W_{BOY}^{(k)}(s) = \frac{b^{(k)}(s) \cdot (Ts + 1)^{n-m_0-1}}{a^{(k)}(s) \cdot (T_*s + 1)^{m^{(k)}-m_0}}, \tag{7}$$

$$W_{BCB}^{(k)}(s) = \frac{1}{(T_*s + 1)^{n-m^{(k)}-1}}. \tag{8}$$

Теперь в соответствии с произведенными преобразованиями (6), ВОУ имеет фиксированное значение относительной степени: $p^{(k)} = 1$, но при этом относительная степень БСВ остается переменной величиной. Достаточно малая величина постоянной времени T_* позволяет уравнения динамики ОУ с ВФК вида (2), (6) заменить уравнениями, описывающими динамику ВОУ (7).

Тогда упрощенную модель можно представить в пространстве состояний в виде, аналогичном виду (1), но с размерностью вектора состояний $n + m^{(k)} - m_0 = l$:

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{x}^{(k)}(t)}{dt} &= \tilde{A}^{(k)} \tilde{x}^{(k)}(t) + \tilde{B}^{(k)} (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + \tilde{C}^T \tilde{x}^{(k)}(t) + f^{(k)}(t)), \quad \tilde{x}_0^{(k)} = \tilde{x}^{(k)}(0), \\ \tilde{y}^{(k)}(t) &= \tilde{C}^T \tilde{x}^{(k)}(t) = \tilde{x}_1^{(k)}(t) \end{aligned} \quad (9)$$

где $\tilde{x}^{(k)}(t) = [\tilde{x}_1^{(k)}(t) \quad \tilde{x}_2^{(k)}(t) \quad \dots \quad \tilde{x}_l^{(k)}(t)]^T$ – составной вектор состояния;

$\tilde{A}^{(k)} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_1^{(k)} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \tilde{a}_2^{(k)} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{a}_l^{(k)} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$ – стационарные матрицы $l \times l$; $\tilde{C} = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0]^T$ – вектор раз-

мерности $1 \times l$; $\tilde{B}^{(k)} = [\tilde{b}_0^{(k)} \quad \tilde{b}_1^{(k)} \quad \dots \quad \tilde{b}_{l-1}^{(k)}]^T$ – стационарные вектора размерности $1 \times l$; $\tilde{y}^{(k)}(t)$ – скалярный выход. На основе которой запишем передаточную функцию линейной части:

$$W_{BOY}^{(k)}(s) = \tilde{C}^T (Ej\omega - \tilde{A}_m^{(k)})^{-1} \tilde{B}^{(k)} = \frac{\tilde{b}_0^{(k)} s^{l-1} + \tilde{b}_1^{(k)} s^{l-2} + \dots + \tilde{b}_{l-2}^{(k)} s + \tilde{b}_{l-1}^{(k)}}{s^l + \tilde{a}_1^{(k)} s^{l-1} + \dots + \tilde{a}_{l-1}^{(k)} s + \tilde{a}_l^{(k)}} = \frac{\tilde{b}^{(k)}(s)}{\tilde{a}^{(k)}(s)}. \quad (10)$$

Для задания желаемого качества переходных процессов ОУ (9) воспользуемся неявным эталоном. Пусть желаемая динамика выхода ОУ – $r(t)$ совместно с задающим ФК образует сигнал $\tilde{r}(t)$:

$$\tilde{r}(s) = W_{\text{зФК}}(s) r(s) = \frac{\mathcal{G}(s)}{\mathcal{G}_*(s)} r(s). \quad (11)$$

Известно, что с использованием коэффициента $\chi_*^{(k)} \gg 1$ или $\chi_*^{-1(k)} \cong 0$, неявную эталонную модель можно представить в операторном виде:

$$y_m^{(k)}(t) = \frac{\chi_*^{(k)}}{p + \chi_*^{(k)}} \tilde{r}(t) = \frac{1}{\chi_*^{-1(k)} p + 1} \tilde{r}(t), \quad (12)$$

допускающее преобразование:

$$y_m^{(k)}(t) = \frac{\chi_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{(p + \chi_*^{(k)}) \tilde{b}^{(k)}(p)} \tilde{r}(t) \cong \frac{\tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{\tilde{a}^{(k)}(p) + \chi_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)} \tilde{r}(t) = \frac{\tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{b}^{(k)}(p)}{\tilde{a}_*^{(k)}(p)} \tilde{r}(t), \quad (13)$$

где $\tilde{a}_*^{(k)}(p) = p^l + (\tilde{a}_1^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_0^{(k)}) p^{l-1} + \dots + (\tilde{a}_{l-1}^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_{l-2}^{(k)}) p + \tilde{a}_l^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{b}_{l-1}^{(k)}$; $\tilde{\chi}_*^{(k)} = \chi_*^{(k)} \tilde{b}_0^{-1(k)}$.

Тогда для ВОУ (9) эталонная модель в пространстве состояний будет иметь вид:

$$\frac{d\tilde{x}_m^{(k)}(t)}{dt} = \tilde{A}_m^{(k)} \tilde{x}_m^{(k)}(t) + \tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{B}^{(k)} \tilde{r}(t), \quad \tilde{y}_m^{(k)}(t) = \tilde{C}^T \tilde{x}_m^{(k)}(t), \quad (14)$$

где $\tilde{x}_m^{(k)}(t) = [\tilde{x}_{1m}^{(k)}(t) \ \tilde{x}_{2m}^{(k)}(t) \ \dots \ \tilde{x}_{lm}^{(k)}(t)]^T$ – вектор состояния эталона;

$\tilde{A}_m^{(k)} = \tilde{A}^{(k)} + \chi_*^{(k)} \tilde{B}^{(k)} \tilde{C}^T$ – эталонная матрица состояния;

$\chi_*^{(k)} > 0$ – достаточно большие постоянные величины, согласно [7];

$y_m^{(k)}(t)$ – выход эталона.

С учетом соотношений $\chi_*^{(k)} \gg 1$ или $\chi_*^{-1(k)} \cong 0$, возможно выполнение равенства:

$$y_m^{(k)}(t) \cong \tilde{r}(t). \quad (15)$$

Постановка задачи

Для ОУ (9), функционирующего в условиях структурно-параметрической неопределенности, необходимо синтезировать *явный вид закона управления*:

$$u^{(k)}(t) = u(\tilde{y}^{(k)}(t), \tilde{r}(t)), \quad (16)$$

такой, чтобы при любых начальных условиях, ограниченных помехах и измерении только регулируемого выхода ОУ, была возможна при $t \rightarrow \infty$ *вспомогательная цель управления*:

$$|\tilde{y}_m^{(k)}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t)| \cong |\tilde{r}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t)| \leq \tilde{\delta}_0 = const, \quad (17)$$

где $\tilde{\delta}_0$ – ограниченная величина.

Тогда в силу существования данных соотношений (14) – (16) и двух эквивалентных ФК (6), (11) будут выполнены требования при $t \rightarrow \infty$ *основной цели управления*:

$$|r(t) - y^{(k)}(t)| \leq \delta_0, \quad (18)$$

где δ_0 – максимально допустимая ошибка.

Синтез алгоритмов комбинированной системы управления

Используя отклонение между переменными состояниями ВОУ и эталонной модели (9), (14) в виде $e^{(k)}(t) = \tilde{x}_m^{(k)}(t) - \tilde{x}^{(k)}(t)$, динамическую модель можно представить:

$$\begin{aligned} \frac{de^{(k)}(t)}{dt} &= \tilde{A}_m^{(k)} e^{(k)}(t) + \tilde{B}^{(k)} \mu^{(k)}(t), \quad e_0^{(k)} = e^{(k)}(0) = \tilde{x}_0^{(k)} \\ v^{(k)}(t) &= \tilde{C}^T e^{(k)}(t) = \tilde{y}_m^{(k)}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t) = \tilde{r}(t) - \tilde{y}^{(k)}(t), \\ \mu^{(k)}(t) &= \tilde{\chi}_*^{(k)} \tilde{r}(t) + \chi_* \tilde{y}^{(k)}(t) - (1 + \beta^{(k)}(t)) (u^{(k)}(t) + \tilde{y}^{(k)}(t) + f^{(k)}(t)) \end{aligned} \quad (19)$$

где $v^{(k)}(t)$ и $\mu^{(k)}(t)$ – видоизмененный регулируемый выход и управление.

Так как синтез алгоритмов управления происходит по критерию гиперустойчивости, то, подобно работам [3, 4], необходимо обеспечить выполнение *положительности линейной части системы (19) и интегрального неравенства В.М.Попова (ИНП)*:

$$1. \operatorname{Re}(\tilde{C}^T (Ej\omega - \tilde{A}_m^{(k)})^{-1} \tilde{B}^{(k)}) > 0, \omega \geq 0. \quad (20)$$

Передаточная функция линейной части системы, см. (12), эквивалента аperiodическому звену 1-го порядка, на основании этого имеет место выполнение условия (20).

$$2. h^{(k)}(0, t) = -\int_0^t v^{(k)}(v) \mu^{(k)}(v) dv > -h_0^{(k)} = const, t > 0. \quad (21)$$

При задании управления в виде сигнала:

$$\begin{aligned}
u^{(k)}(t) = & h_{12} \tilde{r}(t) \int_0^t \tilde{r}(v) v^{(k)}(v) dv + h_{12} (\tilde{r}(t))^2 v^{(k)}(t) + h_{21} \tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) \int_0^t \tilde{y}_{sat}^{(k)}(v) v^{(k)}(v) dv + \\
& + h_{22} (\tilde{y}_{sat}^{(k)}(t))^2 v^{(k)}(t) + h_{31} \int_0^t v^{(k)}(v) dv + h_{32} v^{(k)}(t) \quad , \quad (22) \\
\tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) = & sat(\tilde{y}^{(k)}(t)), \quad \tilde{v}^{(k)}(t) = \tilde{r}(t) - \tilde{y}_{sat}^{(k)}(t)
\end{aligned}$$

где $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}, h_{31}, h_{32} = const > 0$, будет разрешимо ИНП. Для ослабления влияния в переходных процессах пиков, нарушающих устойчивость функционирования систем управления, ограничиваем сигнал $\tilde{y}^{(k)}(t)$ на выходе ВФК, подобно [3], нелинейностью типа «насыщение».

Таким образом, в комбинированной системе с неявным эталоном и двумя ФК (1), (6), (11), (22), предназначенной для управления нестационарным объектом с переключениями, синтезирован регулятор минимальной структурной сложности (22).

Пример имитационного моделирования системы

Рассмотрим комбинированную систему (1), (6), (11), (22), для которой в момент времени $t_1 = 40$ с возникает структурно-параметрическое переключение:

1. $0 < t < t_1$

$$A^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ -3 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}; B^{(1)} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 1 \\ 0.5 \end{pmatrix}; f^{(1)}(t) = 3 \sin(0.7t); (x^{(1)}(0))^T = [0.5 \quad 0.5 \quad 0.5]; \beta^{(1)}(t) = 2 + 1.5 \sin(2t);$$

2. $t \geq t_1$

$$A^{(2)} = \begin{pmatrix} -2.7 & 1 & 0 \\ 0.5 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 \end{pmatrix}; B^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.4 \\ 2 \end{pmatrix}; f^{(2)}(t) = -\cos^2(0.6t); x^{(2)}(t_1) = x^{(1)}(t_1); \beta^{(2)}(t) = 1 - 0.5 \cos^2(2t).$$

Подсистемы являются неустойчивыми с максимальной относительной степенью: $\max(p^{(k)}) = 2$. Зададим постоянные параметры: уравнение задающего и выходного фильтр-

корректора $W_{зфк} = W_{вфк} = \frac{0.1s + 1}{0.005s + 1}$; задающее воздействие — $r(t) = 0.3 \sin(0.2t) - 0.8 \sin(0.5t) - 0.5 \sin(0.25t)$; значения, необходимые для задания управления (39): $h_{11} = 4000; h_{12} = 20; h_{21} = 6000; h_{22} = 30; h_{31} = 1500; h_{32} = 20$;

$$\tilde{y}_{sat}^{(k)}(t) = sat(\tilde{y}^{(k)}(t)) = \begin{cases} -10 & \text{при } \tilde{y}^{(k)}(t) \leq -10 \\ \tilde{y}^{(k)}(t) & \text{при } |\tilde{y}^{(k)}(t)| < 10 \\ 10 & \text{при } \tilde{y}^{(k)}(t) \geq 10 \end{cases}$$

На рисунке 2 представлены графики регулируемого выхода $y^{(k)}(t)$ и задающего воздействия $r(t)$, ошибки рассогласования $y^{(k)}(t) - r(t)$, внешнего ограниченного возмущения $f^{(k)}(t)$ и управляющего воздействия $u^{(k)}(t)$.

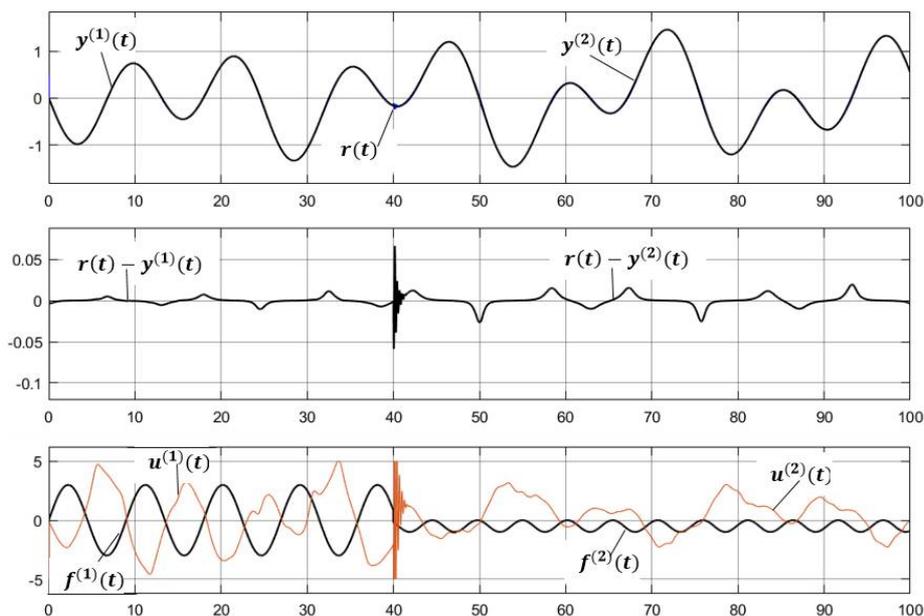


Рис. 2. Динамические процессы в комбинированной системе управления

В результате проведения имитационного моделирования ошибка рассогласования принимает значение около 0.025%, кроме начального участка траектории системы и периодов, возникающих сразу после переключения, где наблюдаются резкие скачки. Малая ошибка подтверждает, что разработанные алгоритмы обеспечивают хорошее качество управления.

Библиографический список

1. Еремин Е.Л. Адаптивное управление динамическим объектом на множестве состояний функционирования // Информатика и системы управления. - 2012. - № 4(34). - С. 107-118.
2. Еремин Е.Л. Комбинированная система с неявным эталоном для класса априорно неопределенных одноканальных объектов неаффинных по управлению на множестве состояний функционирования // Информатика и системы управления. - 2018. - № 3(57). - С. 93-103.
3. Еремин Е.Л., Никифорова Л.В., Шеленок Е.А. Комбинированная нелинейная система управления с неявным эталоном для априорно неопределенного неаффинного двухканального объекта с запаздываниями по выходу // Информатика и системы управления. - 2020. - № 1(63). - С. 95-108.
4. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурных возмущениях. IV // Информатика и системы управления. - 2013. - № 2(36). - С. 100-106.
5. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. II. // Информатика и системы управления. - 2007. - № 1(13). - С. 130-139.
6. Еремин Е.Л. L-диссипативность гиперустойчивой системы управления при структурном возмущении. I. // Информатика и системы управления. - 2006. - № 2(12). - С. 94-101.
7. А. Л. Фрадков, Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта, Автомат. и телемех., 1974, выпуск 12, 96-103.

УДК 004.92, 004.94; ГРНТИ 50.51.02

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ВАЛ» ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИНТЕГРАЦИИ С САПР-СИСТЕМОЙ

О.В. Миловзоров, Н.В. Грибов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, milovzorov_542@inbox.ru*

Аннотация. Рассматриваются принципы формирования типовых 3D-моделей валов для конструкторско-технологического проектирования. Особенностью выполненного анализа является ориентация на интеграцию систем конструкторского проектирования класса САД и систем проектирования маршрутно-операционной технологии САПР.

Ключевые слова: конструкторско-технологическое проектирование, деталь типа «вал», 3D-моделирование, интеграция САД и САПР-систем.

TO THE ISSUE OF FORMING TYPICAL PART OF "SHAFT" TYPE 3D-MODELS FOR FURTHER INTEGRATION WITH CAPP SYSTEM

O.V. Milovzorov, N.V. Gribov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, milovzorov_542@inbox.ru*

Abstract. The principles of formation of typical 3D models of shafts for constructive-technological design are considered. The peculiarity of the analysis is the orientation towards integration of CAD design systems and route-operating technology design systems CAPP.

Ключевые слова: engineering, shaft part, 3D modeling, integration of CAD and CAPP systems.

В машиностроении 60% деталей являются телами вращения, причем 30% из них являются валами или осями. Изготовление валов осуществляется на оборудовании, в которых управление перемещением режущего инструмента происходит по двум координатам – диаметральному размеру X и осевому Z . В связи с этим конструкторская документация чаще всего представляется в виде двухмерного чертежа. При таком подходе не используются возможности современных систем САПР. Для их реализации необходимо строить 3D модели. Другим важным моментом является разработка технологического процесса изготовления детали, которая должна содержать определенный пакет документации - описание техпроцесса маршрутными и операционными картами, что дополнительно необходимо для сертификации продукции и планирования производства.

Поэтому проектирование валов необходимо вести на основе параметрической обобщенной 3D-модели и информационной модели детали с учетом дальнейшего автоматизированного проектирования маршрутно-операционного технологического процесса в САПР-системе.

Информационная модель вала

Рассмотрим информационную модель вала в плане технологии его механической обработки. Любой вал можно представить в виде его базового конструктива и элементов его конструктивного обогащения [1, 2]. Если рассматривать вал в его двухмерной проекции (т.е. в тех координатах, по которым собственно и осуществляется перемещение инструмента), то базовый конструктив – это контур детали, образованный его основными поверхностями. В их число входят ступени вала - цилиндрические поверхности, главным образом – наружные (внешние) и торцовые поверхности. В отдельных случаях, когда в валу имеются отверстия, в базовый конструктив могут войти и внутренние цилиндрические поверхности. Торцевые и цилиндрические поверхности формируются в процессе черновой и чистовой обработок, выполняемых на соответствующих технологических переходах в рамках одной операции, при условии их разбиения в соответствии с этапами обработки, обеспечивающими сходную точность.

На основании подготовленного базового конструктива осуществляется обработка вала, при этом на нем формируются необходимые дополнительные конструктивные элементы, которые можно представить как элементы конструктивного обогащения. К таковым можно отнести канавки, винтовые поверхности постоянного шага (резьбы), отверстия (центровые, продольные, или поперечные), пазы, лыски, и др. Как правило, для таких элементов требуется использование отдельного инструмента, а, возможно, и переустановка детали. На рисунке 1 представлена типичная конструкция вала с набором элементов конструктивного обогащения и указанием их размещения.

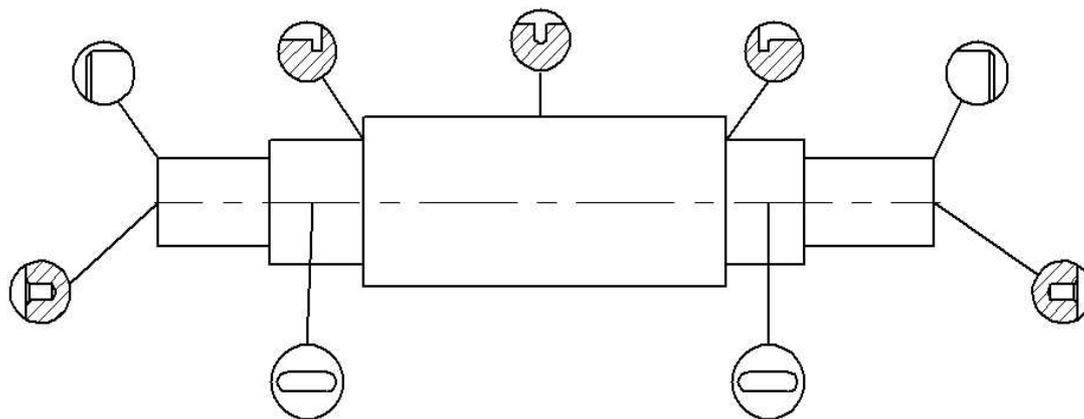


Рис.1. Представление детали в виде ее базового конструктива и элементов конструктивного обогащения

Таким образом, в самом общем виде базовый конструктив представляется множеством поверхностей: правыми и левыми торцевыми и набором цилиндрических поверхностей – внешних и внутренних:

$$B = S_{tl} + S_{tr} + \bigcup_{i=1}^I S_{cexi} + \bigcup_{j=1}^J S_{cinj},$$

где S_{tl} , S_{tr} , S_{cexi} , S_{cinj} – торцевая левая, торцевая правая, i -я цилиндрическая внешняя и j -я цилиндрическая внутренняя поверхности, соответственно;

I и J – общее количество цилиндрических внешних и внутренних поверхностей, соответственно.

Учитывая то, что структура базового конструктива вала должна содержать не только информацию о составе поверхностей, но и об их порядке следования, для описания структуры целесообразно применить кортеж. Так как конечной целью любой 3D модели детали является ее изготовление, будем выполнять формирование кортежа информационной модели детали, ориентируясь на ее дальнейшую токарную обработку. Как известно, типовой технологический процесс обработки вала предполагает два установка. В первом установке – подрезка торца и черновое точение доступных наружных цилиндрических поверхностей, начиная с самого большого диаметра, обычно располагаемого в центральной части, и заканчивая самым малым, располагаемым у торца (см. рис. 1). Будем именовать эти цилиндрические поверхности правыми. Далее выполняется второй установка - точение детали с левой стороны в аналогичной последовательности – от большого диаметра к меньшему. Эти цилиндрические поверхности будем именовать левыми.

В зависимости от выбранного технологического процесса и геометрической характеристики детали черновая, и чистовая обработки могут выполняться путем точения детали в патроне, либо с предварительным сверлением центровых отверстий и фрезерованием торцев,

точением с установкой заготовки в центрах, либо путем точения с установкой детали в патроне и люнете.

Чистовая обработка вала выполняется за один проход непосредственно сразу за черновой обработкой, при этом движение резца осуществляется, начиная от торца, т.е. с наименьшего диаметра. Однако в любом из упомянутых вариантов черновая обработка цилиндрических поверхностей, обеспечивающая съем наибольшего объема материала и формирование собственно базового конструктива детали, будет выполняться, начиная с большего диаметра, и заканчивая наименьшим и для правых и для левых поверхностей.

Крайние торцевые поверхности детали обрабатываются в любом случае и для любой технологии, независимо от конструкции детали и количества ступеней, поэтому их можно исключить из кортежа. Данные о длине вала, необходимые для формирования размерных параметров переходов и подрезки промежуточных торцевых поверхностей, будут получены, исходя из общей суммы длин внешних цилиндрических поверхностей и их числа. Промежуточные торцевые поверхности при моделировании должны разделять цилиндрические участки на открытые и закрытые. Это обеспечит выбор режущего инструмента при автоматизированной разработке маршрутной технологии обработки.

Таким образом, информационную модель базового конструктива вала можно представить кортежем, элементами которого являются наружные цилиндрические поверхности – правые и левые. При этом нумерацию этих поверхностей следует выполнять в порядке следования технологических переходов по их обработки, т.е. от больших диаметров к меньшим. В этом случае кортеж модели детали примет вид:

$$B = \langle C_{l_n} C_{l_{n-1}} \dots C_{l_1} C_{r_1} C_{r_2} \dots C_{r_m} \rangle, \quad (1)$$

где $C_{l_n}, C_{l_{n-1}}, \dots, C_{l_1}$ – левые цилиндрические поверхности, где номер поверхности соответствует очереди ее обработки для соответствующей установки детали в патроне, а n – общее количество левых поверхностей у детали;

$C_{r_1}, C_{r_2}, \dots, C_{r_m}$ – правые цилиндрические поверхности, m – общее количество правых поверхностей у детали;

C_{r_1} – цилиндрическая поверхность с наибольшим диаметром, с которой начинается процесс обработки.

Согласно ГОСТ 2.052-2006 в компьютерной среде электронная модель изделия представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

Поэтому каждая из цилиндрических поверхностей описывается, как минимум, следующими параметрами – диаметром D с указанием поля допуска (качества точности и основного отклонения), расположением и формой поверхностей, качества обработки (шероховатости), и длиной поверхности L , также с указанием точности. На чертежах конструкторской документации часто указываются лишь минимально необходимые для однозначной интерпретации параметры. Кроме вышеупомянутых параметров цилиндрические поверхности могут иметь и ряд других конструктивных или технологических параметров, которые на построение 3D-модели принципиального влияния не оказывают. Таким образом, каждый элемент кортежа C_{r_i}, C_{l_i} в свою очередь также описывается кортежем параметров:

$$C_{ki} = \langle p_1 p_2 \dots p_p \rangle.$$

Установим следующий порядок следования параметров p_i :

p_1 – диаметр D ;

p_2 – поле допуска;

p_3 – шероховатость Sh ;

p_4 – длина L ;

p_5 – поле допуска на длину;

p_6 – допуск формы и расположения поверхностей.

Дополнительными параметрами могут быть технологические указания – например, вид термообработки, твердость, указания по финишной обработке (шлифовать, полировать, и пр.).

Далее рассмотрим элементы конструктивного обогащения и принципы их описания в информационной модели. Ограничимся следующими элементами конструктивного обогащения: фаска, канавка, центровое отверстие, шпоночный паз, поперечное отверстие.

Каждый элемент конструктивного обогащения привязан к той или иной поверхности базового конструктива после его формирования в чистовом точении. Так, например, фаски выполняются на краю соответствующей цилиндрической поверхности. Канавки выполняются, как правило, на цилиндрической поверхности в месте ее примыкания к поверхности с большим или меньшим диаметрами. Резьбы нарезаются непосредственно по выполненной цилиндрической поверхности. Шпоночные пазы выполняются на цилиндрических поверхностях с соответствующими установочными размерами. Что касается центровочных отверстий, то они выполняются на торцах детали, которые образуются при выполнении переходов обработки торцев и которые при использовании концепции базового конструктива можно привязать к крайним правой и левой цилиндрическим поверхностям. Таким образом, элемент конструктивного обогащения может быть однозначно привязан к соответствующей поверхности.

Фаски

Фаска на чертежах, как правило, имеет параметры $L \times F$, где L – длина фаски, F – угол фаски. Во всех САД-системах элемент «фаска» реализуется с помощью соответствующей опции, требующей уже упомянутых параметров L и F и указания места ее положения, т.е. цилиндрической поверхности, на которой она выполняется.

Канавки

Канавка – это конструктивный элемент, обеспечивающий, главным образом, реализацию операции финишной обработки соответствующей цилиндрической поверхности шлифованием или точением для выхода инструмента. Возможно также выполнение кольцевых канавок для крепления фиксирующих колец. Также канавка (закрытая ступень) обеспечивает разделение поверхностей. Данный элемент имеет низкую точность, и выполняются на цилиндрической поверхности до ее чистовой обработки.

Основными параметрами являются глубина и ширина, а в случае кольцевой канавки (закрытой ступени) – ее расстояние от большего диаметра. Для канавок под выход шлифовального круга это расстояние равно нулю. Таким образом, канавка будет описываться тремя параметрами – G – глубина, B – ширина и A – отстояние от большего диаметра.

Центровые отверстия

ГОСТ 14034-74 предусматривает различные формы центровых отверстий – А, В, Т, С, Е, R, F, Н и выбор той или иной формы центрального отверстия следует отнести к компетенции конструктора. Однако выбор типоразмера данного отверстия однозначно связан с диаметром детали и соответствующей заготовки соответствующими регламентирующими документами. В связи с этим будет достаточно указать лишь типовую форму центрального отверстия. Элемент конструктивного обогащения «центровое отверстие» выполняется на торцах детали, формирование которых осуществляется при любом варианте технологического процесса переходами подрезания торцев. А поскольку торцы формируются на крайних правой и левой цилиндрических поверхностях всегда, то центровые отверстия можно привязать к ним логически: либо есть, либо нет. Таким образом, единственным параметром конструктивного элемента «центровое отверстие» будем считать его форму по ГОСТ – F.

Шпоночные пазы

Наиболее распространенный в настоящее время шпоночный паз выполняется концевой фрезой и будем его считать основным видом шпоночного паза. Шпоночный паз принадлежит соответствующей цилиндрической поверхности, на которой будет устанавливаться зубчатое колесо, и имеет параметры – глубина паза G , ширина паза B , соответствующая двум радиусам скругления на краях паза, длина паза L и отстояние паза от края ступени вала A .

Поперечные отверстия

Данный вид отверстия, как правило, располагается перпендикулярно оси вала и имеет сквозную форму. Его параметрами следует считать диаметр D и отстояние от края ступени вала A . Для правых цилиндрических поверхностей – от правого края, для левых – от левого.

Среди различных методов автоматизированного проектирования технологических процессов своей универсализацией выделяется метод, основанный на расширенном понятии обобщенной структуры [3, 4, 5], суть которого кратко можно охарактеризовать как метод исключения из некоторого абстрактного заведомо избыточного технологического процесса, содержащего операции и переходы, обеспечивающие обработку целого комплекса конструктивно подобных деталей, «лишние» операции и переходы, не нужные для обработки данной конкретной детали. В результате такого отсева в технологический процесс войдут только те технологические элементы, которые обеспечат необходимую обработку поверхностей конкретной детали, при этом сами переходы будут включать в себя все необходимые размерные и технологические параметры, соответствующие чертежу данной детали.

Воспользуемся данным принципом для формирования моделей валов. Тогда обобщенной структурой для произвольного вала выступит некоторая комплексная деталь K , содержащая в себе все элементы базового конструктива и конструктивного обогащения, необходимые для формирования любого конкретного вала. Количество ступеней этой гипотетической детали определяется максимально допустимым числом ступеней конкретного вала, формируемого на ее основе. Ограничимся M_K правыми и N_K левыми цилиндрическими поверхностями. Каждая цилиндрическая поверхность при этом содержит весь возможный набор элементов конструктивного обогащения. Базовый конструктив комплексной детали опишется выражением (1). Для формирования базового конструктива произвольной детали P на основе комплексного необходимо указать численные значения N_P и M_P . Базовый конструктив детали P при этом опишется как

$$B = \langle C_{iN_P} C_{iN_P-1} \dots C_{i1} C_{r1} C_{r2} \dots C_{rM_P} \rangle, \quad (2)$$

и образуется из (1) путем исключения части C_{li} и C_{rj} , если $i \geq N_P$ и $j \geq M_P$.

Элементы конструктивного обогащения комплексной детали K опишутся двумя массивами кортежей O_{lk} и O_{rk} – для правых и левых цилиндрических поверхностей, соответственно.

$$O_{lk} = \begin{vmatrix} f_1 & g_1 & r_1 & k_1 & h_1 \\ f_2 & g_2 & r_2 & k_2 & h_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n & g_n & r_n & k_n & h_n \end{vmatrix} \quad O_{rk} = \begin{vmatrix} f_1 & g_1 & r_1 & k_1 & h_1 \\ f_2 & g_2 & r_2 & k_2 & h_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_n & g_n & r_n & k_n & h_n \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где f_i – кортеж фаски (facet) на цилиндрической поверхности i , $f_i = \langle L_i F_i \rangle$;

g_i – кортеж канавки под выход шлифовального круга (groove) на цилиндрической поверхности i , $g_i = \langle G_i B_i \rangle$;

r_i – кортеж канавки кольцевой (ringgroove) на цилиндрической поверхности i , $r_i = \langle G_i B_i A_i \rangle$;

k_i – кортеж шпоночного паза (keyway) на цилиндрической поверхности i , $k_i = \langle G_i B_i L_i A_i \rangle$;

h_i – кортеж отверстия поперечного (hole) на цилиндрической поверхности i , $h_i = \langle D_i A_i \rangle$;

Наличие элементов конструктивного обогащения в информационной модели детали P опишем на основе двух структурно-логических матриц M_{lk} и M_{rk} для левых и правых цилиндрических поверхностей соответственно:

$$M_{lk} = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & m_{n4} & m_{n5} \end{vmatrix} \quad M_{rk} = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{m1} & m_{m2} & m_{m3} & m_{m4} & m_{m5} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Здесь $k=1, k=2, k=3, k=4$ и $k=5$ соответствуют столбцам фасок, канавок под выход шлифовального круга, канавок кольцевых, шпоночных пазов и отверстий поперечных.

$m_{ij}=1$, если у цилиндрической поверхности i детали P есть элемент конструктивного обогащения j , $m_{ij}=0$, если отсутствует.

Наличие центральных отверстий у детали P на торцах крайних цилиндрических поверхностей N_P и M_P будем считать обязательным.

Заключение

Сформирована информационная модель комплексной и конкретной деталей для формирования 3D-моделей в САД-системах, которая будет интегрироваться с системой формирования маршрутно-операционного технологического процесса.

Библиографический список

1. Капустин Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов. / Под ред. Н. М. Капустина. - М.: Высшая школа, 2004. - 415 с.
2. Миловзоров О.В., Паршин А.Н. САПР технологических процессов. Конспект лекций рязань, 2015. Часть 1. 47с.
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. 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.
5. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология / Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. межд. научно-техн. и научно-метод. конф.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.

УДК 621.91: 004. 9; ГРНТИ 55.13.15

РЕДАКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ В СИСТЕМЕ CIMCO EDIT

Н.В. Грибов, М.С. Захаров, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, milovzorov_542@inbox.ru*

Аннотация. В работе рассматривается методика редактирования управляющей программы под конкретный станок со снаряженным инструментальным магазином и станочной оснасткой в системе CIMCO Edit.

Ключевые слова: числовое программное управление (ЧПУ), CIMCO Edit.

EDITING CONTROL PROGRAMS FOR CNC MACHINES IN CIMCO EDIT

N.V. Gribov, M.S. Zakharov, O.V. Milovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, milovzorov_542@inbox.ru*

Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ – одна из наиболее ответственных и важных работ, выполняемых в процессе конструкторско-технологической подготовки производства. От того, насколько корректна управляющая программа, фактически зависит эффективность машиностроительного производства. Не удивительно, что для автоматизации этого направления работ на рынке систем автоматизированного проектирования имеется большое количество соответствующих программных продуктов – САМ-систем. Для корректной и эффективной разработки управляющей программы необходимо учитывать многие особенности конкретных станков, технологических процессов, применяемых систем ЧПУ, особенности работы тех или иных режущих инструментов, режимы резания и жесткость узлов станка [1-5]. Для учета отдельных особенностей бывает не достаточно функциональных возможностей только самих САМ-систем, необходимо осуществлять экспериментальное исследование отдельных циклов на конкретных станках, оснащенных конкретными системами ЧПУ, так как, зачастую, особенности перемещения режущего инструмента при выполнении тех или иных циклов скрыты от пользователя разработчиком системы.

После создания управляющей программы обработки детали в САМ системе ее необходимо редактировать для адаптации под непосредственный станок. Для этой цели могут используются специализированные программные системы – трейсеры (tracer). Одной из таких систем является программа CIMCO Edit.

В настоящей статье рассматривается апробированная методика применения данной системы для отладки управляющих программ станков с ЧПУ с учетом ее функциональных возможностей и представляемых системой инструментов.

CIMCO Edit имеет набор основных инструментов редактирования, необходимых для работы с управляющими программами 3D-фрезерной и 2D-токарной обработки. Это соответствующие трассировщики. В данном редакторе графически отображается движение инструмента. CIMCO Edit поддерживает возможность проверки на столкновения и зарезы, позволяет быстро вставлять и редактировать сложные циклы и операции, содержит различные циклы и макросы для распространённых операций, включая начало УП, остановку и смену инструмента.

Для того, чтобы **перенести программу из Delcam в CIMCO** необходимо:

- Выделить всю программу в САМ.
- Скопировать её.
- Вставить в CIMCO (рис.1).

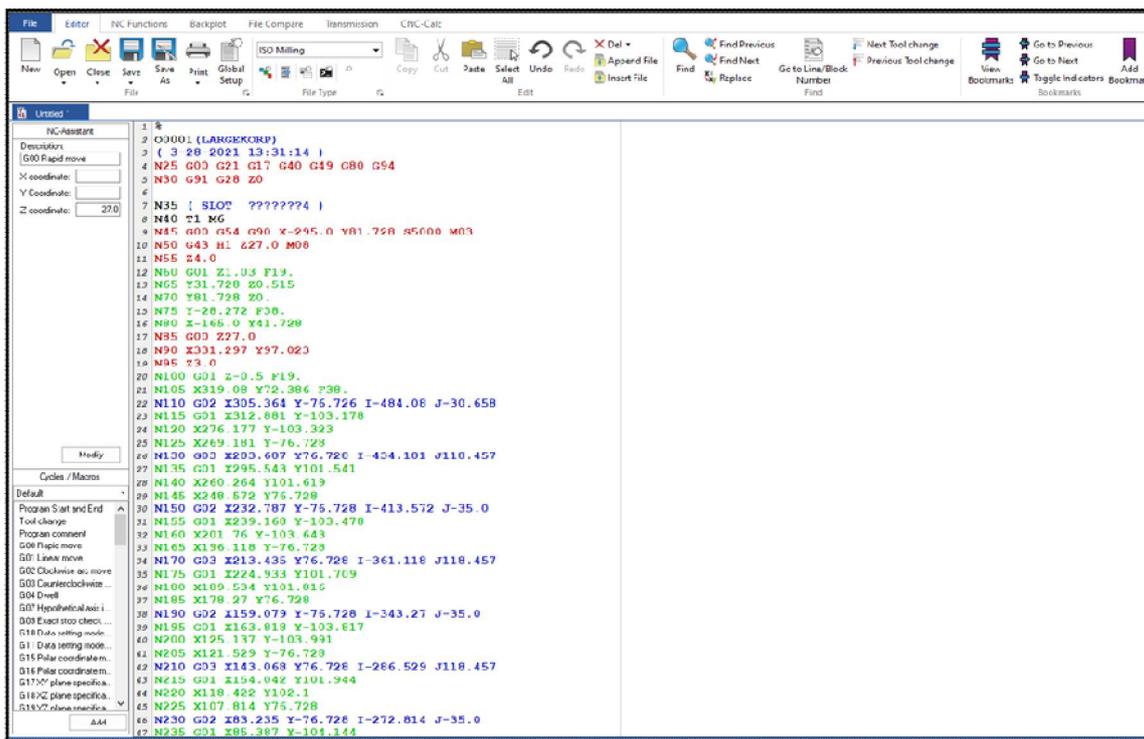


Рис. 1. CIMCO

Код отображается в цвете.

- Чёрный цвет – Начало, конец программы, коды привязки, коды смены инструмента.
- Красный цвет – коды для подходов инструмента, холостые перемещения(G00)
- Зелёный цвет – перемещения при линейной интерполяции (G01)
- Синий цвет – перемещения при круговой интерполяции (G02;G03)

Редактирование программы целесообразно осуществлять в следующей последовательности.

1. Избавиться от номеров кадров

Для этого переходим во вкладку «NC Functions» и нажимаем на кнопку « Remove» (рис. 2):

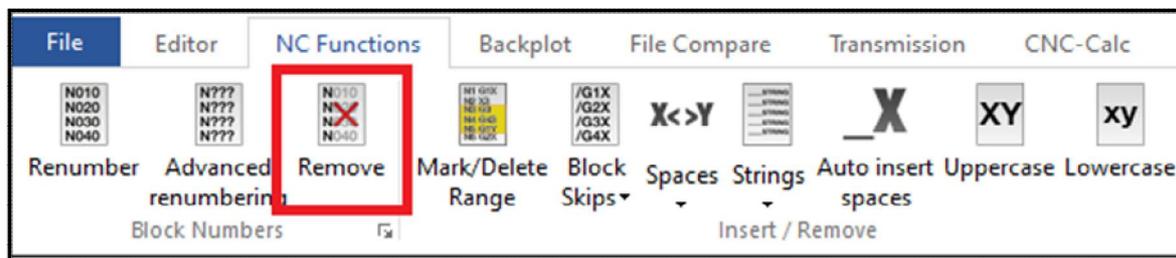


Рис. 2. Удаление номеров кадров

Все номера кадров исчезли, что существенно улучшило восприятие кода управляющей программы (рис. 3):

```

1 %
2 O0001 (LARGEKORP)
3 ( 3-28-2021 13:31:14 )
4 G00 G21 G17 G40 G49 G80 G94
5 G91 G28 Z0
6
7 ( SLOT ???????4 )
8 T1 M6
9 G00 G54 G90 X-295.0 Y81.728 S5000 M03
10 G43 H1 Z27.0 M08
11 Z4.0
12 G01 Z1.03 F19.
13 Y31.728 Z0.515
14 Y81.728 Z0.
15 Y-28.272 F38.

```

Рис. 3. Результат использования кнопки «Remove»

2. Необходимо удалить непонятные символы, которые обозначают названия инструмента и написать корректное название, а так же удалить название модели и время создания программы, т.к. это лишняя информация, которая не несёт смысловой нагрузки для наладчика и оператора:

```

1 %
2 O0001
3 G00 G21 G17 G40 G49 G80 G94
4 G91 G28 Z0
5
6 ( FREZA 50 )
7 T1 M6
8 G00 G54 G90 X-295.0 Y81.728 S5000 M03
9 G43 H1 Z27.0 M08
10 Z4.0
11 G01 Z1.03 F19.

```

Рис. 4. Удаление излишней информации

3. Выставить значения номера инструмента «Т» в инструментальном магазине, «Н» номер корректора на длину, «D» корректор на радиус инструмента в зависимости от расположения данного инструмента в магазине станка. Так же при необходимости можно поменять значение рабочих координат в ячейках (G54-G59).

4. Необходимо проверить программу, для чего в системе SIMCO предоставляются соответствующие инструменты раздела «Editor» (рис. 5).



Рис. 5. Интерфейс раздела «Editor»

С помощью имеющихся инструментов данного раздела можно работать с текстом, корректировать его, изменять формат текста, цвета текста, сохранять документ, создавать новый, печатать документ. При проверке программы наиболее полезными функциями являются следующие функции:

- «Find» - находит необходимые элементы в программе и выделяет их (рис. 6).

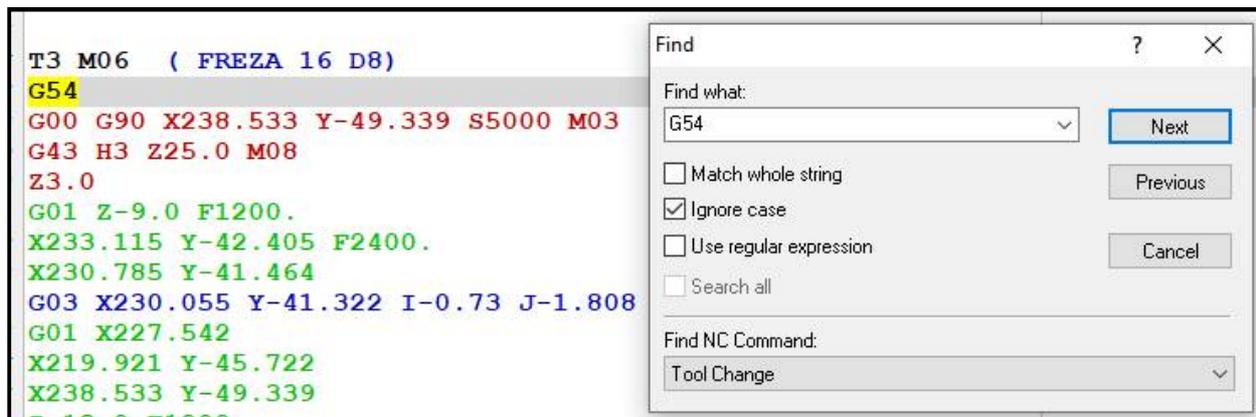


Рис. 6. Использование функции «Find»

- «Replace» - позволяет заменить один код в выделенной области на другой (Можно заменять по одному элементу – «Replace», или все элементы одним разом «Replaceall») (рис. 7):

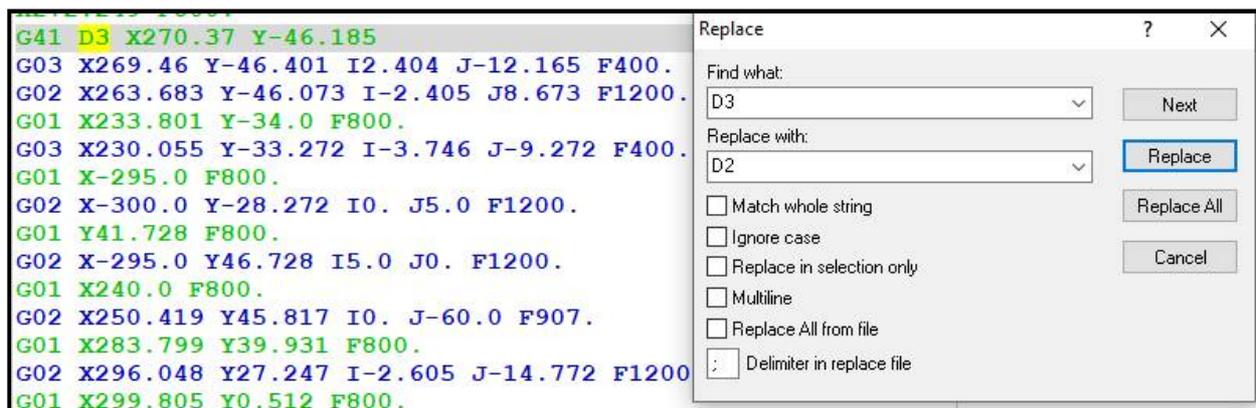


Рис. 7. Использование функции «Replace»

- «NextToolchange» и «PreviousToolchange» – обеспечивают поиск переходов в управляющей программе от инструмента к инструменту, что упрощает поиск нужного фрагмента в больших программах. Переход осуществляется по коду «Т».

5. Работа в разделе «NC Functions» (рис. 8).

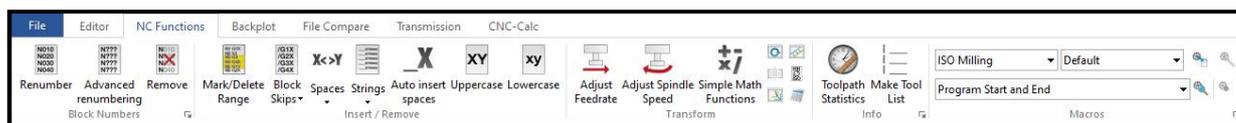


Рис. 8. Интерфейс раздела «NCFunctions»

Основные инструменты данного раздела, необходимые для проверки программы, следующие.

«Remove» (Убирает номера кадров) и «Renumber» (Возвращает номера кадров).

«Blockskip» - с помощью знака «/» можно пропустить выделенные кадры, а после проверки включить их обратно (рис. 9).

```

841 /G01 Z-9.0 F1200.
842 /X233.115 Y-42.405 F2400.
843 /X230.785 Y-41.464
844 /G03 X230.055 Y-41.322 I-0.73 J-1.808
845 /G01 X227.542
846 /X219.921 Y-45.722
847 /X238.533 Y-49.339
848 /Z-18.0 F1200.

```

Рис. 9. Функция «Blockskip»

«ToolpathStatistics» (рис. 10) – показывает время работы программы, а так же время, которое тратит каждый инструмент. Это позволяет в дальнейшем оптимизировать обработку по стойкости каждого инструмента.

Tool	Min X	Min Y	Min Z	Max X	Max Y	Max Z	Time
All	-354.686	-104.228	-45.0	355.097	121.778	250.0	2:18:45
T20	-354.686	-104.228	-45.0	355.097	121.778	250.0	0:26:32
T3	-300.0	-54.703	-45.0	299.805	46.728	250.0	0:03:17
T4	-276.9	-19.105	-21.3	81.331	32.562	250.0	0:16:16
T5	-292.96	-27.232	-21.5	105.125	40.688	250.0	0:17:39
T6	-303.025	-51.379	-21.5	141.165	51.34	250.0	1:00:51
T7	-308.333	-41.605	-5.3	300.0	55.062	250.0	0:14:10

Info	Value
Machining Time	2:18:45
Cutting Time	1:28:16
Rapid Time	0:49:29
Dwelling Time	0:00:00
Tool Change Time	0:01:00
Toolpath Length	113499.0746
Cutting Length	64007.7305
Rapid Length	49491.3441

Toolpath unit: mm
 Tool change time: 10
 Feedrate unit: mm / min
 Rapid speed (mm / min): 1000

Setup Export Close

Рис. 10. Функция «ToolpathStatistics»

«MakeToolList» - отмечает весь инструмент, который работает в программе (рис. 11):

```

10 -----
11 Tool number      Tool information
12 -----
13 T3                FREZA 16 D8
14 T4                SVERLO 24 S PLAST.
15 T5                FREZA 8 S OBNIG
16 T6                FREZA 6 D3 DLINNAI
17 T7                FREZA 10
18 T20              FREZA 50
19 -----

```

Рис. 11. Функция «Make Tool List»

6. Моделирование обработки в разделе «Backplot»

Данный раздел является самым важным для редактирования и наладки управляющей программы. В нём можно увидеть траекторию движения инструмента по эквидистанте. Интерфейс раздела показан на рисунке 12.

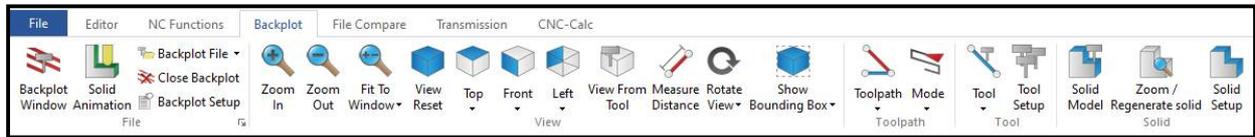


Рис. 12. Интерфейс раздела «Backplot»

Наиболее необходимые инструменты данного раздела следующие.

«BackplotWindow» - самый важный инструмент. Он открывает окно с траекториями всех инструментов:

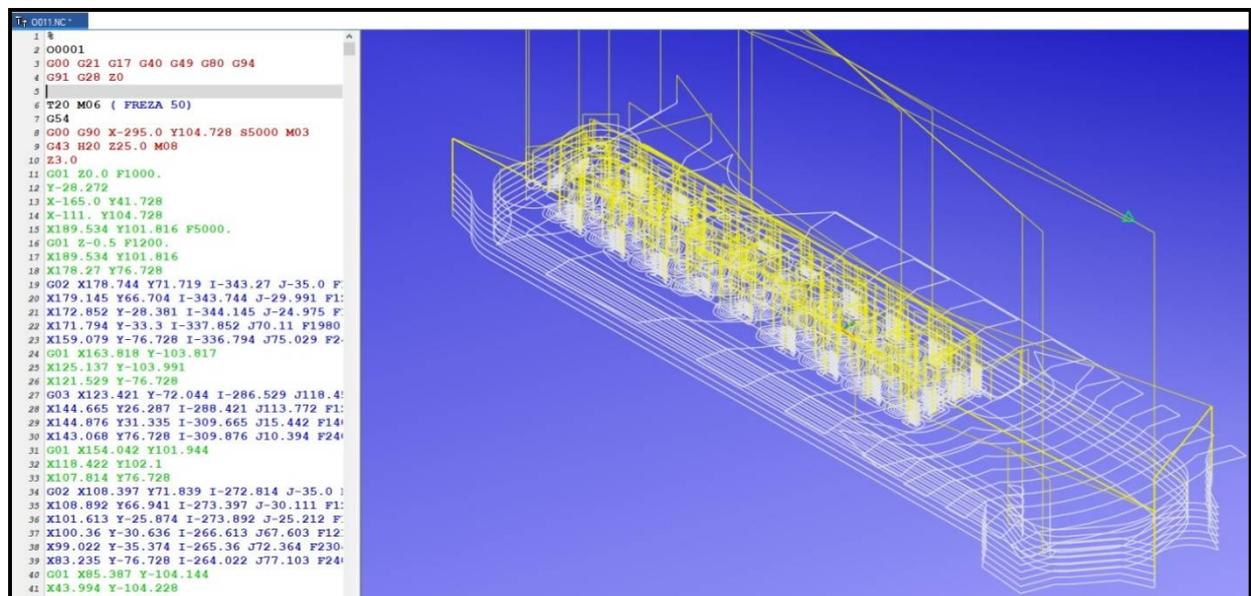


Рис. 13. Моделирование перемещений инструментов с помощью функции «BackplotWindow»

«Тор» - вид сверху, с помощью данной функции проверяется размерная настройка станка, о чем говорят красная (X) и зелёная (Y) стрелки, находящиеся по центру:

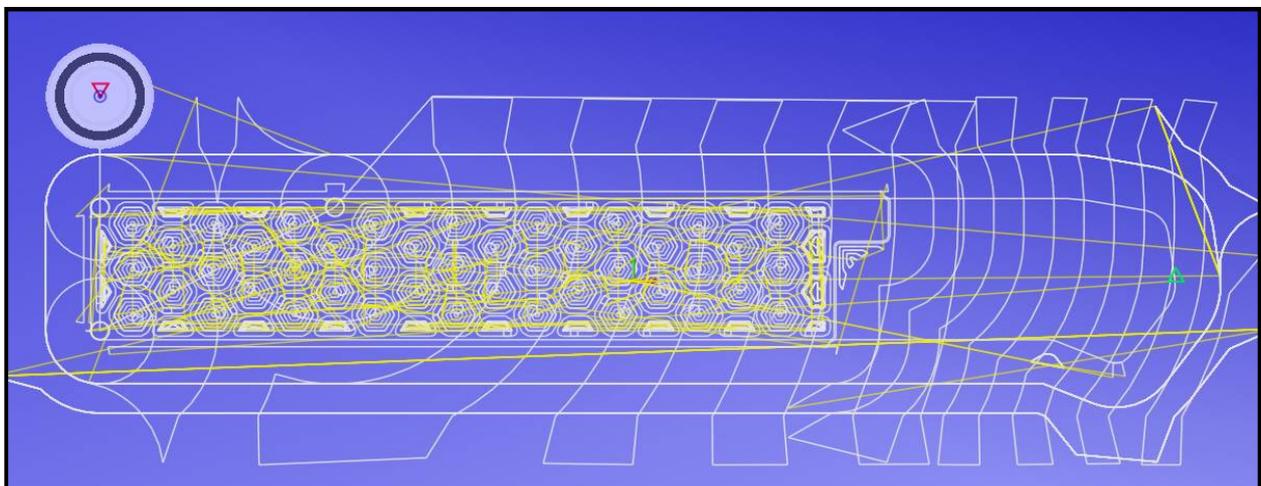


Рис. 14. Отображение траектории перемещения инструментов с применением функции «Тор»

«Front» - вид спереди, с помощью данной функции проверяется перемещение по координате Z каждого инструмента (рис. 15).

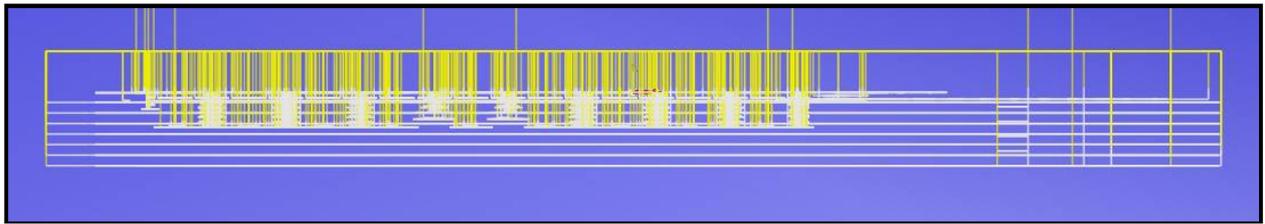


Рис. 15. Отображение траектории перемещения инструментов по оси Z с применением функции «Front»

«Tool» - с помощью этой функции можно выбрать, эквидистанта какого инструмента будет отображаться. Можно отобразить несколько инструментов сразу, или только один (рис. 16).

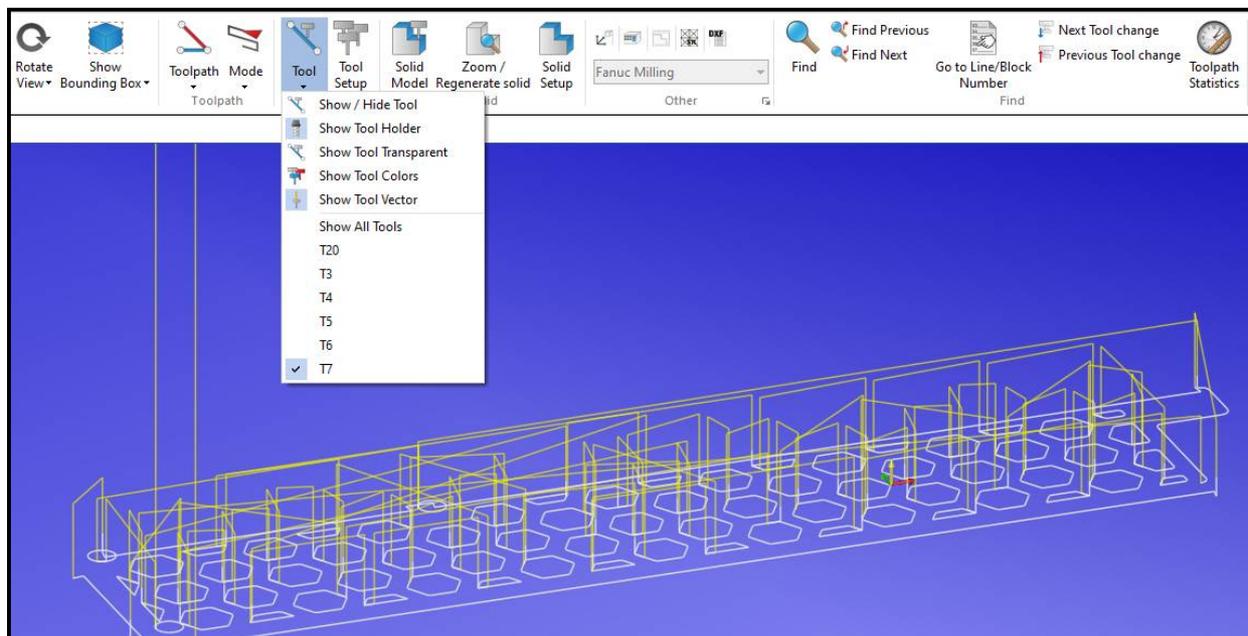


Рис. 16. Функция «Tool»

После того, как программа отредактирована и проверена на столкновения с приспособлением, её сохраняют, и загружают в станок.

Заключение

Рассмотрена методика отладки управляющей программы для станка с ЧПУ на основе системы SIMCO Edit, применение различных разделов данной среды и функций в процессе настройки и отладки.

Библиографический список

1. Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности работы системы чпу FANUC-0I для фрезерных станков при обработке торцевыми фрезами / Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016. Сборник трудов международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 283-287.
2. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Седых А.В. Особенности программирования системы ЧПУ FANUC-0I при фрезеровании плоскостей торцевыми фрезами/ Новые технологии в учебном процессе и производст-

ве. материалы XIV Межвузовской научно-технической конференции, посвященной 60-летию института. Под редакцией Платонова А.А., Бакулиной А.А., 2016. С. 486-490.

3. Грибов Н.В., Миловзоров О.В., Жарков Д.Н. Особенности программирования системы чпу FANUC-0I при фрезеровании торцовыми фрезами и при токарной обработке / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 8. С. 9-17.

4. Грибов Н.В., Дронов Н., Миловзоров О.В. Параметрическое программирование фрезерной обработки в системе ЧПУ SIEMENS SINUMERIK 840D/ Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2020. Сборник трудов III Международного научно-технического форума: в 10 т.. Рязань, 2020. С. 145-155.

5. Дронов Н.Ю., Грибов Н.В., Мусолин А.К., Миловзоров О.В. Повышение точности обработки деталей за счет технологических возможностей станков с ЧПУ/ Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2019. Сборник трудов II международного научно-технического форума: в 10 т.. 2019. С. 119-124.

УДК 621.941; ГРНТИ 55.13

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСА ТОКАРНОГО РЕЗЦА АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Ф.Д. Усман, М.В. Соколов

*Тамбовский государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, fidelisjonah@yahoo.com, msok68@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается экспериментальная установка для исследования размерного износа токарных резцов акустическим методом.

Ключевые слова: токарная обработка, размерный износ, режущий инструмент, акустическое излучение,

EXPERIMENTAL SETUP FOR STUDYING THE WEAR OF A TURNING TOOL BY THE ACOUSTIC METHOD

F.D. Usman, M.V. Sokolov

*Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, fidelisjonah@yahoo.com, msok68@mail.ru*

Abstract. The paper considers an experimental setup for studying the dimensional wear of turning tools by the acoustic method.

Keywords: turning, dimensional wear, cutting tools, acoustic radiation

Известно, что в процессе обработки поверхностей режущим инструментом возникают звуковые колебания, которые различаются по частоте и амплитуде в зависимости от материала заготовки, режущего материала инструмента и его износа [1]. Для изучения работоспособности системы диагностики состояния инструмента при точении, а так же оценки влияния его износа на акустическое излучение (АИ) была разработана экспериментальная установка на базе универсального токарно-винторезного станка типа 1И611П, со следующими характеристиками (табл. 1).

Схема экспериментальной установки приведен на рисунке 1. Заготовка обрабатывается токарным резцом, а регистрация сигнала АИ осуществлялась с помощью приемника (микрофона), помещенного в требуемую точку пространства обрабатываемой системы.

Приемник АИ присоединяется к звуковой карте компьютера. Сигнал, поступающий из микрофона, преобразуется из аналогового вида в цифровой с помощью аналого-цифрового преобразователя, установленного на звуковой карте. Полученные данные сохраняются в памяти ЭВМ с помощью программы Wave для дальнейшей обработки специально разработанной программой.

Таблица 1. Характеристики универсального токарно-винторезного станка типа 1И611П

Наименование параметров	Ед.изм.	Величины
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной	мм	250
Расстояние между центрами	мм	500
Высота центров	мм	130
Наибольший диаметр прутка	мм	24
Наибольший диаметр над нижней частью суппорта	мм	125
Наибольшая длина обточки	мм	500
Шаг нарезаемой метрической резьбы	мм	0,2...48
Шаг нарезаемой модульной резьбы	модулей	0,2...30
Шаг нарезаемой дюймовой резьбы	дюймов	24...0,5
Число резцов в резцедержателе	шт	4
Наибольшая ширина державки резца	мм	16
Наибольшая высота державки резца	мм	16
Наибольшее продольное перемещение от руки	мм	500
Наибольшее поперечное перемещение от руки	мм	180
Цена деления лимба продольного перемещения	мм	0,1
Цена деления лимба поперечного перемещения	мм	0,02
Перемещение на один оборот лимба продольного перемещения	мм	20
Перемещение на один оборот лимба поперечного перемещения	мм	3
Число оборотов двигателя шпинделя	об/мин	1430
Мощность двигателя шпинделя	кВт	3
Тип двигателя шпинделя		4A100S4

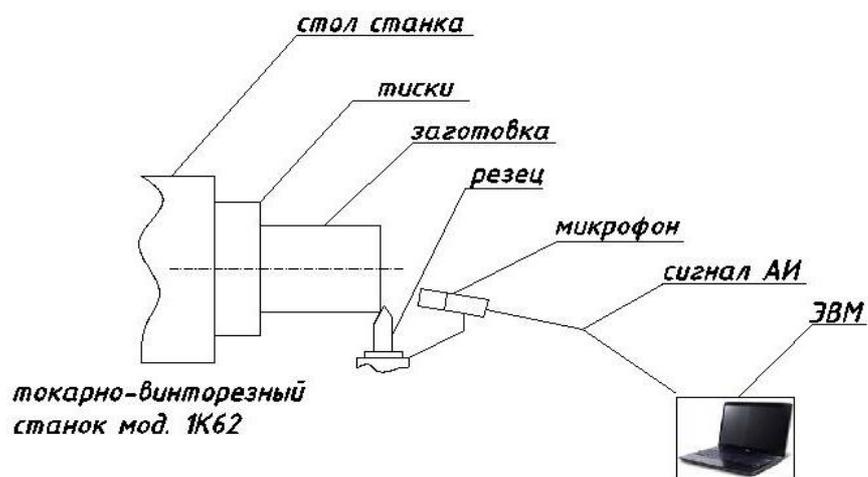


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Технические данные сохраняемого сигнала:

ID : 0
 Format : PCM
 Codec ID : 1
 Codec ID/Hint : Microsoft
 Bit rate : 88.2 Kbps
 Channel(s) : 1 channel
 Sampling rate : 11.025 KHz
 Resolution : 16 bits

При проведении экспериментов необходимо установить динамический диапазон амплитуд, воспринимаемых датчиком АИ, место и способ его крепления, так как вибрации станка создают звуковой шум в общем акустическом сигнале [2].

Для получения стабильных результатов крепление датчика на корпусе осуществлялось с помощью специального приспособления. При этом место крепления датчика оснащалось мягкой прокладкой. Использование мягкой прокладкой для крепления датчика не снижало динамических свойств сигнала по сравнению с жестким его креплением.

Таким образом, датчик реагировал только на акустические колебания, возникающие в процессе точения деталей, а вибрация станка на него не влияла.

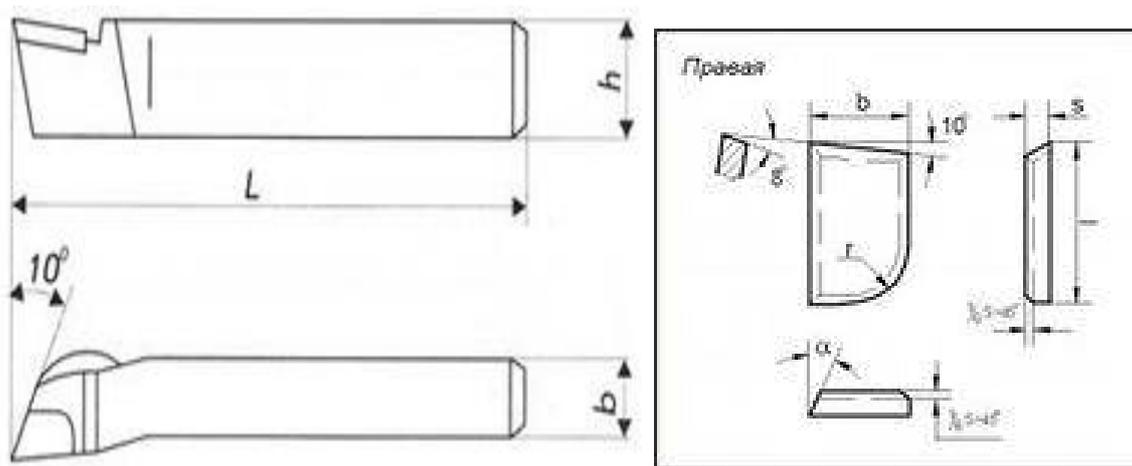


Рис. 2. Эскиз резца

Для проведения экспериментов использовались резцы расточные правые Т15К6 и углом врезки с пластиной, равным 10° . Сечение резцов в большинстве случаев обработки заготовки составляет $h \times b = 16 \times 12$ мм из материала Р6М5, выполненных по ГОСТ 1050-88. Параметры резца представлены на рисунке 2. Выбор в качестве материала резца быстрорежущей стали определился необходимостью тупить резец на экспериментальной заготовке в течение нескольких проходов инструмента. Точение осуществлялось без применения СОЖ. Обработка производилась с различными частотами вращения шпинделя и подачами на резец при постоянной глубине резания.

Использовались заготовки из стали марки Сталь 20. Диаметр заготовок составлял 15 мм, длина – 100 мм (рис. 3).

Данные исследования на современном этапе перехода к технологическому укладу шестого уровня позволят постоянно повышать качество готовых изделий, сокращать сроки проектирования и подбирать оптимальные параметры процессов механической обработки заготовок – это важнейшие требования, предъявляемые к разработке технологических процессов. Разработка и внедрение современных систем автоматизированного проектирования (САПР) [3, 4] позволяет решать эти проблемы в большинстве случаев, когда технолог само-

стоятельно принимает решение о выборе тех или иных режимов обработки, руководствуясь собственным опытом.

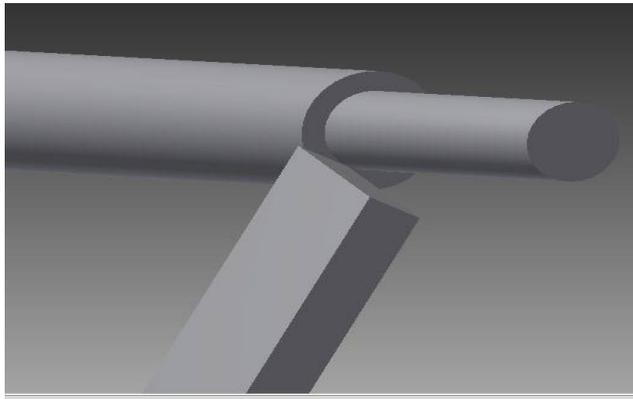


Рис. 3. Модель заготовки

Исследования проводятся в соответствии со следующими направлениями научной деятельности, которые развиваются на кафедре “Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении” ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»: прогрессивные технологии и оборудование машиностроительного производства; выбор, создание новых и адаптация интеллектуальных обучающих систем автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки и сборки; разработка методов и способов повышения качества обработки деталей из металлов [5, 6].

Библиографический список

1. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. «Технология машиностроения», - 2008.- №1 - С.28-29.
2. Козочкин М.П. Особенности вибрации при резании материалов // СТИН. – 2009. - №1.- С. 29-35.
3. Алтунин, К. А. Разработка информационных и аналитических моделей выбора параметров процесса резания // / К. А. Алтунин, М. В. Соколов. // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн (ВМПД - 2016): матер. III Межд. науч.-прак. конф. Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ» Тамбов. 2016. Вып. 3. Т.3. С. 192-195.
4. Алтунин, К. А. Структура и адаптация модели представления знаний процесса токарной обработки : монография / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, Р. В. Дякин. – Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2017. – 104 с.
5. Алтунин, К. А. Концепция создания системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения / К. А. Алтунин, М. В. Соколов, В.Г. Од-нолько – Монография: Тамбов : Студия печати Павла Золотова, 2018 – 213 с.
6. Altunin, K. A. Development of Information Support for Intelligent Cad of Cutting Processes / K. A. Altunin, M. V. Sokolov // Advanced Materials and Technologies. – 2017. – № 2. – С. 67 – 77.

УДК 519.246; ГРНТИ 28.17.31

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Меркушкин, Ю.А. Сосулин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ksander62@yandex.ru, sosulin45@mail.ru

Аннотация. Рассматривается процедура построения регрессионных моделей сложных технических объектов и технологических процессов, структура которых может быть представлена в виде иерархически связанных блоков.

Ключевые слова: регрессионный анализ (РА), метод наименьших квадратов (LSM).

CONSTRUCTION OF LINEAR REGRESSION MODELS OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

A.A. Merkushkin, Y.A. Sosulin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ksander62@yandex.ru, sosulin45@mail.ru

The summary. The procedure for constructing regression models of complex technical objects and technological processes, the structure of which can be represented in the form of hierarchically related blocks, is considered.

Keywords: regression analysis (RA), leastsquare method (LSM).

Для решения задачи идентификации сложных технических объектов или технологических процессов обычно используются статистические методы, позволяющие получить модель исследуемого объекта по экспериментальным данным. При этом предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида:

$$y = \eta(x, \theta) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – выходная величина объекта;

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор входных факторов;

η – известная линейно параметризованная функция взаимосвязи;

$\boldsymbol{\theta} = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_k)^T$ – вектор неизвестных коэффициентов (параметров) модели;

ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$\mathbf{y} = F\boldsymbol{\theta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$ – вектор значений зависимой переменной в N опытах;

$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ – вектор случайных ошибок с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 ;

F – матрица значений функций – регрессоров, определяемых видом модели, во всех N опытах.

Для получения оценок неизвестных коэффициентов регрессии обычно используется метод наименьших квадратов (МНК). МНК – оценки $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ вектора неизвестных коэффициентов $\boldsymbol{\theta}$ могут быть получены в соответствии со следующим выражением:

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = (F^T F)^{-1} F^T \mathbf{y}. \quad (3)$$

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые таким образом оценки являются наилучшими в классе линейных оценок.

Теоретический анализ свойств оценок (3) не ставит никаких ограничений на вид модели (1). Однако практическая реализация многомерного регрессионного анализа непосредственно связана со сложностью регрессионной модели. Усложнение вида модели и соответствующее увеличение числа оцениваемых коэффициентов приводит с одной стороны к существенному возрастанию необходимых экспериментальных затрат, а с другой стороны – к падению точности и устойчивости оценивания. Объемы затрат, связанных с планированием и проведением эксперимента, в ряде случаев делают практически невозможным построение регрессионной модели объекта в условиях большой размерности факторного пространства. Неустойчивость получаемых оценок является следствием роста размерности матриц, участвующих в процедуре оценивания и их плохой обусловленности. Отсюда очевидна необходимость процедур линейной параметрической идентификации, работоспособных в условиях большой размерности факторного пространства.

Эффективное решение проблемы многомерного оценивания параметров регрессионной модели может быть получено для объектов, которые физически состоят из совокупности блоков, связанных между собой промежуточными выходными величинами.

Общим элементом структурированного объекта может быть соединение блоков в соответствии со схемой (рис. 1). В этом случае входом блока второго уровня будут являться выходы предыдущих блоков, а также множество факторов x_3 этого блока.

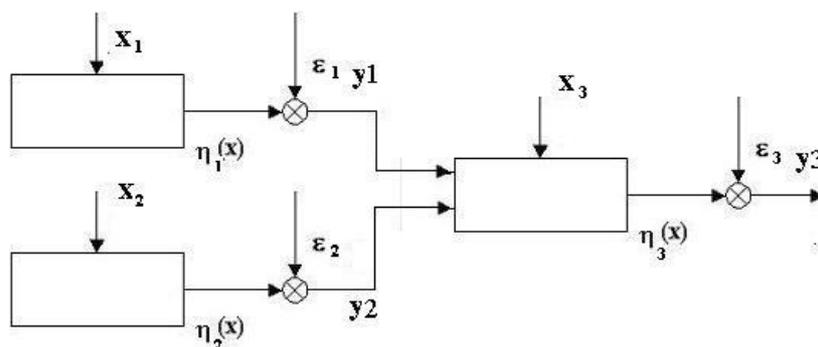


Рис. 1. Схема структурированного объекта

Выходные величины блоков первого уровня связаны с некоторыми подмножествами $x_1 = (x_1, x_2, \dots, x_{m1})^T$ и $x_2 = (x_{m1+1}, x_{m1+2}, \dots, x_{m2})^T$, $m1 + m2 \leq m$ множества входных факторов объекта. В таком случае можно определить регрессионные модели блоков первого уровня с помощью МНК, а затем значения выходных величин, прогнозируемые по полученным моделям, использовать в качестве входных факторов блока второго уровня. Кроме этого, в модель второго уровня добавляются неучтенные на первом уровне входные переменные $x_3 = (x_{m1+m2+1}, x_{m1+m2+2}, \dots, x_m)^T$ в соответствии с постулируемым для этого блока объекта видом модели. Если принять, что выходы первого уровня входят в модель линейно, модель второго уровня примет вид:

$$\begin{aligned} y1 &= \eta_1(x_1, a1) + \varepsilon_1, \\ y2 &= \eta_2(x_2, a2) + \varepsilon_2, \\ y3 &= \eta_3(x_3, y1, y2, d) + \varepsilon_3, \end{aligned} \quad (4)$$

или в матричной форме

$$y1 = F_1 a1 + \varepsilon_1,$$

$$\begin{aligned} y_2 &= F_2 a_2 + \varepsilon_2, \\ y_3 &= F_3^I d + \varepsilon_3, \end{aligned} \quad (5)$$

где y_1, y_2 - значения выходных величин блоков первого уровня;

y_3 - вектор выходной величины блока второго уровня;

a_1 и a_2 - векторы коэффициентов уравнений регрессии 1 - го уровня;

d - коэффициенты модели второго уровня;

x_1, x_2, x_3 - векторы входных факторов первого и второго уровня;

матрица F_3^I содержит столбцы $f(y_1)$ и $f(y_2)$, соответствующие вхождению y_1 и y_2 в уравнение модели 2 уровня.

Коэффициенты a_1, a_2 и d моделей системы (4, 5) связаны с коэффициентами θ модели (1) линейным преобразованием:

$$\theta = A d, \quad (6)$$

где матрица A - матрица $((k+1)*t)$ линейного преобразования коэффициентов, сформированная на основании анализа взаимосвязи системы (2) и модели (1);

t - размерность вектора d .

Матрица A состоит из столбцов - коэффициентов моделей блоков первого уровня. Расположение коэффициентов внутри столбца соответствует правилу размещения входных факторов и их взаимодействий в уравнении регрессии для y_3 (4).

Значения величин y_1 и y_2 , входящие в матрицу F_3^I уравнения модели блока второго уровня (4), обеспечиваются значениями факторов x_1 и x_2 первого уровня, которые определяются по уравнениям регрессии:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= F_1 \hat{a}_1, \\ \hat{y}_2 &= F_2 \hat{a}_2 \end{aligned} \quad (7)$$

В этом случае найденные по уравнениям (7) значения всех факторов x_1 , и x_2 будут обеспечивать уровни варьирования величин \hat{y}_1 и \hat{y}_2 , т.е. на втором уровне для оценивания d реализуется матрица \hat{F}_3 , содержащая столбцы оценок \hat{y}_1 и \hat{y}_2 .

Реализация предлагаемой процедуры структурной параметрической идентификации выполняется в соответствии со следующим алгоритмом.

1. Строится и реализуется план эксперимента для блоков первого уровня объекта. По результатам эксперимента вычисляются оценки структурных параметров a_1 и a_2 моделей этих блоков.

2. Строится план эксперимента для блока второго уровня объекта, содержащий значения величин y_1 и y_2 .

3. Реализуется план эксперимента на блоке второго уровня, и вычисляются оценки параметров d его структурной модели.

4. Формируется матрица преобразования A и по уравнению (6), определяются оценки параметров общей для приведенной схемы объекта регрессионной модели вида (1), а также соответствующие ковариационные матрицы.

5. Выполняется переход к следующему элементу иерархической структурной схемы объекта и все пункты, начиная со второго, повторяются.

Построение общей регрессионной модели объекта через структурные регрессии обеспечивает повышение устойчивости процедуры оценивания. Данное обстоятельство объясняется тем, что сложность структурных моделей блоков существенно ниже сложности общей регрессионной модели и оценивание структурных коэффициентов выполняется в факторных пространствах с размерностями меньшими, чем размерность факторного пространства ис-

ходной задачи. При этом оценивание структурных параметров выполняется с использованием ковариационных матриц меньших размерностей, чем размерность ковариационной матрицы, необходимой для оценивания параметров регрессионной модели в традиционной постановке задачи. Кроме этого, при таком подходе возможно значительное уменьшение экспериментальных затрат, необходимых для построения общей модели объекта.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1998.— 248 с.

УДК 519.246; ГРНТИ 28.17.31

ПОСТРОЕНИЕ ТОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАНОВ

А.Е. Карпинович, Ю.А. Сосулин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, karpinovichn1605@gmail.com, sosulin45@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается процедура построения точных экспериментальных планов, основанная на композиции плана первого порядка, позволяющего оценить параметры линейной регрессионной модели, и определенного числа точек факторного пространства, обеспечивающих построение квадратичной регрессионной модели.

Ключевые слова: планирование эксперимента, полный факторный эксперимент, план первого порядка.

BUILDING ACCURATE COMPOSITIONAL EXPERIMENTAL PLANS

A.E. Karpinovich, Y.A. Sosulin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, karpinovichn1605@gmail.com, sosulin45@mail.ru*

The summary. We consider the procedure for constructing accurate experimental plans based on the composition of a first-order plan that allows us to estimate the parameters of a linear regression model, and a certain number of points in the factor space that provide the construction of a quadratic regression model.

Keywords: design of experiments, full factorial design, the plan of the first order.

Для решения задачи идентификации сложных технических объектов или технологических процессов обычно используются статистические методы, позволяющие получить модель исследуемого объекта по экспериментальным данным. При этом предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида:

$$y = \eta(x, \theta) + \varepsilon = \sum_{i=1}^k \theta_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) + \varepsilon, \dots \dots \dots (1)$$

где y – выходная величина объекта;

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор входных факторов;

η – известная линейно параметризованная функция взаимосвязи;

$\boldsymbol{\theta} = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_k)^T$ – вектор неизвестных коэффициентов (параметров) модели;

f_i – функции-регрессоры постулируемой регрессионной модели,

ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$y = F\theta + \varepsilon, \quad (2)$$

где $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$ - вектор значений зависимой переменной в N опытах;

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ - вектор случайных ошибок с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 ;

F - матрица значений функций - регрессоров, определяемых видом модели, во всех N опытах.

Для получения оценок неизвестных коэффициентов регрессии обычно используется метод наименьших квадратов (МНК). МНК - оценки $\hat{\theta}$ вектора неизвестных коэффициентов θ могут быть получены в соответствии со следующим выражением:

$$\hat{\theta} = (F^T F)^{-1} F^T y \dots \dots \dots (3)$$

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые методом наименьших квадратов оценки являются наилучшими в классе линейных оценок.

Фигурирующая в выражении (3) ($N \times k$) матрица F называется матрицей регрессоров, или расширенной матрицей плана эксперимента. В каждой строке этой матрицы записаны значения функций f_j из модели (1) при данном j -м наблюдении ($j = 1, 2, \dots, N$). Так как в регрессионном анализе предварительно предполагается некоторая структура модели, функции f_{ij} известны и их значения легко вычислить по данным проведенного эксперимента.

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{21} & \dots & f_{k1} \\ f_{12} & f_{22} & \dots & f_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{1N} & f_{2N} & \dots & f_{kN} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Таким образом, свойства получаемых оценок коэффициентов зависят, с одной стороны, от используемого метода оценивания, а с другой стороны, от используемого в процедуре оценивания множества экспериментальных точек, на основании которого формируется матрица F , то есть от плана эксперимента [1,2].

В зависимости от целей экспериментально-статистического исследования, вида регрессионной модели, имеющих в распоряжении ресурсов используются различные критерии оптимальности экспериментальных планов.

Для построения линейно параметризованных регрессионных моделей первого порядка на практике часто используется полный факторный эксперимент (ПФЭ). Такие планы для своего построения не требуют использования сложных вычислительных процедур даже при больших размерностях факторного пространства. В таких планах каждый фактор принимает значения только на двух уровнях. Без потери общности для нормированных переменных эти уровни можно принять равными -1 и +1. Множество всех точек в n -мерном пространстве, координаты которых являются +1 или -1, и будет представлять собой ПФЭ типа 2^n . Число точек в этом плане $N = 2^n$. Очевидно, что при больших размерностях факторного пространства (при больших значениях n) число точек таких планов становится очень большим, существенно превышающим число оцениваемых параметров регрессионной модели (1). Число степеней свободы, необходимых для проверки адекватности модели становится неоправдан-

но высоким. Требуемые для построения модели экспериментальные затраты становятся трудно преодолимыми. В таких случаях для сокращения требуемого для построения модели числа наблюдений используются дробные факторные эксперименты (ДФЭ). Такой план представляет собой некоторую выборку из точек ПФЭ. Точки плана ДФЭ отбираются с помощью генерирующего соотношения (генератора плана). Для случая регрессионных моделей первого порядка генерирующие соотношения устанавливаются достаточно просто, но факторные планы теряют при этом свое основное положительное качество: раздельное оценивание неизвестных параметров регрессионной модели.

Для построения линейно параметризованных моделей второго порядка требуется варьировать каждую переменную на трех уровнях при формировании плана ПФЭ. Число точек в таком плане $N = 3^n$. Очевидно, что ситуация с требуемыми для построения квадратичных моделей экспериментальными затратами становится еще более острой. Формирование генератора для построения дробных реплик ДФЭ представляет собой достаточно сложную задачу, не имеющую общего решения.

Решение задачи построения экспериментальных планов с ограниченным числом точек и используемых для исследования технических объектов, описываемых квадратичными регрессионными моделями, предлагается искать в классе точных оптимальных планов.

Задача построения точного плана заключается в определении такого расположения заданного числа N экспериментальных точек в пространстве планирования, при котором выполнялся бы некоторый критерий оптимальности.

Таким образом, точный план определяется конечным числом точек проведения наблюдений, причем необязательно отличных друг от друга. При этом существенное условие заключается в том, чтобы число точек, в которых концентрируется точный план, было по крайней мере не меньше числа неизвестных коэффициентов уравнения регрессии.

Точный экспериментальный план может быть представлен в виде совокупности величин

$$X(N) = \left\{ \begin{matrix} x_1, x_2, \dots, x_n \\ r_1, r_2, \dots, r_n \end{matrix} \right\}. \quad (5)$$

Аналитическое построение точных планов возможно лишь в ограниченном числе частных случаев. Численное построение точных планов сопряжено с необходимостью поиска глобального экстремума критерия оптимальности плана в пространстве большой размерности и связано с большими вычислительными затратами. Поэтому такие планы, близкие к оптимальным, обычно строятся путем последовательного улучшения некоторого невырожденного начального плана.

Численное построение точного плана, обеспечивающего получение регрессионной квадратичной модели, представляется целесообразным искать в классе композиционных планов. Тогда искомым план второго порядка представляется состоящим из двух частей. Первая часть (ядро плана) – это некоторая совокупность точек в факторном пространстве, обеспечивающая построение линейной части заданной регрессионной модели. Вторая часть – это добавленная к ядру плана совокупность экспериментальных точек, обеспечивающая возможность оценивания коэффициентов нелинейной части регрессионной модели.

В работе предлагается для формирования ядра плана использовать ПФЭ типа 2^n , а для определения совокупности точек, формирующих план второго порядка, использовать точки плана ПФЭ типа 3^n , не совпадающие с ядром плана. Иными словами, для построения точного плана, содержащего заданное число точек, необходимо сформировать ПФЭ типа 3^n , зафиксировать 2^n точек (обязательно входящих в план ПФЭ 3^n) в качестве ядра плана и к

полученному ядру добавить необходимое число точек из оставшихся $k = 3^n - 2^n$ точек плана ПФЭ 3^n .

Очевидно, что не все оставшиеся k точек войдут в конечный план. Отбор из этих k точек некоторой совокупности, удовлетворяющей поставленным ограничениям на объем плана и обеспечивающей построение регрессионной модели второго порядка, невозможен на основании критерия ПФЭ. Для решения поставленной задачи необходим некоторый внешний критерий, обеспечивающий эффективный отбор заданного числа точек из совокупности k точек и дающий в итоге невырожденный точный экспериментальный план второго порядка.

В качестве такого внешнего критерия предлагается использовать критерий D - оптимальности. Критерий D-оптимальности требует такого выбора плана X , содержащего N опытов, при котором определитель дисперсионной матрицы $C = (F^T F)^{-1}$ имеет минимальную величину. Это означает, что D - оптимальный план минимизирует обобщенную дисперсию оценок неизвестных коэффициентов регрессионной модели. Естественно, что точки постановки опытов должны выбираться из условия принадлежности их к заданной области Q_x , где возможны эксперименты. Заметим, что требование минимальной величины определителя дисперсионной матрицы C эквивалентно требованию максимальной величины определителя информационной матрицы $M = (F^T F)$. Таким образом, оптимальный план X^* , состоящий из заданного числа N опытов и удовлетворяющий критерию D-оптимальности, может быть определен с помощью следующего условия:

$$|M(X^*)| = \max_{X \in Q_x} |M(X)| = \max_{X \in Q_x} |F^T F|. \quad (6)$$

Возможность использования критерия D-оптимальности для решения поставленной задачи построения точных композиционных планов второго порядка вытекает из эквивалентности ПФЭ 2^n и 3^n и непрерывных D-оптимальных планов.

Учитывая отмеченные выше сложности поиска глобального экстремума определителя информационной матрицы в пространстве планирования Q_x , в работе предлагается следующая последовательная процедура построения точных композиционных экспериментальных планов второго порядка, основанная на использовании критериев факторного планирования эксперимента и критерия D-оптимальности.

1. Для заданного вида регрессионной модели строится план ПФЭ 2^n . Этот план принимается в качестве ядра композиционного плана второго порядка.

2. Строится план ПФЭ 3^n на основании которого определяются $k = 3^n - 2^n$ точек претендентов на включение в итоговый план.

3. Из полученной совокупности точек отбирается случайным образом некоторое подмножество, которое совместно с ядром образует начальный N - точечный план X^0 . Естественным требованием является невырожденность данного плана.

4. Не затрагивая точек ядра плана, отбрасывается одна из отобранных в исходный план точек и получается план $X^0(N-1)$

5. Отброшенная точка заменяется на одну из определенных ранее k точек x^i , которая удовлетворяет условию

$$|M(X^1(N))| = \max_{x^i \in Q_x} |M(X^0(N-1)) + f(x^i)f^T(x^i)|.$$

6. Найденная точка x^{i*} добавляется в план $X^0(N-1)$

$$X^1(N) = X^0(N-1) + f(x^{i^*})f^T(x^{i^*}),$$

и получается план $X^1(N)$.

7. Все действия пунктов 4 – 6 повторяются для полученного плана $X^1(N)$.

8. Останов по предлагаемой процедуре композиционного построения точных оптимальных планов выполняется после полного перебора всех точек исходного плана.

Поиск точки, максимизирующей определитель информационной матрицы, можно проводить, определяя точку квадратичной части плана, в которой наблюдается максимум дисперсии предсказанного значения функции отклика:

$$f^T(x^{i^*})M^{-1}(X^0)f(x^{i^*}) = \max_{x^i \in Q_X} f^T(x^i)M^{-1}(X^0)f(x^i).$$

При такой организации процедуры поиска точного плана вычисление определителя заменяется операциями свертки, что существенно сокращает вычислительные затраты.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 1998.— 248 с.

УДК 621.391; ГРНТИ 49.03.03

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ КОФЕМАШИНЫ

П.В. Ягодницен*

*Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов, lopevjob@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные отличия в устройстве современных кофемашин и информационно-логические модели при выборе кофемашины.

Ключевые слова: кофемашина, бойлер, помпа, кофе, эспрессо.

INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-MAKING WHEN CHOOSING A COFFEE MACHINE

P.V. Yagodnitsen *

* Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, lopevjob@gmail.com

Annotation. The main differences in the device of modern coffee machines and information-logical models when choosing a coffee machine are considered

Key words: coffee machine, boiler, pump, coffee, espresso.

Рассмотрим основные отличия эспрессо-машин, которые влияют на качество кофе и производительность. Это поможет решить, какое оборудование лучше подходит а каждой отдельно взятой ситуации. Кофемашины отличаются количеством помп. Помпа — устройство, которое создает давление в кофемашине, а также закачивает воду в бойлер. В эспрессо-машине может быть разное количество помп [1 - 3]:

1. Одна помпа. На большинстве кофемашин одна помпа выполняет сразу несколько функций. Она создает давление и проливает воду в каждой кофейной группе, а также закачивает воду внутрь бойлера с водой для нагрева. Из-за одной помпы на всех группах устанавливается одинаковое давление, при котором готовится эспрессо.

Помпы некоторых кофемашин не закачивают воду в бойлер, а работают только на пролив эспрессо. Они используют давление в системе водопровода, к которому под-

ключены, чтобы закачивать воду в бойлер. При падении уровня воды открывается клапан, но не включается помпа. Если вы планируете работать на таких кофемашинах от бутилированной воды, а не от водопровода, то придется использовать дополнительные насосы, которые будут создавать давление. Но это скорее исключение, помпы большинства моделей кофемашин работают и на пролив воды в группу и на закачку воды в бойлер.

2. Несколько помп. Существуют кофемашины с отдельными помпами для каждой кофейной группы. Их основное преимущество — можно регулировать давление отдельно на каждой из кофейных групп.

Недостатки кофемашин с отдельными помпами: они на порядок дороже, чем кофемашины с одной помпой. Также несколько помп занимают довольно много места.

Пригодиться несколько помп могут, если вы планируете использовать на разных кофейных группах разные рецепты на кофе с разным давлением (см. рис. 1).

Важно не только количество помп, но и тип их устройства. Существует два основных вида: вибрационная помпа и ротационная помпа.

Вибрационные помпы имеют простое устройство и их устанавливают в основном на кофемашины, которые предназначены для небольшой производительности. На кофемашинах с вибрационными помпами устанавливается клапан избыточного давления (Over Pressure Valve). Он необходим, потому что вибрационные помпы не имеют возможности регулировки давления, а с помощью такого клапана можно сбрасывать излишки давления и таким образом настраивать нужное значение.



Рис. 1. Три выносные помпы, установленные в шкафчике под барной стойкой от кофемашины Synesso Hydra

Вибрационная помпа компактная, поэтому устанавливается в небольшие полупрофессиональные и домашние кофемашины. У нее невысокая цена — 18-50 евро. Из недостатков — такая помпа сильно шумит (см. рис. 2).

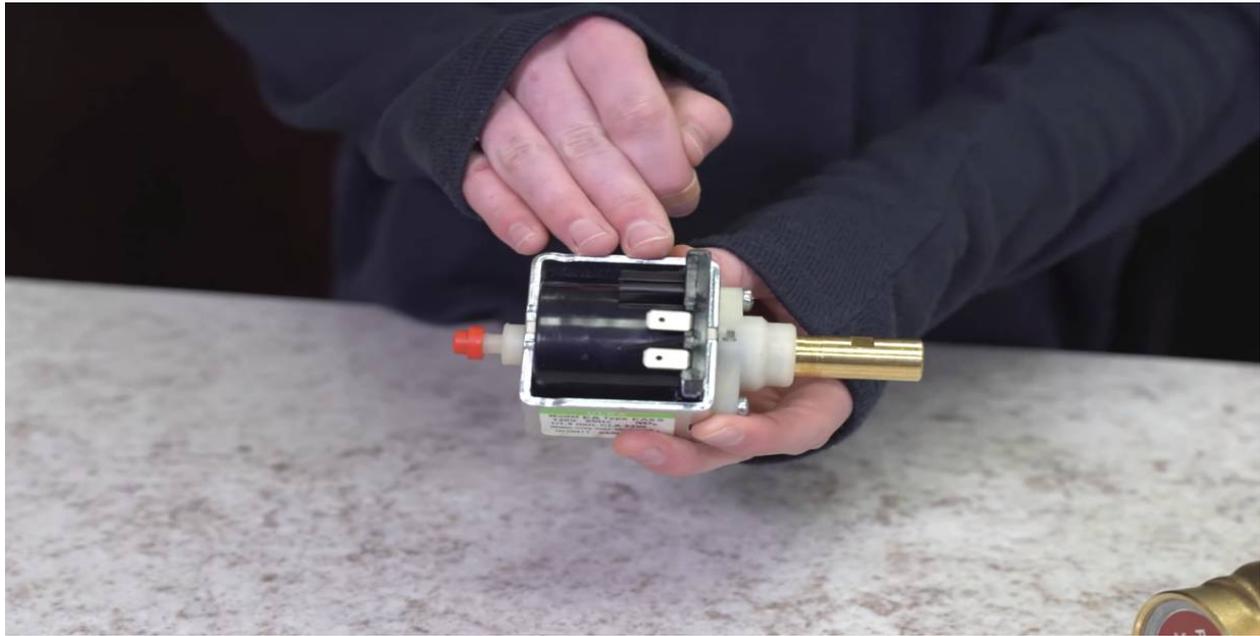


Рис. 2. Внешний вид вибрационной помпы

Ротационные помпы ставят на большинство профессиональных кофемашин. Они состоят из самой помпы и электродвигателя, который вращает лопасти внутри механизма.

В отличие от вибрационных помп, ротационные создают более стабильное давление и мало шумят. При этом они занимают значительно больше места и стоят около 200 евро, не считая электродвигателя (см. рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид ротационной помпы и электродвигателя

Ротационные помпы могут находиться внутри эспрессо-машины или снаружи. Выносные помпы можно установить, например, в шкаф под кофемашиной, что удобно при

изменении настроек давления. Также немаловажным отличием является количество бойлеров которые находятся внутри кофемашины (см. рис. 4).

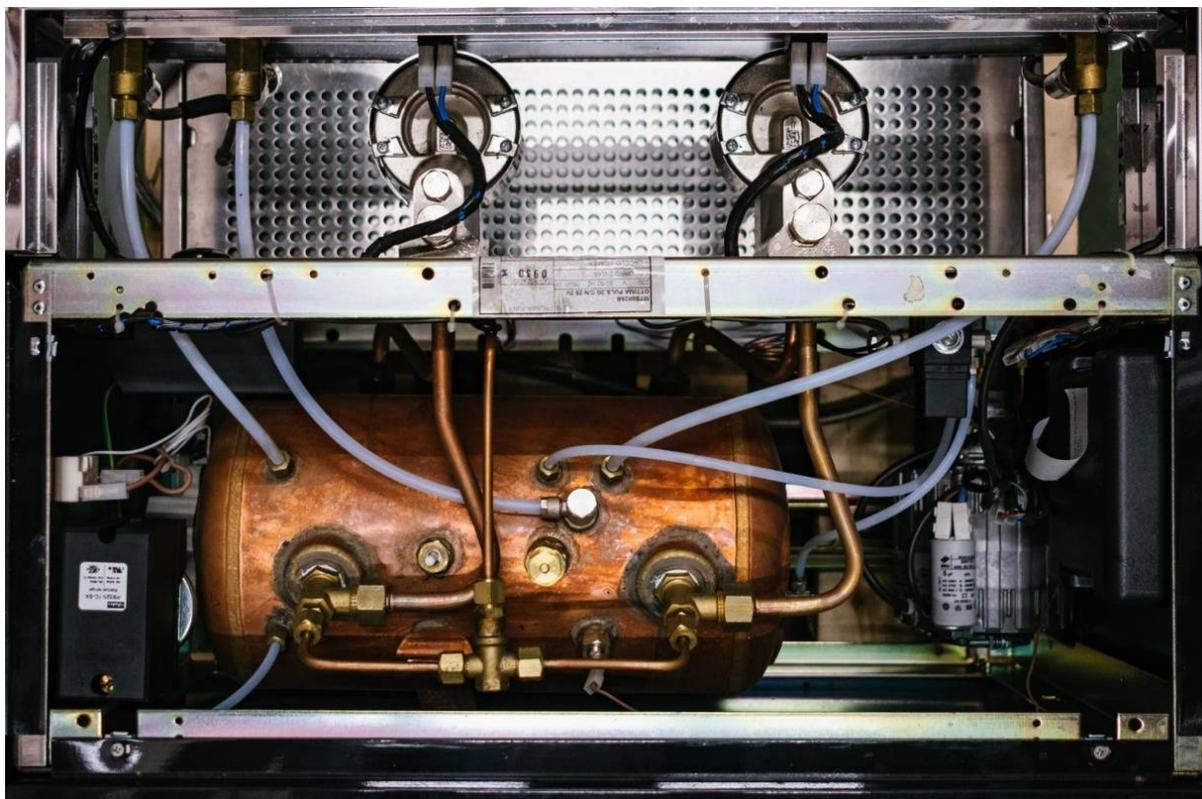


Рис. 4 Однобойлерная кофемашина Ottima изнутри

У этих машин есть один бойлер большого размера, часто более 5 литров. В нем поддерживается нужное давление и температура 120°C .

При включении помпы для приготовления эспрессо холодная вода из водопровода поступает в теплообменник, нагревается и идет в группу. Оттуда уже попадает в таблетку с кофе. При открывании парового крана, который соединен с верхом бойлера, получают пар для взбивания молока.

Недостатки:

— температура воды во время приготовления эспрессо нестабильна, а точно настроить ее очень сложно. Температура часто слишком высока в начале экстракции и становится недостаточной после приготовления нескольких капучино или использования воды из бойлера;

— нужно дополнительное время для приготовления эспрессо. После прогрева машины в теплообменнике находится перегретая вода, температура которой слишком высока для приготовления эспрессо. Поэтому перед приготовлением чашки кофе следует осуществить «холостой пролив», чтобы слить перегретую воду в поддон.

Для однобойлерной кофемашины большое значение имеет размер бойлера. Чем он больше, тем меньше вероятности, что температура будет падать на интенсивном потоке.

Бывают двухбойлерные кофемашины с отдельными бойлерами для пара/кипятка и эспрессо. Также трех- и даже четырехбойлерные, где каждая группа имеет отдельный бойлер для эспрессо помимо бойлера для пара и кипятка.

Можно настраивать температуру отдельно на каждой группе. Это может быть полезно, если вы планируете готовить разный кофе на одной кофемашине одновременно: более светлой и более темной обжарок (см. рис. 5).



Рис. 5. Четырехбойлерная кофемашинa Synesso Hydra

Преимуществами данной кофемашины следующие:

— Кофемашинa не требует «холостого пролива». В каждом бойлере есть PID-контроллер, настроенный на разную температуру. В бойлере для пара и кипятка поддерживается около 120°C. В бойлере для эспрессо — около 93°C (стандартная заводская настройка).

— Высокая термостабильность даже при приготовлении большого количества эспрессо. В кофемашине есть теплообменник, проходящий через паровой бойлер. Через теплообменник вода попадает в уже подогретом состоянии в бойлер для эспрессо.

— Можно настраивать точную температуру воды в бойлере для эспрессо и отдельно в бойлере для пара и кипятка.

— Кофемашинa служит дольше. В бойлере для эспрессо не образуется кальций (накипь), потому что в нем поддерживается температура от 90 до 95°C. А кальций выпадает в осадок при нагреве воды выше 100°C.

Разработка информационно-логической модели поддержки принятия решений

Основным элементом системы поддержки принятия решения при покупке кофемашины является информационно-логическая модель (ИЛМ). В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил [4 - 7]. ИЛМ может быть представлена следующим кортежем:

$$M = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_N, p_1, \dots, p_j, \dots, p_S),$$

где M – оператор ИЛМ;

d_1, \dots, d_N – множество данных ИЛМ;

p_1, \dots, p_S – множество правил.

В свою очередь правила, входящие в модель, построены по типу: *если ... (условия выполняются), то ... (реализация следствия)*.

Рассмотрим некоторые правила, на основе которых должны приниматься решения по покупке той или иной кофемашины.

– *если «среднее количество приготовленных чашек эспрессо около 40», то «стоит приобретать одногруппную кофемашину с одной вибрационной помпой»;*

– *если «среднее количество приготовленных чашек эспрессо около 120», то «стоит приобретать одногруппную кофемашину одной ротационной помпой»;*

– *если «среднее количество приготовленных чашек эспрессо около 240», то «стоит приобретать двухгруппную кофемашину с двумя ротационными помпами»;*

– *если «если количество проданных напитков с молоком менее 40%», то «стоит приобретать однобойлерную кофемашину»;*

– *если «если количество проданных напитков с молоком более 40%», то «стоит приобретать двухбойлерную кофемашину»;*

...

Программная реализация информационно-логической модели осуществлена в среде экспертной системы CLIPS, основу составляет полноценный объектно-ориентированный язык COOL.

В результате проведенных исследований разработана информационно-логическая модель поддержки принятий решений при выборе кофемашины.

Библиографический список

1. Ахметшина С. Как выбрать кофемашину для кофейни / URL: <https://shop.tastycoffee.ru/blog/espresso-mashini-dlya-kofeen>.
2. Хармон К. Что я знаю о работе кофейни. – М.: Азбука, 2019. 224 с..
3. Хоффман Д. Всемирный атлас кофе. От зерна до чашки. Полный путеводитель по странам-производителям, сортам и способам приготовления. - М.: ПальмираЮ 2018. -256 с.
3. Mokrozub V.G., Egorov S.Ya, Nemtinov V. A. Procedural and information-logical models of planning production and repairs of technological equipment for multi-assortment production. - Information technologies in design and production. 2009. No. 2. - pp. 2 - 3.
4. Nemtinov V.A., Zazulya A.N., Kapustin V.P., Nemtinova. Yu.V. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design. - Journal of Physics: Conference Series. 2019. – Vol. 1278 (1). – P. 012018.
5. Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Yu. MATEC Web of Conferences: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017), 11 - 15 September, 2017, Sevastopol, 2017, vol. 129, P. 01012.
6. Мокрозуб В.Г., Немтинов В.А., Егоров. С.Я. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах. - Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. – С. 68 – 73.
7. Немтинов В.А., Бобылев В.Ю., Немтинова Ю.В., Борисенко А.Б. Информационное обеспечение принятия решений при технологическом обслуживании токарных станков. - Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. 2020. Т. 26. №. 2. - С. 220–229.

УДК 691.322:004.421; ГРНТИ

ПОЛУЧЕНИЕ ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГЛИНОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ

В.В. Белов, С.В. Пунегов

Тверской государственный технический университет,
Россия, Тверь, vladim-bel@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность получения вяжущего на основе безобжигового глинистого сырья. Дано теоретическое описание взаимодействия добавки извести как активатора с глинистыми грунтами. Показана возможность создания строительных материалов из глинистого сырья с требуемыми эксплуатационными показателями.

Ключевые слова. Строительные материалы из глинистого сырья, получения вяжущего.

IMPROVING THE QUALITY OF HIGHER TECHNICAL EDUCATION

V.V. Belov, S.V. Pynegov

Tver State Technical University,
Russia, Tver, vladim-bel@yandex.ru

Abstract. The possibility of producing binder on the basis of non-burnt clay raw materials is considered. Theoretically, a description is given of the interaction of lime additive as an activator with clay soils. The possibility of creating construction materials from clay raw materials with the required operational parameters is shown.

Keywords. Construction materials from clay raw materials, production of binder/

Глина – один из самых ранних строительных материалов в истории человечества. Если глину размочить, она становится вязкой, пластичной, податливой, при высыхании она сохраняет форму и со временем становится более прочной. Этот процесс можно ускорить обжигом. Однако пережженные и глазурованные керамические изделия теряют способность дышать.

Существует несколько способов усиления водостойкости и структурной прочности глиняных конструкций без использования высокотемпературного обжига. Эти методы связаны со стабилизацией естественного бетона. Стабилизация грунта осуществляется также с помощью органических и неорганических добавок. Эти добавки необходимы для армирования, гидроизоляции и улучшения поверхностных характеристик [1].

В результате взаимодействия неорганических вяжущих и коллоидно-глинистой составляющей грунта образуют материалы, обладающие повышенной морозостойкостью и долговечностью. Особенно это относится к комплексно укрепленным грунтам.

В дорожном строительстве методами искусственного укрепления грунтов занимаются давно. Сущность этих методов заключается в цементации и известковании грунтов, комплексной обработке органическими минеральными вяжущими, в результате чего происходит коагуляция глинисто-коллоидных фракций с приобретением свойств, отвечающих требованиям по водостойкости. Увеличивается сцепление между частицами и агрегатами грунта, что, в свою очередь, приводит к повышению сил трения, прочности и морозостойкости грунта.

В качестве неорганических стабилизаторов используют добавки портландцемента, извести и силикатные соединения. На сегодняшний день цемент является самым распространенным закрепителем. Но если цемента в бетоне слишком много, то грунт теряет свои привлекательные свойства и становится похожим на камень. По этой причине более предпочтительным является использование вместо цемента извести молотой, негашеной и гашеной.

При внесении добавок извести в грунт происходит растворение и диссоциация в жидкой фазе грунта таких наиболее растворимых ее соединений, как K_2O , Na_2O , CaO и т.д. Перешедшие в раствор соединения, в силу своей щелочности смещают реакцию среды грунта в соответствующую сторону [2]. В связи с этим начинают развиваться химические реакции противодействия грунта за счет присущих ему факторов буферности, т.е. интенсифицируются процессы, заключающиеся в частичной или полной нейтрализации (в случае резкокислой реакции грунта и применения малых добавок), перешедших в грунтовый раствор CaO , K_2O ,

Обобщая изложенное, можно отметить, что приведенная интерпретация химических процессов, происходящих в системах известь – грунт не только соответствует известным представлениям и экспериментальным результатам в области технической мелиорации глинистых грунтов, но и позволяет объяснить специфические особенности осуществления тех или иных химических реакций в указанных системах применительно к свойствам извести и обрабатываемых ею грунтов.

Разработка технологии глиношлаковых композиционных материалов автоклавного твердения явилась продолжением комплекса исследовательских работ, связанных с созданием новых безобжиговых строительных материалов. Проведенные исследования по сравнительной оценке прочностных свойств глиношлаковых композиций автоклавного твердения показала высокую эффективность автоклавной обработки [3].

Изучение свойств грунтов, укрепленных известью, показало, что дозировка, а также дисперсность существенно влияют на свойства и физико-механические характеристики материалов. Так, при укреплении всех видов грунтов чистой известью получают дорожно-строительные материалы с плохой уплотняемостью, низкой морозостойкостью и деформативностью.

По результатам исследований было установлено, что при дозировке извести от 1 до 20 % в системе "грунт - известь" не образуются кристаллизационные связи, а происходит лишь агрегатирование глинисто-коллоидной фракции грунта [4]. Материал неморозоустойчив и разрушается после 3 - 4 циклов замораживания-оттаивания. При дозировке от 3 до 5 % образцы имеют большую прочность и морозостойкость.

В результате взаимодействия грунта, а именно алюмосиликатной составляющей, с известью образуются гидросиликаты и гидроалюмосиликаты, обеспечивающие морозостойкость, прочность материала основания. Разрушение образцов наступает после 12 - 14 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При дозировке от 6 до 20 % происходит стабилизация прочности и морозостойкости. В данном случае происходит насыщение структуры кристаллизованными связями. Согласно полученным данным по физико-механическим свойствам установлено, что при дозировке извести от 11 до 16 % возникает дополнительное изменение свойств и это зависит от комплексной активности грунта. Грунты, укрепленные известью, обладают сравнительно низкой морозостойкостью, так как они имеют значительную пористость и влагоемкость, а известковый цемент недостаточно прочен. Для нахождения эффективных средств повышения морозостойкости грунтов, укрепленных известью, были испытаны добавки шлака и цемента. Добавка шлака приводит к увеличению кристаллов гидрата окиси кальция в процессе его кристаллизации. Образование более крупных кристаллов приводит к дополнительной растворимости гидрата окиси кальция, а следовательно, к повышению водостойкости грунтов, укрепленных известью.

Сведения о создании геополлимерных вяжущих из дисперсных горных пород без их обжига, с изменяющимися минералогическую природу веществ, чрезвычайно скудны. Разработанные в Пензенском ГУАС низкощелочные, смешанные глиношлаковые, карбонатношлаковые и опочношлаковые вяжущие существенно расширили сырьевую базу для их производства и позволили сократить расходы шлака в 1,5-2 раза и щелочных активаторов NaOH, KOH, Na₂CO₃ в 2-3 раза по сравнению со шлакощелочными вяжущими. Доказано, что структурная топология таких смесей наиболее оптимальна, и «прорастание» и цементация инертных частиц целого ряда природных глин и кальциевых известняков продуктами гидратации шлака обеспечивают высокие физико-технические показатели [5].

Несмотря на присущие безобжиговым материалам на основе глин достоинствам, они в качестве стеновых не отвечают требованиям по показателям прочности при сжатии, теплопроводности, имеют низкую водо- и морозостойкость. С целью повышения эксплуатационных показателей строительных материалов из глинистого сырья для малоэтажного строительства необходимо улучшить их структуру применением эффективных минеральных и органических добавок в комплексе с различными технологическими приемами [6].

В.В. Белов с коллегами из Тверского государственного технического университета получили глиняный бетон, состоящий из цемента, глины, опилок и торфа [7]. Из глиняного бетона изготавливали лабораторные образцы по обычной бетонной технологии (формование, вибрационное уплотнение, пропаривание, сушка) и испытывали на плотность и прочность на сжатие. Плотность образцов соответствовала стандартной плотности легких бетонов (от 585 до 603 кг/м³), в которых в качестве наполнителей используют шлаки, пемзу, керамзит, туф. Норме соответствовала и прочность бетона на сжатие. Промышленные испытания нового материала не проводились, но изобретатели уверены, что его можно использовать и в гражданском, и в промышленном строительстве.

Таким образом, рассмотрено получение безобжиговых материалов на основе глин, отвечающие требованиям по показателям прочности при сжатии, теплопроводности, и имеющие достаточную водо- и морозостойкость

Библиографический список

1. Матвеева, Л.Ю. Глина как строительный материал [Текст] / Л.Ю. Матвеева // <http://www.milzem.ru/>, 2004.
2. Кнатько, В.М. / Укрепление дисперсных грунтов путем синтеза неорганических вяжущих/ В.М. Кнатько / ЛУ. 1989. С. 274.
3. Калашников В.И. Перспективы развития геополлимерных вяжущих [Текст] / В.И. Калашников // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения: Восьмое академическое чтение отделения строительных наук РААСН/ Издательство Самарского ГАСУ.- Самара, 2004. С. 193-195.
4. Романенко И., Тимофеева О., Жигалов В. Способы укрепления грунтов основания дорог [Текст] / И. Романенко, О. Тимофеева, В. Жигалов // Городское хозяйство/ ПГАСА. 2006.
5. Нестеров В.Ю., Калашников В.И., Куликов И.М. и др. Гидротермальная активация глиношлаковых композиционных материалов. [Текст] / В.Ю. Нестеров, В.И. Калашников, И.М. Куликов и др. // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения: Восьмое академическое чтение отделения строительных наук РААСН/ Издательство Самарского ГАСУ. Самара, 2004. С. 367-369.
6. Лошанина О.Н. Строительные материалы из стабилизированного глинистого сырья для малоэтажного строительства [Текст] / О.Н. Лошанина // <http://www.smdomgl.ru/>, 2004.
7. Патент № 2136624. Бетонная смесь [Текст] / В.В. Белов, Л.И. Ганина, А.И. Глушков, и др. 1999.

УДК 66.028.2; ГРНТИ 50.47

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ДАТЧИКА РАСХОДА «ДРЖИ-25»

М.В. Ленков, Р.С. Гамазков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается схема контроля и дозирования жидкости на основе датчика ДРЖИ-25. Приводится принцип действия датчика и установки, осуществлен выбор ключевых компонентов установки, а также рассмотрены ключевые программные блоки.

Ключевые слова: программируемый логический контроллер (ПЛК), датчик расхода жидкости (ДРЖИ).

AUTOMATED LIQUID METERING SYSTEM BASED ON AN INDUSTRIAL FLOW SENSOR «DRGI-25»

M.V. Lenkov, R.S. Gamazkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

The summary. The principle of operation of the sensor and the installation is given, the key components of the installation are selected, and the key program blocks are considered.

Keywords: programmable logic controller (PLC), liquid flow sensor (LFS).

Большинство технологических процессов сопровождается постоянным контролем эффективности производственного цикла и затраченных ресурсов элементов взаимодействующих сред. В одних случаях требуется измерение расхода или массы используемого сырья, в других - поддерживать определённое соотношение расхода одного компонента в зависимости от интенсивности поступления другого. В первом и во втором случае для выполнения качественного контроля технологических процессов необходимо применение современных цифровых измерительных преобразователей, обеспечивающих возможность сопряжения с центральными блоками управления производственного процесса.

На рисунке 1 изображена схема установки, которая предназначена для автоматизации системы управления расходом жидкости. Устройством управления, в данном случае является программируемый логический контроллер (ПЛК).

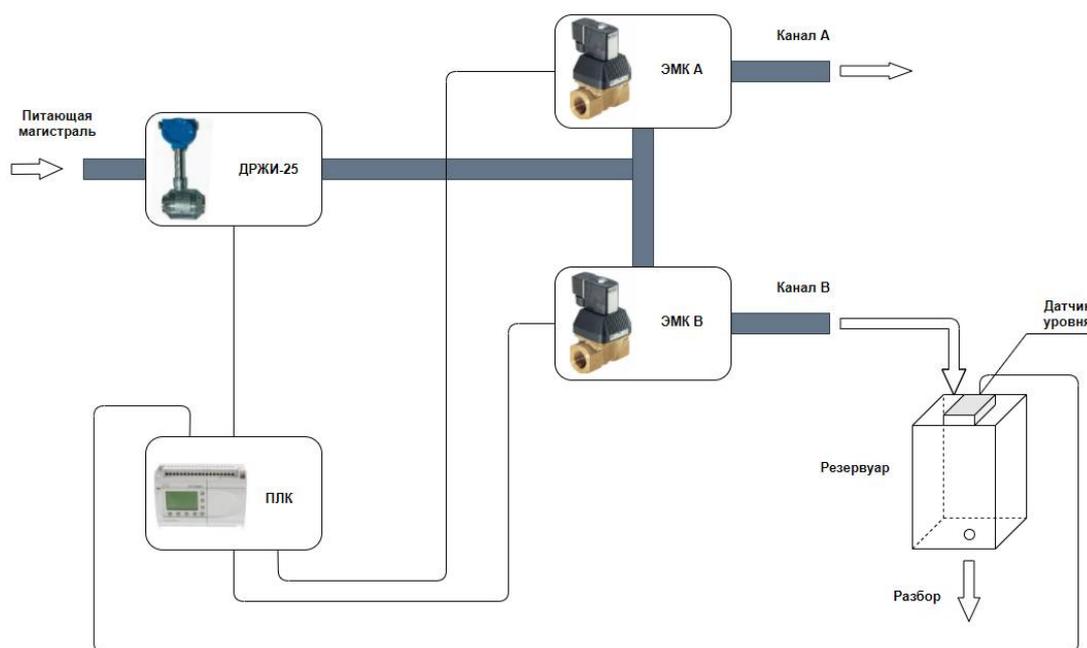


Рис. 1. Схема установки: ДРЖИ-25 – датчик расхода; ЭМК А, ЭМК В – электромагнитные клапаны; ПЛК – программируемый логический контроллер

Технологический процесс данной установки реализуется по следующему алгоритму. Жидкость поступает из питающей магистрали по двум каналам, при этом, через один из них (канал А) продукт дозируется на проход с отводом на слив в отводную трубу, а через второй канал (канал В) вода дозируется в резервуар ограниченного объема, в котором необходимо поддерживать постоянный контроль уровня заполнения резервуара и восстанавливать этот уровень при его уменьшении до заданного значения. Помимо этого, необходимо учитывать, что одновременная подача продукта через оба канала невозможна. Приоритетным каналом будет являться тот, через который жидкость поступает в резервуар. Контроль расхода и дозирования продукта (жидкости) реализуется на основе совместного использования промышленного датчика расхода жидкости (ДРЖИ-25) и микроконтроллера (ПЛК).

Выбор датчика расхода жидкости

В промышленности расходомеры подразделяются, как правило, на четыре типа по принципу действия: электромагнитные, ультразвуковые, вихревые и механические.

Электромагнитные по сравнению с другими типами обладают рядом достоинств: независимость показаний от вязкости и плотности среды; возможность измерений при больших диаметрах трубопроводов без внесения дополнительного динамического сопротивления; ра-

ботоспособность при высоких давлениях среды – вплоть до 100 МПа; идентичность показаний величины расхода в полностью заполненных трубопроводах как для турбулентного, так и для ламинарного потоков.

Принцип действия электромагнитных расходомеров базируется на законе электромагнитной индукции Фарадея. При взаимодействии магнитного поля, создаваемого прямоугольным импульсным током в обмотках возбуждателя, с движущейся электропроводящей жидкостью в ней наводится ЭДС, амплитуда которой пропорциональна скорости движения жидкости, току в обмотках возбуждения и расстоянию между электродами.

В качестве датчика расхода жидкостей рассматриваемой установке используется электромагнитный датчик ДРЖИ-25, выпускаемый ведущим производителем расходоизмерительной техники в России компанией «СибНА». Данный датчик предназначен для измерения объема и контроля объемного расхода воды, а также других жидкостей. Прикладная область его применения – это промышленные предприятия и предприятия пищевой промышленности, объекты коммунально-бытового назначения.

Датчики расхода модификации ДРЖИ имеют два исполнения по способу монтажа на трубопровод: исполнение типа "Сэндвич" и фланцевые [1].

Классификация датчиков расхода жидкости «ДРЖИ» и основные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация датчиков расхода и основные параметры.

Типоразмер датчика расхода	Номинальный диаметр подсоединяемого трубопровода, мм	Температура измеряемой среды, °С	Диапазон эксплуатационных расходов, м ³ /с		Пределы основной относительной погрешности датчика расхода по импульсному выходу, %
			Qэ.min	Qэ.max	
ДРЖИ-25-8	25	0-150	0,2	8,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-50-30	50	0-150	0,8	30,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-50Ф	50	0-150	0,8	50,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-50-50	50	0-150	1,25	50,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-25-8МП	25	0-150	0,8	8,00	±0,5
ДРЖИ-50-30МП	50	0-150	3	30,00	±0,5
ДРЖИ-100Ф	80, 100	0-150	5	200,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-100-200	100	0-70	5	200,00	±1,0 ИЛИ ±1,5
ДРЖИ-100-200-МП	100	0-70	20	200,00	±0,5

Выбор ПЛК

Основным элементом установки является контроллер, который должен иметь возможность принимать: 1 входной сигнал аналогового типа, 2 входных сигнала дискретного типа и иметь возможность управлять 2 сигналами выходного типа. Контроллер должен быть широкого промышленного применения, а его программное обеспечение – свободно распространяющимся.

В соответствии с данными условиями, для реализации установки автоматизации системы управления расходом жидкости используется контроллер MitsubishiAlpha 2 (AlphaXL) AL2-24MR-D.

Контроллеры серии Alpha 2 - это эффективное решение для управления целым рядом задач автоматизации: осветительными устройствами, кондиционерами, защитными системами или устройствами регулирования температуры и контроля жидкостей. Особенности: возможность расширения дополнительными транзисторными и релейными выходами; аналоговые входы и выходы; быстрые счетчики до 1 кГц; функции GSM для коммуникации с мобильными телефонами [2].

Токовые сигналы

В контроллерах ввод аналоговых сигналов выполняется через порты, работающие в формате входного напряжения $0...10$ В. Так как контроллеры серии Alpha 2 не имеют токового входа ($0...20$ мА, или $4...20$ мА), измеряемый параметр выходного сигнала датчика в виде электрического тока необходимо преобразовать в величину выходного напряжения.

Схема преобразователя параметров токового выхода датчика в форму напряжения для сопряжения с аналоговым входом управляющего контроллера изображена на рисунке 2. Для этого к токовой линии подключают внешний резистор R номиналом 500 Ом, падение напряжения на котором от протекания тока 20 мА равно 10 В, и тем самым весь диапазон изменения тока в сигнальной цепи переводится на стороне контроллера в формат $0...10$ В.

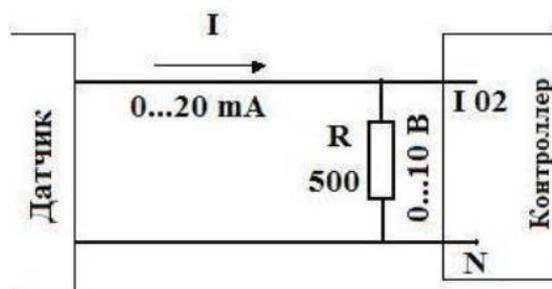


Рис. 2. Схема преобразования токового выхода датчика к параметрам аналогового ввода контроллеров

Программа ПЛК

Программа для ПЛК установки автоматизации системы управления расходом жидкости разрабатывается в программном пакете AL-PCS/WIN. Программа работы логического контроллера должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- возможность ввода требуемого объёма дозы в литрах;
- индикация на экране установленных значений формируемых доз в литрах;
- управление выбором канала подачи жидкости (при возникновении необходимости подачи некоторого объёма жидкости по каналу В, но в это время идёт обслуживание канала А, то подача жидкости в трубу А временно останавливается, включается дозирование по каналу В, по окончании которого продолжается отдача в трубу А);
- дифференцированное управление каналом В (через канал В подача жидкости производится только при включенной соответствующей функции в контроллере и при наличии сигнала с датчика уровня жидкости в резервуаре);
- включение рабочего режима пусковой кнопкой.

Управляющую программу ПЛК условно можно разбить на несколько отдельных модулей, каждый из которых должен выполнять свою функционально законченную задачу. Таким образом, выделим следующие программные блоки:

- 1) блок перевода единиц измерения;
- 2) блок, отвечающий за управление расходом и уставками;
- 3) блок отдачи воды в резервуар (канал В);
- 4) блок управления дозированием жидкости в канал А.

Успешное применение алгоритма работы датчика расхода ДРЖИ-25 и ПЛК в установке контроля и дозирования жидкости позволяет повысить качество выпускаемой продукции, а также минимизировать человеческий фактор и издержки. Установка проста в реализации, не требует значительных затрат, так как может выполняться на простой элементной базе, следовательно, довольно полезна с точки зрения, как технической, так и экономической эффективности.

Библиографический список

1. Датчик расхода жидкости индукционный «ДРЖИ». Руководство по эксплуатации 333.01.00.000-01 РЭ; ИПФ «Сибнефтеавтоматика».
2. Каталог компании «СП Технологии». Системы программируемых контроллеров MitsubishiElectric.– 5с. – URL: <https://clck.ru/TXjtH> (дата обращения: 01.03.2021) – Режим доступа: для неавторизованных пользователей. – Текст: электронный.

УДК 004.932.4; ГРНТИ 28.23.15

ВЫБОР МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

К.П. Мамонов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kopamamonov@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются методы морфологической обработки изображений с целью выбора наиболее подходящего для оптического контроля качества изделия. Приводятся их принципы работы и особенности.

Ключевые слова: морфологическая обработка, логические операции, границы изображения, связные компоненты, компоненты связности.

CHOISE OF METHOD FOR MORPHOLOGICAL IMAGE PROCESSING DURING OPTICAL QUALITY CONTROL OF PRODUCTS

K.P. Mamonov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, kopamamonov@yandex.ru*

Annotation. The paper discusses the method of morphological image processing with the aim of choosing the most suitable one for optical quality control. Their operating principles and features are given.

Key words: morphological processing, logical operations, image boundaries, connected components, components of connection.

Морфологические методы применяются в основном для работы с двоичными (черно-белыми) изображениями. Эти методы позволяют извлекать компоненты изображения, которые в последствии могут использоваться для представления формы объекта. Данная группа методов при работе использует такие простейшие логические операции, как:

- NOT (логическое «НЕ»)
- AND (логическое «И»)
- OR (логическое «ИЛИ»)
- XOR (исключающее «ИЛИ»)

Примеры соответствующих процедур представлены на рисунке 1. Также в морфологических методах используются эрозия и дилатация — операции, предназначенные в первую очередь для выявления различных морфологических особенностей изображений, с использованием различных структурных элементов.

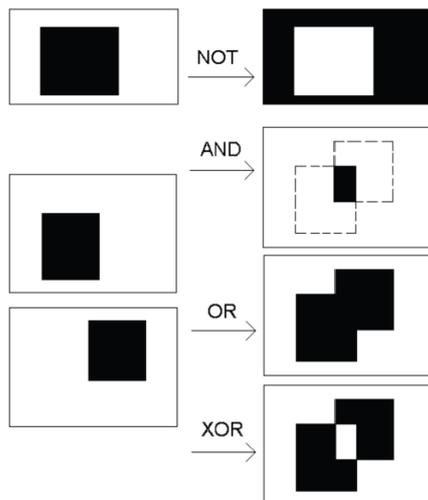


Рис. 1. Примеры простейших логических операций над изображением

Метод выделения границ

Граница множества **A**, которую будем обозначать $\beta(A)$, может быть получена путем выполнения операции эрозии **A** по **B**, а затем получением разностного множества между множеством **A** и результатом его эрозии.

$$\beta(A) = A \setminus (A \ominus B),$$

где **B** – любой примитив операции.

На рисунке 2 показан механизм работы процедуры. Слева показано исходное изображение, справа — изображение, полученное вычитанием из множества **A**.



Рис. 2. Пример получения границ методом выделения границ

Метод выделения связанных компонент

Отношение связности между элементами изображения является фундаментальным понятием. Для того, что бы установить, являются ли два элемента изображения связными, необходимо, чтобы они были соседями и уровни их яркости удовлетворяли заданному критерию сходства.

Пусть **S** – некоторое подмножество элементов изображения. Два элемента **p** и **q** называются связными в **S**, если между ними существует путь, целиком состоящий из элементов множества **S**. Для любого пикселя **p** из **S** множество всех пикселей, связанных с ним в **S**, называется связной компонентой (или компонентой связности) **S**. Если множество **S** содержит только одну компоненту связности, оно называется связным множеством.

На практике выделение компонент связности на изображении занимает центральное место во многих прикладных задачах анализа изображений.

Пусть Y – некоторая связная компонента из множества A . Предположим, что нам известна точка $p \in Y$. Тогда все элементы компоненты Y могут быть получены с помощью рекуррентного выражения

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

где $X_0 = p$; B – любой подходящий примитив.

Использование примитива A в качестве ограничивающего обосновано тем, что все разыскиваемые пиксели имеют значение 1. Взятие пересечения со множеством A на каждом шаге итерации исключает из результатов дилатации те значения, которые приходятся на нулевые элементы. Данный алгоритм применим в случае любого конечного числа связных компонент, из которых состоит множество A , при условии, что внутри каждой компоненты связности известна хотя бы одна точка.

На рисунке 3 показана процедура обработки изображения, начиная с некоторой компоненты p . Процедура завершается тогда, когда на текущем шаге не было обнаружено ни одной новой связной компоненты.

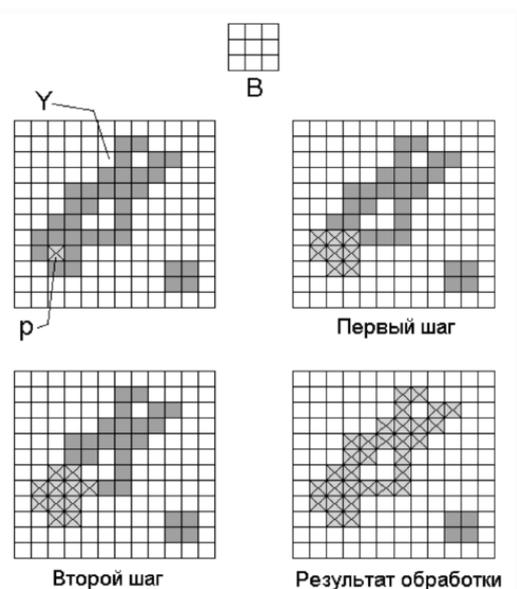


Рис. 3. Пример выполнения операции выделения связных компонент

Таким образом для морфологической обработки изображения во время оптического контроля качества изделий следует выбрать метод выделения связных компонент, т.к. он более универсальный и простой в программировании.

Библиографический список

1. Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, А.В. Бондаренко, М.В. Ососков, А.В. Моржин. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
2. Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). — СПб.: Свое издательство, 2016. — vi, 134 с.
3. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. – Москва, «Техносфера», 2005.

УДК 621.3.019.3; ГРНТИ 28.27.19

ПРИМЕНЕНИЕ GOOGLE APPS ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ

И.Н. Романов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, inromanov@live.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются возможности Google таблиц (Google Sheets) для вычисления количественных показателей надёжности. И применение Google Web Apps для автоматизации вычислений в многопользовательском режиме.

Ключевые слова: количественные показатели надёжности, частота отказов, Google таблицы (Google Sheets), Google Web Apps.

USING GOOGLE APPS TO AUTOMATE RELIABILITY CALCULATION

I.N. Romanov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, inromanov@live.ru*

The summary. The paper discusses the capabilities of Google Sheets for calculating quantitative indicators of reliability. And the use of Google Web Apps to automate calculations in multi-user mode.

Keywords: quantitative indicators of reliability, failure rate, Google Sheets, Google Web Apps.

Большинство задач в проектировании надёжности связано с количественными показателями, такими как время до отказа компонента, вероятность безотказной работы и качественными показателями, например, является ли компонент дефектным или исправным.

В случае наработки до отказа случайная величина t представляет собой время до отказа компонента и может принимать любое значение в диапазоне от 0 до бесконечности (поскольку мы не знаем точное время априори).

Функция плотности вероятности и интегральная функция распределения являются двумя наиболее важными статистическими функциями надёжности. Когда эти функции известны, можно вывести или получить почти любую другую интересующую меру надёжности.

В теории надёжности функции плотности вероятности соответствует функция частоты отказов $a(t)$. Через функцию частоты отказов наработка до отказа T_{cp} и вероятность безотказной работы $P(t)$ могут быть вычислены по формулам [1]:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot a(t) dt,$$

$$P(t) = 1 - \int_0^t a(\tau) d\tau.$$

Для функции $a(t)$ существуют разные распределения, такие как экспоненциальное, нормальное, усечённое нормальное, логарифмически нормальное, распределение Вейбулла.

Современные прикладные пакеты для математических и статистических расчётов (Mathcad, Excel, Google Таблицы (Google Sheets) и др.) содержат указанные распределения как стандартные функции, что позволяет существенно упростить расчёты по определению количественных показателей надёжности.

При решении практических задач теории надёжности (определение наработки до отказа, вероятности безотказной работы, статистической обработки данных об отказах и др.) разрабатывают стандартный документ прикладного пакета, в котором в дальнейшем меняют только исходные данные, а вычисления проводятся автоматически средствами прикладного

пакета. При этом результаты вычислений могут быть представлены в виде графиков, диаграмм и схем [2].

В таком случае имеет смысл отделить интерфейс, реализующий отправку исходных данных, приём и визуализацию результатов вычислений, от документа прикладного пакета, где происходят вычисления и построение графиков, диаграмм и схем.

В данной работе был исследован и реализован описанный выше подход с помощью платформы Google Apps.

Google Таблицы (Google Sheets)

Для нормального, усечённого нормального, логарифмически нормального, Вейбулла и Гамма распределений частоты отказов $a(t)$ разработан соответствующий документ Google Таблиц (Google Sheets).

На рисунке 1 показан пример Google таблицы для вычисления показателей надёжности при частоте отказов $a(t)$ распределённой по закону Вейбулла. В этом случае $a(t)$ и $P(t)$ определяются по формулам:

$$a(t) = 1 - \text{WEIBULL}(t; \$B\$2; \$C\$2; \text{TRUE}),$$

$$P(t) = \text{WEIBULL}(t; \$B\$2; \$C\$2; \text{FALSE}),$$

где WEIBULL – стандартная функция Google таблиц.

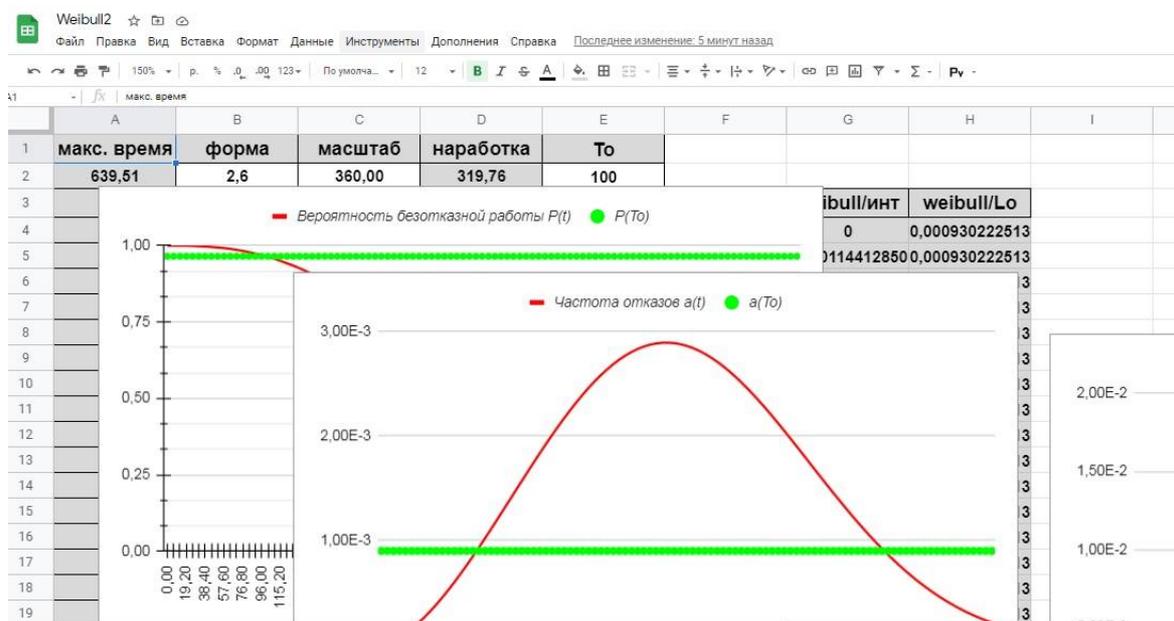


Рис. 1. Пример Google таблицы для распределения Вейбулла

Входными параметрами для всех документов являются параметры соответствующего распределения и время, для которого вычисляются вероятность безотказной работы, частота отказов и интенсивность отказов.

Выходными параметрами для всех документов являются вероятность безотказной работы, частота отказов и интенсивность отказов для заданного времени, а так же графики вероятности безотказной работы, частоты отказов и интенсивности отказов.

Google Web App

Пользовательский интерфейс реализован как Google Web App (рис. 2).



Рис. 2. Пользовательский интерфейс приложения

Структура проекта Google Web App показана на рисунке 3.

Проект содержит файлы с расширением *.gs и файлы с расширением *.html. Gs-файлы – код на Google Apps Script, который отвечает за отправку и приём данных из Google Sheets. Html-файлы отвечают за создание пользовательского интерфейса. В этих файлах размечены места для полей ввода параметров, которые передаются в Google Sheets, и места для вывода результатов вычислений и графиков.

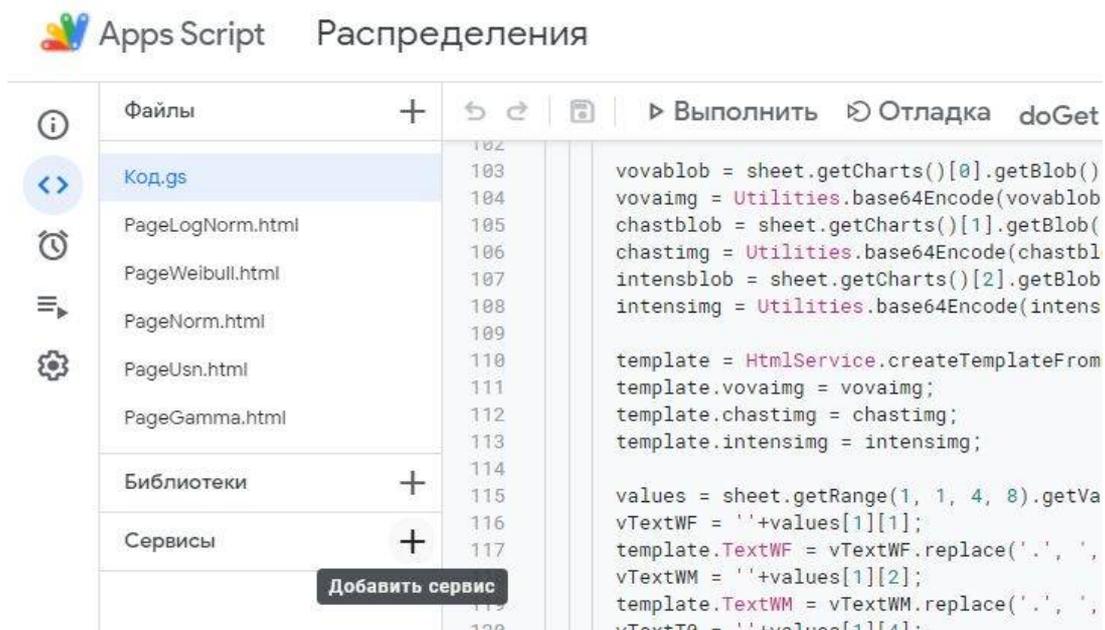


Рис. 3. Структура проекта Google Web App

Следует отметить, что Google Web App обрабатывает запросы всех пользователей с помощью одной таблицы Google Sheets. Поэтому при проектировании Web App необходимо предусмотреть, чтобы одновременные запросы пользователей выполнялись последовательно и не конфликтовали друг с другом. Для этого в Google Apps Script предусмотрены специальные команды.

Google Sites

Google Web App доступно по уникальному URL вида:

[https://script.google.com/macros/s/\[ID-APP\]/exec](https://script.google.com/macros/s/[ID-APP]/exec)

Но для того, чтобы приложением могли пользоваться все, даже не авторизованные в аккаунтах Google пользователи, на приложения требуется предоставлять широкие права использования.

Вместе с тем Web App можно встроить в Google Sites, тогда приложение будет доступно по URL сайта, а URL самого приложения будет скрыт.

Пример приложения, встроеного в Google Sites доступен по URL сайта

<https://sites.google.com/view/irmt/>

В расчётах по надёжности часто используют таблицы табулированных значений различных специальных функций. Прикладные пакеты (Mathcad, Excel, Google Таблицы (Google Sheets) и др.) вычисляют не табличные, а точные значения необходимых величин. Использование рассматриваемого в работе подхода позволяет предоставлять удобный интерфейс для получения таких данных. Например, по URL

<https://sites.google.com/view/irmt/%D0%BD%D0%BE%D1%80%D0%BC/%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B8>

расположено приложение для определения зависимости квантили U от вероятности безотказной работы P в случае нормального распределения.

Таким образом, можно сделать вывод, что исследованная в работе методика может найти своё применение при решении практических и учебных задач в теории надёжности изделий и технических систем.

Библиографический список

1. Васильев Р. Р. Надёжность и диагностика автоматизированных систем: курс лекций / Р. Р. Васильев, М. З. Салихов, З. Г. Салихов. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2005. – 92 с.
2. Надёжность технических систем: метод. указ. к курсовой работе / Сост. В.А. Дмитриев.– Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008.– 56 с.:ил.
3. Overview of Google Apps Script / <https://developers.google.com/apps-script/overview>

УДК 378.14; ГРНТИ 14.85.09

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО КУРСА ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Р.Н. Дятлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaitp@list.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены элементы структуры Интернет-курса и взаимосвязь учебных модулей. Особенность работы заключается в возможности организации контролируемой самостоятельной работы студентов в рамках дистанционной поддержки учебного процесса. Обсуждается использование интерактивных элементов и их взаимодействие с цифровой средой образовательного процесса. Автор делает вывод о целесообразности применения современных электронных образовательных технологий в классической российской системе образования.

Ключевые слова: автоматизация, электронное образование, цифровизация, информатизация.

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC TRAINING COURSE IN A TECHNICAL DISCIPLINE

R.N. Dyatlov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, kaitp@list.ru*

The summary. The article considers the elements of the structure of the Internet course and the relationship of the training modules. The peculiarity of the work is the possibility of organizing controlled independent work of students within the framework of remote support of the educational process. The use of interactive elements and their interaction with the digital environment of the educational process is discussed. The author makes a conclusion about the expediency of using modern electronic educational technologies in the classical Russian education system.

Keywords: automation, e-education, digitalization, informatization.

Актуальная проблема подготовки инженерных кадров требует создания новых нетрадиционных эффективных методов обучения с использованием интерактивных мультимедийных систем, средств сетевых коммуникаций и методов дистанционного образования. Высокий уровень адаптации учебно-методических комплексов к электронному онлайн обучению характерен для гуманитарных дисциплин, где работа учащихся в меньшем объёме привязана к сложному техническому оборудованию (станки, лабораторные стенды, макеты и т. п.).

Инженерно-технические образовательные программы практически невозможно в полном объёме эффективно реализовать только методами дистанционного обучения и обеспечить качественную квалификацию выпускников ВУЗов [1]. В государственном образовательном стандарте для многих технических дисциплин присутствуют обязательные лабораторные, практические и другие виды занятий, напрямую привязывающие работу студентов к реальным техническим устройствам и аппаратам. Единственным возможным решением является поиск оптимальных методик для совмещения и комбинирования дистанционного, очного и заочного образований инженерно-технических профилей.

На базе электронной системы управления обучением разработан интерактивный курс для дистанционной поддержки учебного процесса на всех формах обучения. Для организации учебного процесса в виртуальной обучающей среде используется современная педагогическая технология социального конструкционизма. Суть технологии в том, чтобы предоставить ученикам конструкты (элементы обучения) и возможность социального (совместного) обсуждения и изучения поставленных задач сохраняя индивидуальный стиль обучения.

В основные и дополнительные цифровые учебные материалы входят мультимедийные лекции, интерактивные тесты и упражнения, контрольные вопросы, учебные видеofilмы и анимация, виртуальные модели физических процессов, список литературы и электронных

библиотечных систем, новостной форум, система видеоконференций, база данных ссылок на свободное программное обеспечение.

Структура курса включает в себя вводный, итоговый и справочный модули, а также основные учебные блоки, в каждом блоке несколько модулей по видам занятий: электронные лекции с активными элементами и мультимедиа, практические задачи с автоматизированной проверкой хода решения и контрольные тесты. Конечная цель изучения материала: освоение теоретических вопросов дисциплины и развитие навыков решения задач с элементами проектирования технологических процессов. По окончании каждой лекции обучаемому предлагается ответить на контрольные вопросы по теме материала. Блок курса завершается контрольным тестированием по всему объёму лекционного материала.

Предметом работы преподавателя является организация внеаудиторной контролируемой самостоятельной работы студентов. Суть организации: разработка электронных учебных модулей, контроль и корректировка прохождения курса студентом, оценивание элементов курса, сбор статистики успеваемости и анализ данных, и прочее. Интерфейс системы и форма представления учебных модулей удобны и понятны для самостоятельного освоения.

Преподаватель имеет возможность управлять критериями оценок за каждый элемент курса, создавать и модифицировать модули курса, участвовать в обсуждениях вместе со студентами. В ходе проведения занятий преподавателю приходится анализировать время, затраченное студентом на освоение материала, с какими трудностями сталкивается обучаемый, мотивация изучения разделов курса.

В рамках самоподготовки студенты получают задание на освоение теоретического материала и решение практических задач, регистрируются на образовательном портале ВУЗа и самостоятельно изучают доступные модули и разделы электронных курсов. Преподаватель может в любой момент времени из любой точки с доступом в Интернет проверить и оценить текущую самостоятельную работу студента, дистанционно его проконсультировать и оказать помощь в освоении материала. Важным моментом является осознание студентом невозможности уклониться от самостоятельной работы, так как преподаватель полностью контролирует все этапы самообучения студента. Хорошим стимулом для студента является влияние его самостоятельной работы на систему балльных поощрений в процессе обучения, что положительно сказывается на окончании учебного курса без задолженностей. При качественной организации самостоятельной подготовки у студента появляются дополнительные желания и интерес к освоению дисциплины.

Продвижение учащихся диагностируется системой оценок и проходных баллов за каждый элемент курса (лекция, упражнение, тестирование, задачи и др.), формируется рейтинговая система, что создаёт элемент соревнования между студентами, тем самым создавая дополнительный стимул к самообучению. Предусматривается специальное подведение итогов всего курса и отдельных элементов в ходе обучения. Подведение итогов в отдельно взятом элементе, например в тестировании, позволяет уже на этапе прохождения курса выявить различия в уровне освоения материала студентами и принять меры индивидуальной работы с учениками, имеющими низкую оценку. Общая оценка за весь электронный курс суммируется из оценок всех элементов курса и является основанием для отсутствия или наличия дополнительных вопросов на аттестационном контроле знаний. Организация подсчёта и начисления баллов и оценок может осуществляться вручную преподавателем или автоматизированно системой обучения.

Учебный курс обладает гибкой структурой, что позволяет организовать самостоятельное изучение материала независимо от аудиторной работы ученика. Сценарий курса основан на зависимостях успешного прохождения одного элемента для получения доступа к следующему.

Практические задачи могут иметь функцию «защиты от списывания». После решения задачи и её оценивания доступ к материалам работы автоматически блокируется, что не позволит списать ответы другим учащимся.

Электронный курс, созданный на базе современной платформы управления обучением, возможно адаптировать для образовательной компьютерной сетевой архитектуры. Тиражирование осуществляется в виде одного файла, запуск и установка не требует специальных знаний.

Как показала практика максимальный эффект от внедрения информационных технологий достигается при их совместном использовании с классической системой образования - непосредственного взаимодействия студента и преподавателя. Такой подход апробировался в нескольких технических дисциплинах, где особое внимание уделялось самостоятельному решению практических задач в электронной форме на аудиторных занятиях под руководством преподавателя. Во внеучебное время студенты имели возможность закреплять усвоенный на занятиях материал, решая аналогичные задачи дома или на консультациях в ВУЗе. При этом используется формат электронных рабочих тетрадей с элементами автоматизации хода решения задачи, которые встроены в учебные модули образовательного сайта. Это существенно экономит время студента при оформлении работы, позволяет избежать многих досадных ошибок при расчёте, стандартизирует вид отчётности, обеспечивает наглядность и удобство анализа работы студента.

В [2] обсуждается обоснованность комбинированных образовательных технологий. Качество образования зависит от многих важных факторов. Одними из них являются опыт преподавателя и выбранная методика обучения. Любой богатый опыт ограничен. Выбранная методика обучения имеет конечный набор средств и инструментов. Всё эти ограничения приводят к пределу насыщения эффективности обучения. В чистом виде классическое образование часто более результативно, чем дистанционное образование с применением электронных образовательных технологий. Совместное использование преимуществ различных технологий обучения даст определённый прирост в качестве образования.

Отдельно стоит пояснить преимущества использования технических средств обучения при организации электронных презентаций, слайдов, учебных видеофильмов. В современной российской системе образования количество часов самостоятельной работы студента сопоставимо с аудиторной, а на заочной форме обучения в несколько раз больше. При этом преподавателю на занятиях нужно преподнести студенту большой объём учебного материала без снижения качества его восприятия. Это возможно за счёт увеличения скорости подачи материала, представления его в интересной и наглядной формах. Такими техническими средствами могут являться видеопроектор и компьютерные технологии, как дополнение к классическим аудиторным методам работы.

Преимущества высоких технологий в высшей школе влияют и на сохранность контингента студентов на всех формах обучения. Задолженности по дисциплинам и жёсткость учебного графика могут являться причинами неуспеваемости и досрочного отчисления студентов из ВУЗа (особенно актуально для заочной формы обучения). Возможность ликвидации «хвостов» и самостоятельное освоение учебного материала дистанционно, но контролируемо, избавит студентов от дискомфорта в процессе обучения.

Для повышения качества прохождения аттестационного тестирования в технической сфере следует дополнительно «натаскивать» студентов на решение типовых задач разных уровней сложности, освоение новой теории. Выполнить такой объём работы контактно и аудиторно часто затруднительно и студентам, и преподавателям. На занятиях необходимо задать вектор освоения материала: рекомендовать литературу, разобрать методы решения задач, особо трудные места в теории. Дистанционный контроль обучения не позволит застрять студенту на какой-то задаче и бросить процесс самообучения. Студент зная, что его труд по-

стоянно контролируется и проверяется, не потеряет интерес к учебному процессу, у него не сложится мнения, что его забыли и бросили, как только он покинул стены института.

Библиографический список

1. Карпов, А. С. Дистанционные образовательные технологии. Планирование и организация учебного процесса: учебно-методическое пособие / А. С. Карпов. – Саратов: Вузовское образование, 2015. – 67 с. – ISBN 2227-8397. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/33839.html>. – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Андриюшкова, О. В. Технология комбинированного обучения / О. В. Андриюшкова, О. В. Казанская // Профессиональный учебник. – 2008, № 4 (14). – С. 26-29.

УДК 004.932.2; ГРНТИ 20.19.27:

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ PYTHON

Р.Н. Дятлов, М.М. Еремин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, er3m1n@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются особенности распознавания объектов на изображениях с помощью PYTHON.

Ключевые слова: Python, программирование, автоматизация, точность, CV, компьютерное зрение.

THE PYTHON OBJECT DETECTION

R.N. Dyatlov, M.M. Eremin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, er3m1n@yandex.ru*

The summary. This paper discusses the features of using the object detection in python.

Keywords: Python, programming, automation, accuracy, CV, computer vision.

Рассмотрение последних тенденций показывает возрастание интереса и необходимости различных систем технического зрения. Наибольшей популярностью пользуются такие системы, которые способны распознавать определённые классы объектов на фото или видео изображениях. Как правило, в основе таких систем лежат либо нейронные сети, либо модель Виолы-Джонсона, использующая классификаторы, основанные на признаках Хаара, результат работы которой приведён на рисунке 1.

Признаки Хаара, как правило, представляют прямоугольные комбинации, которые лучше подходят для визуальных задач распознавания.



Рис. 1. Результат работы каскада Хаара

Однако применение каскада Хаара может давать ошибку, пример которой приведен на рисунке 2.



Рис. 2. Результат ложного распознавание изображения каскадом Хаара

Данное явление можно объяснить тем, что данный способ обнаружения объектов на изображении основан на поиске заранее определенных прямоугольных областей, примыкающих друг к другу и разделенных на две группы. Чтобы определить значение признака Хаара для изображения, нужно сложить яркости пикселей изображения в группах областей независимо друг от друга, а затем произвести вычитание первой области из второй:

$$a_i = \sum_{j=y_{a_i}}^{y_{a_i}+h_{a_i}-1} \sum_{k=x_{a_i}}^{x_{a_i}+w_{a_i}-1} v_{jk}, \quad b_i = \sum_{j=y_{b_i}}^{y_{b_i}+h_{b_i}-1} \sum_{k=x_{b_i}}^{x_{b_i}+w_{b_i}-1} v_{jk}$$

$$H = \sum a_i - \sum b_i,$$

где v_{jk} – яркость пикселя с координатой jk ;

a_i и b_i – суммы яркостей первой и второй группы;

H – значение признака Хаара;

h_i, w_i – высоты и ширины i областей;

x и y – смещения [1].

Распознавание объектов со помощью нейронных сетей осуществляется путём получения выходные данные от предварительно обученных групп нейронов, представляющих из себя сеть. Затем эти данные проходят через фильтр по карте функций выводит несколько предложений региона и прогноз класса для каждого. Предложения регионов представляют собой ограничивающие прямоугольники, основанные на так называемых якорных прямоугольниках или заранее определенных формах, предназначенных для ускорения и улучшения предложения регионов.

Данный подход включает в себя единую обученную сквозную нейронную сеть, которая принимает изображение в качестве входных данных и напрямую прогнозирует ограничивающие прямоугольники и метки. Такой метод предлагает более низкую точность прогнозирования.

Наличие функции Хаара определяется посредством вычитания среднего значения области темных пикселей из среднего значения области светлых пикселей. Если разница превышает порог, тогда говорят, что функция является существующей, но что может давать ошибки как на рисунке 2.

Современные нейросетевые алгоритмы могут не только распознавать изображение, но и локализовать расположение экземпляров определенного класса в кадре, как представлено на рисунках 3 и 4.



Рис. 3. Результат работы нейросети – прямоугольные области свидетельствуют о принадлежности объектов изображения к классам



Рис. 4. Результат распознавания изображения нейросетью

Рассмотрим типовую нейронную сеть, которая позволяет производить детектирование и локализацию объектов. В общем случае нейронная сеть будет состоять из трех типов слоёв: сверточного, субдискретизирующего и полносвязного.

Свёрточные слои предназначены для формирования карт признаков. Своё название они получили от операции свёртки. Данная операция достаточно часто используется в задачах обработки изображений. Двумерная свертка описывается следующей формулой:

$$B[m, n] = \sum f[m - i, n - j] g[i, j],$$

где f – исходное изображение, g – ядро фильтра. Как правило карты признаков, полученные в результате свертки, поступают на нелинейную функцию активации. В качестве такой функции может выступать усеченное линейное преобразование:

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Данная операция необходима для фильтрации избыточной информации в картах признаков. Основными преимуществами использования усечённого линейного преобразования вместо использования сигмоидальной функции активации являются более быстрая сходимость на этапе обучения и более низкие затраты вычислительных ресурсов.

Полученные на предыдущем этапе карты признаков подаются на субдискретизирующий слой. Данный слой уменьшает пространственные размеры карт признаков, но сохраняет наиболее значимую информацию. Для составления прореженной карты признаков могут использоваться различные функции, однако наиболее часто используются следующие операции: выбор максимального значения в заданной области (*Max pooling*), среднее (*Average pooling*) или же сумма (*Sum*).

На заключительном этапе работы данные поступают на один или несколько полносвязных слоёв. Слой называется полносвязным, если каждый нейрон предыдущего слоя соединен со всеми нейронами следующего слоя. Следует отметить, что на данном этапе сеть теряет возможность пространственной локализации объектов на изображении. Задачей этого

участка сети является отнесение изображения к одному из заданных классов. Для этой цели в качестве функции активации используется функция мягкого максимума (*Softmax function*):

$$L_i = \frac{e^{z_i}}{\sum e^{z_k}},$$

где e^{z_i} – степень принадлежности рассматриваемой области i классу, L_i – оценка вероятности того, что в заданной области находится объект i -го класса. Данная функция трансформирует вектор произвольных вещественных чисел к вектору, значения которого лежат в диапазоне от нуля до единицы и в сумме равны единице.

Существуют различные подходы к выделению областей интереса: использование скользящего окна на карте характерных особенностей, полученной с использованием свёрточной нейронной сети, применение выборочного поиска для распознавания объектов, и т.д.

Под обрамляющими прямоугольниками (рисунки 3 и 4) следует понимать выделенные области на изображении, центры которых соответствуют координатам ячеек, число обрамляющих прямоугольников является параметром и задается пользователем.

Для подавления пересекающихся обрамляющих прямоугольников, которые содержат один и тот же класс, используется алгоритм подавления не-максимумов. Суть алгоритма заключается в следующем: для каждого класса выбирается обрамляющий прямоугольник с максимальной степенью принадлежности к данному классу. Затем вычисляется метрика. В данном случае – это отношение пересечения к объединению площади для всех оставшихся прямоугольников. Если значение вычисленной метрики меньше заданного порога, то рассматриваемый прямоугольник исключается.

Полученные результаты экспериментов по распознаванию изображений свидетельствуют о возможном применении данных алгоритмов в составе системы компьютерного зрения.

1. Гарсия Б., Суарес Д., Аранда Э., Терсеро С., Грасиа С., Энано В, Обработка изображений с помощью OpenCV Москва: ДМК– 2016.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»

УДК 621.389; ГРНТИ 45.53.39

АДАПТИВНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СИСТЕМЕ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Т. Валова

*Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова,
Российская Федерация, Рязань, andrei.valoff@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрена возможность использования адаптивных преобразователей в системе управления электромагнитными автомобильными форсунками, которые позволяют регулировать время срабатывания в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: электромагнитная форсунка, преобразователь параметров электрической энергии, время срабатывания.

ADAPTIVE CONVERTER IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUEL INJECTION SYSTEM

T. Valova

*Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov,
Russia, Ryazan, andrei.valoff@mail.ru*

Abstract. The paper considers the possibility of using adaptive converters in the control system of electromagnetic automotive injectors, which allow you to adjust the response time depending on the operating mode of the internal combustion engine.

Keywords: electromagnetic nozzle, converter parameters of electric energy, the response time.

Для дозированной подачи топлива, его распыления в камере сгорания (впускном коллекторе) и образования топливно-воздушной смеси в двигателе внутреннего сгорания используют электромагнитные форсунки (другое название - инжектор), которые являются конструктивным элементом системы впрыска.

Форсунки бензиновых и дизельных двигателей выполняют одинаковые функции, но по принципу действия и конструкции – это совершенно разные устройства. В данной статье описываются форсунки только для бензиновых двигателей. На современных двигателях устанавливаются форсунки с электронным управлением впрыска. Форсунки впрыска бензина изготавливаются под каждый тип двигателя индивидуально, то есть форсунки впрыска не унифицируются и, как правило, не могут переставляться с одного типа двигателя на другой. Исключение составляют универсальные гидромеханические форсунки фирмы BOSCH для механических систем непрерывного впрыска бензина, которые широко применялись на различных двигателях в составе системы «К-Jetronic». Но и эти форсунки имеют несколько невзаимозаменяемых модификаций.

Работа электромагнитной форсунки осуществляется в соответствии с заложенным в электронный блок управления алгоритмом, который обеспечивает в нужный момент подачу импульса напряжения на обмотку возбуждения клапана. При этом создается электромагнитное поле, которое преодолевая усилие пружины, втягивает якорь с иглой и освобождает сопло. Производится впрыск топлива. С исчезновением напряжения, пружина возвращает иглу форсунки на седло.

Постановка задачи

Одним из основных параметров электромагнитных форсунок это время $t_{впр}$ впрыскивания топлива форсункой – время для получения смеси с теоретически необходимым коэффициентом избытка воздуха. Количество воздуха за цикл рассчитывается блоком управления по данным датчика расхода воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя, а $t_{впр}$ корректируется по напряжению питания форсунки, температурам охлаждающей жидкости во время прогрева двигателя и воздуха на впуске.

Применяемые электронные системы управления впрыскиванием топлива программного типа, содержащие постоянное запоминающее устройство, в котором хранится характеристика управления, работают по заранее заданному закону управления. Поэтому основным их недостатком является то, что они не учитывают индивидуальных особенностей двигателя и изменения его параметров в процессе эксплуатации, слабо корректируют быстродействие системы и не менее слабо обеспечивают ее помехоустойчивость.

Чтобы оценить возможности устранения этих недостатков и прежде всего возможности регулирования времени срабатывания форсунки, начнем с некоторых общих вопросов расчета переходных процессов на примере подключения последовательного контура, RLC-цепи, к источнику постоянной электродвижущей силы.

В справочнике Бош отмечается, что время срабатывания форсунки для двигателей, предназначенных для работы на высоких оборотах, должно быть порядка 300 мкс [1].

Решение задачи

Временная зависимость тока, потребляемого электромагнитной форсункой при постоянном напряжении на ее обмотке, которая представлена на рисунке 1 сплошной линией для ненасыщенного электромагнита, соответствует полученной экспериментально осциллограммой при питании ее от 12 В (рисунок 3 а) и с выхода адаптивного преобразователя (рисунок 3 б).

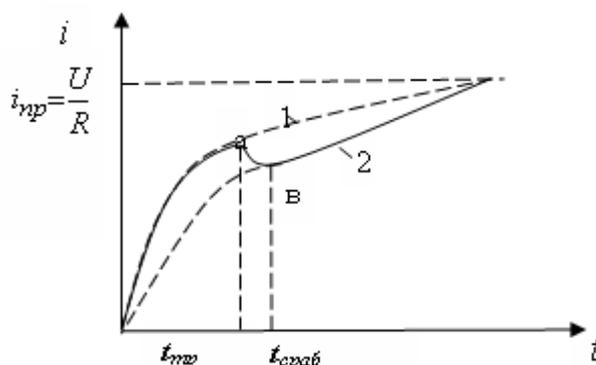


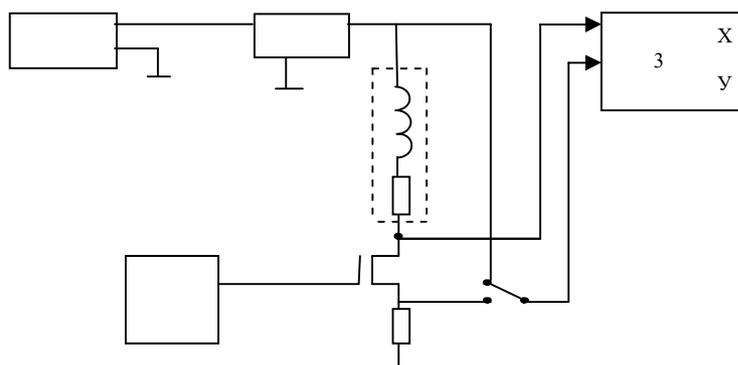
Рис. 1. Временная зависимость тока, потребляемого электромагнитной форсункой при постоянном напряжении на ее обмотке

До начала движения якоря ток в обмотке форсунки изменяется по экспоненциальному закону (на осциллограмме это изменение соответствует кривой 1) с постоянной времени τ_n , которое определяется начальным значением индуктивности. По истечении времени трогания $t_{тр}$ начинается движение якоря, и ток изменяется по кривой ab , соответствующей движению якоря электромагнита, после этого ток изменяется по кривой 2, соответствующей изменённому значению индуктивности. В литературе отмечается, что при работе на обедненных смесях и на высоких частотах вращения коленчатого вала ДВС время $t_{ср}$ срабатывания должно

быть не более 0,3 мс, а точка b , лежащая на кривой 2, соответствует полному времени срабатывания. Таким образом можно изменять время срабатывания форсунки, изменяя напряжение на ней [2].

Установка для лабораторных исследований

На рисунке 2 представлена функциональная электрическая схема установки для исследования времени срабатывания форсунки. В данной установке от генератора поступают импульсы прямоугольной формы на затвор полевого транзистора. Транзистор открывается при подаче на него положительного напряжения, подключая форсунку к выходу преобразователя. Напряжение, прямо пропорциональное току форсунки, поступает с сопротивления в цепи истока полевого транзистора на вход Y осциллографа в первом положении переключателя. Запуск развёртки осциллографа происходит фронтом импульса, поступающего на вход X . Напряжение источника устанавливается равным напряжению бортовой сети (13,5 В), и его величина считывается с выходного индикатора источника питания. Выходное напряжение преобразователя параметров электрической энергии 2 контролируется с помощью осциллографа во втором положении переключателя.



1 – источник, 2 – преобразователь напряжения, 3 – осциллограф,
4 – генератор, 5 – форсунка.

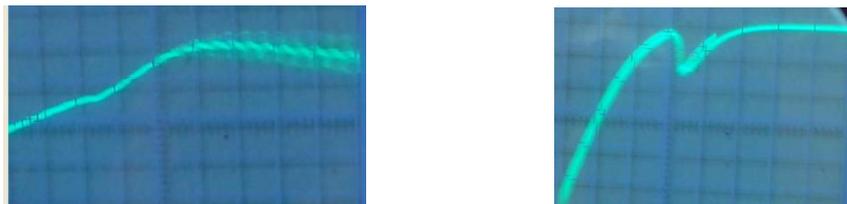
Рис. 2. Схема экспериментальной лабораторной установки для исследования времени срабатывания электромагнитной форсунки

Переходный процесс при реальных параметрах форсунки обычно близок к апериодическому. По этой причине принято решение при построении схемы преобразователя параметров электрической энергии повысить выходное напряжение преобразователя и включить в цепь форсунки активное сопротивление с целью уменьшения постоянной времени цепи.

Результаты экспериментального исследования

Из осциллограммы переходного процесса, представленной на рисунке 3, следует, что при входном напряжении 3,8 В время срабатывания форсунки уменьшилось с 2 мс до 200 мкс, что подтверждает теоретические исследования, при применении повышающего преобразователя параметров электрической энергии [3,4].

На осциллограмме (а) процесс установления тока через 2 мс после включения форсунки связан с «дребезгом» якорька форсунки, а на осциллограмме (б) появление высокочастотной составляющей обусловлено работой преобразователя напряжения.



а) длительность развертки – 0,5мС/дел б) длительность развертки – 100 мкС/дел
 Рис. 3. Осциллограмма тока форсунки при ее питании от 12 В (а),
 и с выхода преобразователя напряжения (б)

Электронная система управления двигателем с использованием электрической функциональной схемы блока управления временем срабатывания приобретает вид рисунка 4.

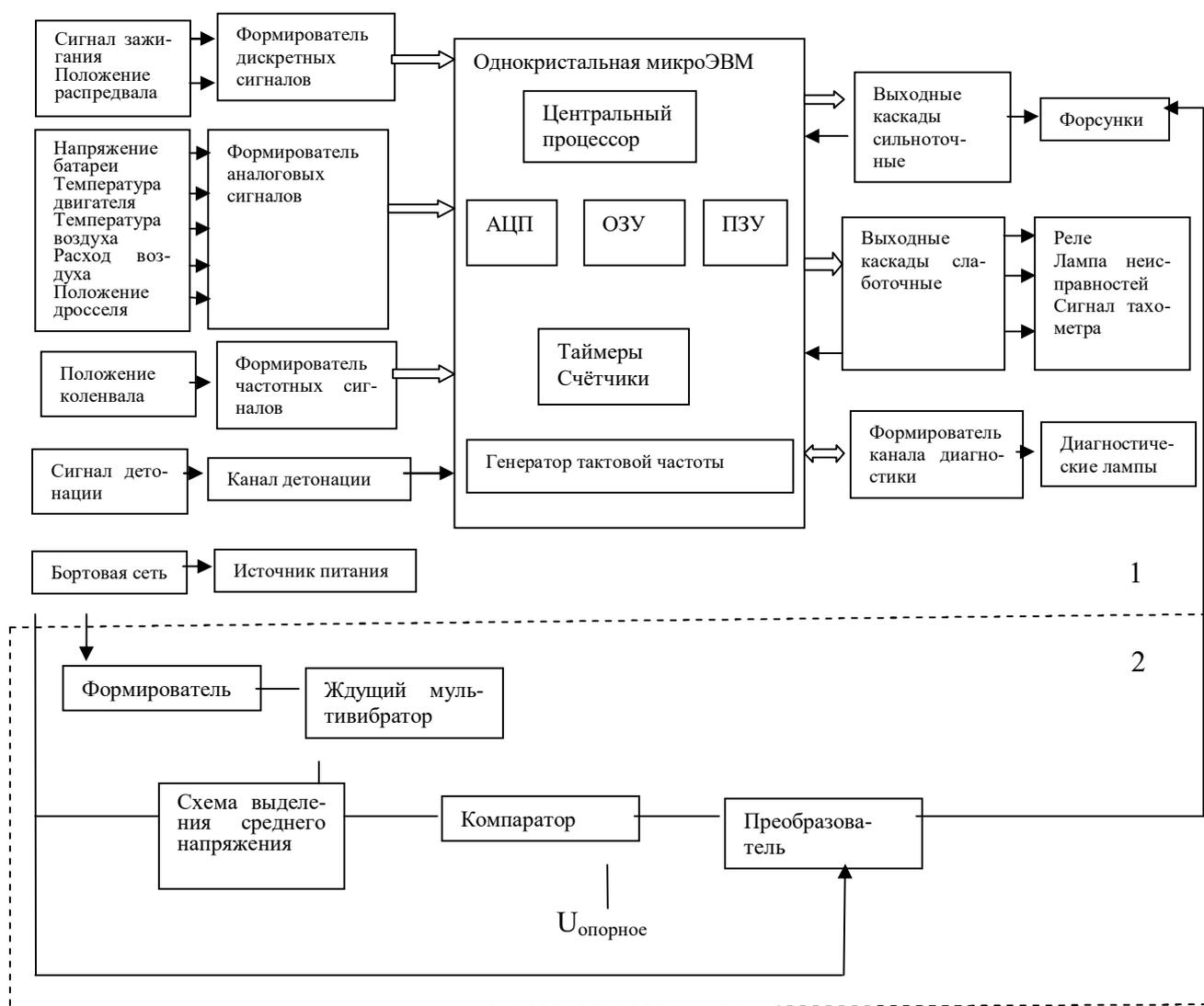


Рис. 4. Электрическая система управления двигателем. 1 - принципиальная схема электронной системы управления двигателем, 2 - Электрическая функциональная схема блока управления временем срабатывания

Выводы

Применение управляемых повышающих преобразователей параметров электрической энергии позволяет изменять время срабатывания электромагнитной форсунки в широких пределах.

Библиографический список

1. Автомобильный справочник «Бош» [Текст]: Пер. с нем. - М.: За рулем. - 1999. - 895 с.
2. Валова, Т.С. Математическая модель построения управляющей системы впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания [Текст]: / Т.С. Валова, Ю.В. Гармаш // Вестник РГРТУ № 3, 2017. – С. 152-157.
3. Гармаш, Ю. В. Применение адаптивных преобразователей параметров электрической энергии для регулирования времени срабатывания электромагнитных форсунок. Монография. ISBN 978-5-4331-0113-5 [Текст]/ Ю.В. Гармаш., Т.С. Валова – Рязань: РВВДКУ, 2016. – 102 с.
4. Сарбаев, В. И. Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системе впрыска топлива [Текст]: / В.И. Сарбаев., Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова // Мир транспорта и технологических машин № 2(45), 2014. – С. 26-32.

УДК 616-71; ГРНТИ 59.41.33

ВЫБОР МЕТОДА И СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ

Л.А. Спирыева, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, spiryaeva.lyudmila@bk.ru*

Аннотация. Рассмотрены перспективные неинвазивные оптические методы диагностики, под общим названием медицинская спектрофотометрия, которые положены в основу проектирования системы мониторинга и измерения динамических параметров микроциркуляции крови. Определены принципы, функциональные возможности и структурные элементы системы. Выделены аппаратные и программные средства, подлежащие детальной работе и обоснованному выбору их технических параметров.

Ключевые слова: мониторинг, измерительно-диагностическая система, лазерная доплеровская флоуметрия, некогерентная флукуационная спектроскопия, оптическая тканевая оксиметрия, индекс перфузии, оптический лазерный зонд, виртуальные приборы.

SELECTION OF METHOD AND MEANS FOR IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM FOR MONITORING AND MEASUREMENT OF DYNAMIC PARAMETERS OF BLOOD MICROCIRCULATION

L.A. Spiryaeva, S.G. Gurzhin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, spiryaeva.lyudmila@bk.ru*

The summary. Considered are promising non-invasive optical diagnostic methods under the general name medical spectrophotometry, which form the basis for designing a monitoring system and measuring the dynamic parameters of blood microcirculation. The principles, functionality and structural elements of the system are determined. Highlighted hardware and software, subject to detailed work and a reasonable choice of their technical parameters.

Keywords: monitoring, measuring and diagnostic system, laser Doppler flowmetry, incoherent fluctuation spectroscopy, optical tissue oximetry, perfusion index, optical laser probe, virtual instruments.

В статье [1] предложена структура измерительно-диагностической системы для исследования микроциркуляции кровотока, которую в перспективе планируется интегрировать в комплексы магнитотерапии и магнитореабилитации «Мультимаг» и «Релаксмаг». Актуаль-

ность разработки такой системы подтверждается многими публикациями [2, 3 и др.], которые свидетельствуют о высокой информативности диагностических средств на основе метода *лазерной доплеровской флоуметрии* (ЛДФ) в оценке и прогнозе эффективности магнитотерапии. Важно также, что метод ЛДФ является неинвазивным, нечувствительным к действию динамических магнитных полей, оперативным и может быть использован для длительного мониторинга функционального состояния системы микроциркуляции крови (МЦК) пациента в процессе сеанса физиотерапии, т.е. в реальном масштабе времени.

Однако, что также отмечалось в статье [1], приборы ЛДФ очень чувствительны к незначительным колебаниям или движениям тела пациента из-за сложности надежного и устойчивого позиционирования лазерного волоконно-оптического зонда относительно исследуемого участка длительное время, что вносит существенные погрешности в результаты измерения и вычисляемые диагностические показатели.

Одним из основных диагностических показателей, определяемых методом ЛДФ, является некоторый интегральный параметр потока крови – *показатель микроциркуляции* (ПМ) или *индекс перфузии*, фактически зависящий от двух величин количества эритроцитов и средней скорости их движения по сосудам. Показатель является наиболее информативным в медицине для диагностики системы микроциркуляции крови, поскольку содержит ряд составляющих с различными частотными параметрами физиологических колебаний потока крови – пульсовые волны, дыхательные волны, циркадные волны и др. [4].

Аппаратным средством получения информации о изменениях потока крови в сосудах по методу ЛДФ является фотоприемник (фотодиод) или измерительный преобразователь светового потока, отраженного от тканей и крови, в электрическую величину – фототок $I_\phi(t)$ или пропорциональное ему напряжение $U_\phi(t)$, которое усиливается, регистрируется, фильтруется и подвергается определенному анализу и обработке.

Регистрируемый сигнал $U_\phi(t)$ имеет две составляющие

$$U_\phi(t) = U_- + U_-(t), \quad (1)$$

где U_- – постоянная составляющая потока крови или средний поток в микроциркуляторном русле за определенный промежуток времени;

$U_-(t)$ – переменная составляющая потока крови обусловлена факторами, влияющими на постоянство потока частиц в микроциркуляторном русле и определяется двумя изменяющимися величинами скоростью V_{cp} и концентрацией эритроцитов N_{ep} в исследуемом объеме. Переменная составляющая несет также ценную информацию о модуляции кровотока.

В диагностическом смысле постоянная составляющая характеризует величину перфузии, а переменная составляющая характеризует механизмы контроля за перфузией.

Поскольку кровоток в микроциркуляторном русле не стабилен и переменен, то как и любой случайный процесс он оценивается по крайней мере двумя статистическими параметрами математическим ожиданием m (среднеарифметическим значением выборки для дискретных значений) и дисперсией D или среднеквадратическим отклонением σ . Параметр σ характеризует временную изменчивость перфузии и отражает среднюю модуляцию кровотока, вызванную различными факторами. Повышение значения σ свидетельствует либо о более интенсивном функционировании регуляторных механизмов контроля микроциркуляции, либо о повышении амплитуд сердечных и дыхательных ритмов.

Одновременное изменение значений параметров m и σ при анализе во временной области определяют еще один важный диагностический показатель – коэффициент вариации

$K_\sigma = \frac{m}{\sigma} \cdot 100\%$, который отражает напряженность функционирования регуляторных систем

микрососудистого русла.

Вычисляемые параметры m , σ и K_g дают общую оценку состояния микроциркуляции крови, а для более детального исследования функционирования микроциркуляторного русла анализируется амплитудно-частотный спектр колебаний перфузии.

Из литературных источников известно несколько алгоритмов обработки сигнала $U_\phi(t)$ в частотной области, основанных на модели Боннера-Нозаля[5]. Согласно одной из моделей, сначала находят спектр сигнала $U_\phi(t)$, а затем вычисляют ПМ по формуле:

$$\text{ПМ} = \int_{f_1}^{f_2} f \cdot S(f) df, \quad (2)$$

где f – частота гармоники спектра;

$S(f)$ – значение спектральной плотности мощности на частоте f ;

f_1 и f_2 – нижняя и верхняя границы информативной полосы регистрируемого спектра.

Согласно выражению (2) ПМ линейно зависит от скорости и количества движущихся эритроцитов в диагностическом объеме.

В работах [6, 7] предложен метод и устройство, которые полностью исключают недостатки, свойственные методу ЛДФ и его волоконно-оптическому зонду. Метод получил название *некогерентная флуктуационная спектроскопия* (НФС). Освещение биологической ткани в данном случае осуществляется узкополосным оптическим излучением с помощью нескольких светодиодов, а восприятие обратно рассеянного оптического излучения производится фотоприемником в частотном диапазоне 0-160 Гц, захватывая колебания амплитудной модуляции, биения и другие флуктуации сигнала. При этом спектральная плотность мощности результирующего фототока аналогично методу ЛДФ используется для вычисления показателя микроциркуляции по формуле (2).

Среди перспективных неинвазивных методов спектрофотометрии, следует выделить метод *оптической тканевой оксиметрии* (ОТО) [8], который также может быть использован для дополнительного подтверждения эффективности магнитотерапии. Метод работает в ближнем инфракрасном диапазоне излучения и позволяет оперативно оценивать оксигенацию периферических тканей пациента и уровень насыщения крови кислородом (сатурацию).

Поскольку уровень сатурации является объективным и общепринятым показателем нормализации процессов в организме человека при лечении многих сердечно-сосудистых и других заболеваний, а используемая для этого диагностическая аппаратура содержит оптолокационный датчик (свето- и фотодиод), то рационально включить в состав проектируемой системы мониторинга и измерения динамических параметров микроциркуляции крови канал сатурации.

С помощью метода ОТО можно реализовать оперативный контроль эффективности магнитного воздействия, т.е. во время сеанса магнитотерапии. Информативным параметром может служить удельное потребление кислорода в тканях – $SO_{2,y\theta}$, которое определяется из выражения

$$SO_{2,y\theta} = \frac{100 - SO_2}{V_{кр}}, \quad (3)$$

где $V_{кр}$ – средний уровень объемного капиллярного кровенаполнения поверхностных слоев мягких биологических тканей. Этот параметр, чаще всего и используется для оценки процессов микрогемодинамики [9].

В качестве объективных и обобщенных оценок эффективности каждого проведенного

сеанса магнитотерапии можно также использовать коэффициенты [10]

$$K_{CKO} = \frac{\sigma_B}{\sigma_0} \text{ и } K_{cp} = \frac{m_B}{m_0}, \quad (4)$$

где σ_0 и σ_B – среднеквадратические отклонения реализаций сигнала $U_\phi(t)$ до сеанса магнитотерапии и после, соответственно, а m_0 и m_B – среднеарифметические значения реализаций сигнала $U_\phi(t)$ до сеанса магнитотерапии и после, соответственно.

В результате проведенного анализа методов спектрофотометрии и используемых в них датчиков [6, 7] предлагается модификация оптико-локационного зонда и средств анализа процессов кровенаполнения сосудов и насыщения тканей кислородом. На рисунке 1 представлена структура системы мониторинга и измерения параметров МЦК.

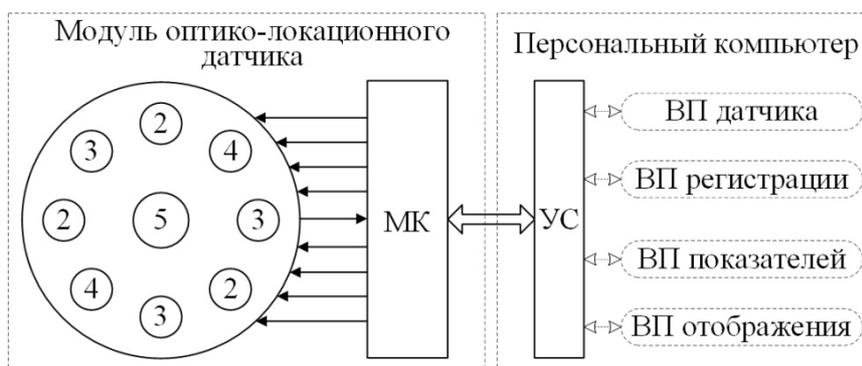


Рис. 1. Структура системы мониторинга и измерения параметров МЦК

Важными особенностями разрабатываемой системы являются способы исполнения оптико-локационного датчика в виде интеллектуального модуля, на базе микроконтроллера (МК), стандартного аппаратного устройства сопряжения (УС) с ПК, а также программных средств управления светодиодами датчика, регистрации физиологических процессов, вычисления диагностических показателей и отображения результатов в виде виртуальных приборов (ВП) в среде LabVIEW.

Планируется реализовать блок датчика из двух троек светодиодов под номерами 2 и 3 с узкополосным излучением в зеленом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра в интервалах длин волн 560-580 нм и 800-820 нм [6], в канале МЦК по методу НФС. Светодиоды под номером 4 предназначены для канала сатурации по методу ОТО и их выбирают с оптическим излучением в диапазоне длин волн 600-950 нм [9]. В обоих диагностических каналах используется один общий фотоприемник под номером 5.

Библиографический список

1. Спириева Л.А., Гуржин С.Г. Проектирование измерительно-диагностической системы для исследования микроциркуляции кровотока // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2020. Сб. тр. XXXIII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2020. – 624с. – С. 508-510.
2. Магнитотерапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах: клинические рекомендации / – М., 2015. – 47 с.
3. Кульчицкая Д.Б., Кончугова Т.В., Бобровницкий И.П., Эктова Т.В., Сидоров В.В., Нагорнев С.Н., Пузырева Г.А. Информативность лазерной доплеровской флоуметрии в оценке и прогнозе эффективности магнитотерапии у больных с артериальной гипертензией // Вестник восстановительной медицины, № 5. 2012. – С. 18-22.
4. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови: Руководство для врачей / Под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова. – М.: Медицина, 2005. – 125 с.

5. Дунаев А.В., Потапова Е.В., Жеребцов Е.А., Жеребцова А.И., Дремин В.В., Маковик И.Н. Оптическая неинвазивная диагностика в медико-биологической практике: лабораторный практикум: учебное пособие – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. – 96 с.
6. Патент № 2636880 РФ, А61В 5/026. Устройство для неинвазивного измерения потока микроциркуляции крови / Д.Г. Лапитан, Д.А. Рогаткин. Заявл. 26.12.2016, Опубл. 28.11.2017, Бюл. № 34. – 19 с.
7. Лапитан Д.Г. Разработка аппаратно-программного комплекса для функциональной диагностики системы микроциркуляции крови: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17 / Лапитан Денис Григорьевич. – М.: 2019. – 163 с.
8. Афанасьев А.И., Рогаткин Д.А., Сергиенко А.А., Шумский В.И. Методики и аппаратура неинвазивной оптической тканевой оксиметрии // Материалы XXVI Школы по когерентной оптике и голографии, 2008. С. 505-513.
9. Дроздов Д.В., Егоров А.И., Тарасов А.П. Оптическая тканевая оксиметрия: проблемы применения в функциональной диагностике // Медицинский алфавит, №22. том №2. 2017. С. 48-52.
10. Дунаев А.В., Жеребцов Е.А. Применение методов неинвазивной спектроскопии для исследования системы микроциркуляции крови при низкоинтенсивной лазерной терапии // Биотехносфера, №6. 2009. С. 40-44.

УДК 006.091; ГРНТИ 90.03

ПРЕИМУЩЕСТВО КАЛИБРОВКИ ЭТАЛОНОВ

М.Г. Кирьянов

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Россия, Рязань, rgrtu@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются преимущества калибровки эталона единицы величины в отличие от поверки. Рассмотрена методика расчета вклада неопределенности эталона в предположении равномерного распределения его погрешности.

Ключевые слова: неопределенность, эталон, калибровка, поверка, метрология.

BENEFITS OF STANDARD CALIBRATION

M.G. Kiryanov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, rgrtu@rsreu.ru*

Abstract. In this paper, the improved calibration of the unit reference as opposed to the verification. The method of calculating the uncertainty of the standard under the assumption of a uniform distribution of its error is considered.

Keywords: uncertainty, standard, calibration, verification, metrology.

Рассматривается преимущество калиброванных эталонов в части расчета неопределенности при выполнении калибровочных работ с их использованием.

Неопределенность – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации.

Примечание. Параметром может быть, например, стандартное отклонение, называемое стандартной неопределенностью измерений (или кратное ему число) или половина ширины интервала с установленной вероятностью охвата.

Переход с концепции погрешности на неопределенность измерений можно считать вполне разумным и неизбежным. Один из постулатов метрологии гласит, что истинное значение измеряемой величины отыскать невозможно, можно лишь с определенной долей вероятности говорить о приближении к истинному значению измеряемой величины. За рубежом понятие неопределенности используется «на полную катушку», в то время как у нас есть определенное недоверие к этому понятию.

Любая лаборатория должна уметь считать неопределенность при выполнении измерительных операций. Это повысит доверие и авторитет в глазах ее заказчиков. Кроме того, стандарт ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2019 обязывает применение неопределенности в оценках

измеряемых параметров. Как показывает практика, помимо стандартной неопределенности по типу А, обусловленной разбросом наблюдаемых значений, существенный вклад в неопределенность вносит стандартная неопределенность по типу В, обусловленная эталоном. В настоящее время эталоны, применяемые при калибровке, поверены, а не калиброваны. И мы знаем лишь о том, что его погрешность находится в допустимых пределах, а закон распределения неизвестен. Для «худшего случая» предполагаем, что закон распределения равномерный и тогда получить оценку «сверху» стандартной неопределенности измерений, обусловленной эталоном, можно по формуле:

$$u_s \leq \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$$

где u_s – стандартная неопределенность измерений, обусловленная эталоном;

Δ – предел допускаемой погрешности эталона.

Можно выдвинуть и другое предположение, например, о нормальной функции плотности распределения вероятностей погрешностей, тогда стандартная неопределенность измерений, обусловленная эталоном, составит от $\Delta/3$ до $\Delta/2$ (если математическое ожидание равно нулю).

Приведем рисунок, поясняющий эти рассуждения.

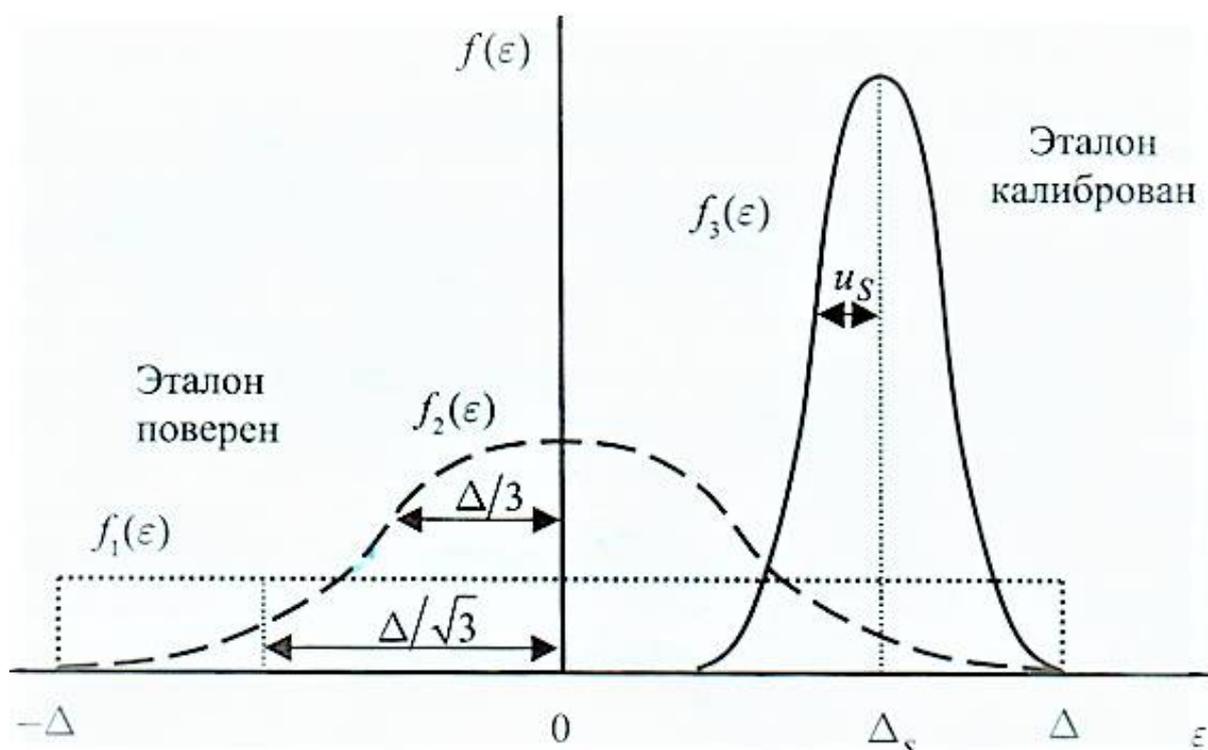


Рис. 1. Различия в метрологических характеристиках эталона поверенного и калиброванного:

$f_1(\varepsilon)$ – равномерная функция распределения;

$f_2(\varepsilon)$ – нормальная функция распределения;

$f_3(\varepsilon)$ – предположительно нормальное распределение.

Если эталон будет калиброван, то центр распределения $f_3(\varepsilon)$, вероятнее всего, будет смещен относительно нуля, а ширина этого распределения уменьшится, поскольку эталон «пригоден для применения». Это приведет к уменьшению оценки стандартной неопределенности измерений, обусловленной эталоном. Для его применения целесообразно внести поправку на систематические эффекты к значению величины, воспроизводимой эталоном. Да-

же если учитывать неопределенность данной поправки, суммарный вклад в неопределенность в этом случае окажется меньше, чем в случае с поверенным эталоном.

Например, рассмотрим калибровку вольтметров переменного тока с помощью калибраторов электрического напряжения переменного тока.

Сложность здесь будет заключаться в разбиении диапазона измерений на поддиапазоны по напряжению и частоте при наличии в лаборатории нескольких калибраторов.

Предположим, что в распоряжении калибровочной лаборатории имеются калибраторы Fluke 5700A и H4-12, пределы допускаемой погрешности которых в режиме воспроизведения электрического напряжения переменного тока для одного диапазона измерений приведены в таблице 1. В последней графе таблицы 1 приведены и оценки «сверху» наименьшей достигаемой расширенной неопределенности измерений при калибровке вольтметров переменного тока.

Наилучшие значения оценки «сверху» наименьшей достигаемой расширенной неопределенности измерений при калибровке вольтметров переменного тока для заполнения графы «Неопределенность» области аккредитации выделены цветом для соответствующих диапазонов измерений электрического напряжения переменного тока и диапазонов частот. Приводимые примеры оценки СМС были бы неполными, если не рассмотреть пример использования не поверенных, а калиброванных эталонов.

Тип калибратора	Диапазон измерений, В	Диапазон частот, кГц	Δ , мкВ	U_{\min} , мкВ
Fluke 5700A	0,2-20	0,01-0,02	$\pm(240 \cdot 10^{-6} \cdot U + 400)$	$280 \cdot 10^{-6} \cdot U + 460$
		0,02-0,04	$\pm(90 \cdot 10^{-6} \cdot U + 150)$	$104 \cdot 10^{-6} \cdot U + 173$
		0,04-20	$\pm(45 \cdot 10^{-6} \cdot U + 50)$	$52 \cdot 10^{-6} \cdot U + 58$
		20-50	$\pm(75 \cdot 10^{-6} \cdot U + 100)$	$86 \cdot 10^{-6} \cdot U + 115$
		50-100	$\pm(100 \cdot 10^{-6} \cdot U + 200)$	$115 \cdot 10^{-6} \cdot U + 230$
		100-300	$\pm(275 \cdot 10^{-6} \cdot U + 600)$	$317 \cdot 10^{-6} \cdot U + 690$
		300-500	$\pm(1000 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2000)$	$1150 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2300$
		500-1000	$\pm(1500 \cdot 10^{-6} \cdot U + 3200)$	$1725 \cdot 10^{-6} \cdot U + 3680$
H4-12	0,2-20	0,1-20	$\pm(27 \cdot 10^{-6} \cdot U + 60)$	$31 \cdot 10^{-6} \cdot U + 69$
		20-50	$\pm(75 \cdot 10^{-6} \cdot U + 100)$	$86 \cdot 10^{-6} \cdot U + 115$
		50-100	$\pm(90 \cdot 10^{-6} \cdot U + 200)$	$104 \cdot 10^{-6} \cdot U + 230$
		100-300	$\pm(300 \cdot 10^{-6} \cdot U + 600)$	$345 \cdot 10^{-6} \cdot U + 690$
		300-500	$\pm(900 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2000)$	$1035 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2300$
		500-1000	$\pm(1500 \cdot 10^{-6} \cdot U + 6000)$	$1725 \cdot 10^{-6} \cdot U + 6900$

Библиографический список

1. Данилов А.А., Пименова Е.Ю., Тюрина Ю.Г. Практические вопросы формирования области аккредитации калибровочной лаборатории.-Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2017, №8.
2. СООМЕТР/GM/32:2017 Рекомендация КООМЕТ. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности.
3. Журнал «Законодательная и прикладная метрология», 2017, №5
4. Захаров И.П. Калибровка 17025:2017. Справочное пособие. Издание 5-е переработанное и дополненное. 2020

УДК 621.311

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЙ СВЯЗИ ВИРУСНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ COVID-19 С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕЁ ОСЛАБЛЕНИЯ

С.Н. Даровских, П.М. Шоназаров

Южно-Уральский государственный университет,

Российская Федерация, Челябинск, shonazarov1991@gmail.com, darovskih.s@mail.ru

Аннотация. На основе системного анализа процессов, связанных с появлением вирусного заболевания COVID-19, сделан вывод о том, что наиболее вероятной причиной его появления и распространения по всему миру является глобальное воздействие на биосферу Земли беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Сформулированы рекомендации для ослабления их негативного влияния на организм человека. Обосновывается необходимость применения при лечении заболевания человека вирусной и (или) воспалительной этиологии радиофизической технологии, основанной на моделировании микроволнового излучения Солнца.

Ключевые слова: коронавирус, лечение, технология Wi-Fi, электромагнитное загрязнение, Солнце.

ABOUT POSSIBLE CAUSE AND EFFECTIVE RELATIONSHIP OF COVID-19 VIRAL DISEASE WITH ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL POLLUTION AND THE MAIN DIRECTIONS OF ITS WEAKENING

S.N. Darovskikh, P.M. Shonazarov

South State Ural University,

Russian Federation, Chelyabinsk, shonazarov1991@gmail.com, darovskih.s@mail.ru

Abstract. Based on a systematic analysis of the processes associated with the emergence of the COVID-19 viral disease, it was concluded that the most likely reason for its appearance and spread around the world is the global impact of wireless local area networks Wi-Fi on the Earth's biosphere. Recommendations are formulated to mitigate their negative impact on the human body. The necessity of using in the treatment of human disease of viral and (or) inflammatory etiology of radiophysical technology based on modeling of microwave radiation from the Sun is substantiated.

Keywords: coronavirus, treatment, Wi-Fi technology, electromagnetic pollution, the Sun.

События конца 2019 года и всего 2020 года, связанные с появлением с начала в Китае, а затем практически во всех странах мира нового вирусного заболевания COVID-19, показали неготовность государственных структур и мировой системы здравоохранения адекватно реагировать на него. Отсутствие общепризнанной Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) вакцины против коронавируса SARS-CoV-2 и других эффективных средств ему противодействия привело к беспрецедентным в современной истории решениям правительств целого ряда государств по нераспространению этого вируса среди населения. В частности, закрываются границы государств, ограничиваются перемещения населения по территориям, вводится запрет на проведение различного рода массовых мероприятий, происходит переход на дистанционное обучение в школах, в средних и высших учебных заведениях и многое другое.

Несмотря на масштабность проводимых мероприятий по защите от коронавируса, нельзя не отметить их парадоксальность. И состоит она в том, что до сих пор не ясна основная причина такого резкого усиления вирусной активности. Её никак нельзя связать с известными ранее причинами пандемий в прошлом: низкий уровень санитарно-эпидемиологических мероприятий, повышенная солнечная активность, катастрофические явления в природе в виде обширных регионов, подвергнутых засухам, наводнениям и т.д. В настоящее время этих причин нет. Но это означает, что есть другая причина и она, по всей видимости, связана с современными особенностями жизнедеятельности человека, которые оказывают негативное влияние на его способность эффективно противостоять новому штамму коронавируса. Незнание причины усиления вирусной активности делает «туманными»¹ перспективы развития человеческой популяции даже в недалеком будущем. Сейчас нет никакой уверенности в том, что «завтра» не появится еще какой-нибудь коронавирус, поражающий человека. Следует обратить внимание, что в настоящее время в дикой природе циркулирует несколько десятков его штаммов. И в этой связи никто не может гарантировать, что тот или иной штамм коронавируса по причине, которая до сих пор не известна, не преодолет межвидового барьера от дикой природы к человеку.

Все вышеизложенное делает актуальным проведение исследования, цель которого состоит в определении наиболее вероятной причины глобальной активности в мире коронавируса SARS-CoV-2 и обосновании на её основе необходимость проведения организационных и медико-технических мероприятий по её снижению. Оценка эффективности этих мероприятий может стать основой не только профилактики появления в человеческой популяции новых видов коронавирусов, но и принимаемых решений по ослаблению негативного их влияния на организм человека в настоящее время и на перспективу.

Возможная причинно-следственная связь вирусного заболевания COVID-19 с электромагнитным загрязнением окружающей среды

Большинство человеческих коронавирусов, например острого респираторного заболевания (ОРВИ), вызывают нетяжёлые симптомы простудного заболевания или гастроэнтерита («пищевого отравления»). Однако, начиная с 2002 года клиническая ситуация с коронавирусами резко изменилась. И это связано с появлением тяжелого острого респираторного синдрома (SARS), который сопровождается быстроразвивающейся пневмонией, дыхательной и почечной недостаточностью. Затем в 2015 году произошла вспышка ближневосточного респираторного синдрома (MERS). И наконец, в 2019 году проявился новый коронавирус SARS-CoV-2. Клиника вышеназванных коронавирусных инфекций в чем-то схожа с крайне тяжёлым вариантом ОРВИ. Но есть и ранее неизвестные их проявления.

Другая проблема последних десятилетий связана с растущим электромагнитным загрязнением окружающей среды и его негативным влиянием на организм человека. Значительный вклад в электромагнитное загрязнение окружающей среды в последнее время вносит технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11, получившей название «технология Wi-Fi» [1]. Источниками электромагнитного загрязнения окружающей среды являются базовые станции с мощностью излучения передающих устройств от 10 Вт, размещаемые на территориях. В домашних условиях и офисных помещениях эта технология предусматривает использование передающих устройств мощностью 100 мВт - в диапазоне частот 2,40—2,48 ГГц и 200 мВт – в диапазоне частот 5,15-5,35 ГГц и 5,65-5,85 ГГц.

¹В ряде стран: Российская Федерация, Китайская народная республика и др. вакцина против коронавируса уже разработана и сертифицирована. Идет процесс подготовки к широкомасштабному её применению в своих странах.

Сегодня трудно представить мир без Wi-Fi. Практически вся электроника имеет Wi-Fi модули, например, моноблоки, телефоны, фотоаппараты, телевизоры и т.д. В современном мире технологии Wi-Fi очень стремительно развиваются (рис.1) [2]. Перспектива цифровизации многих сторон жизни государства и общества в целом напрямую связана с их применением.



Рис. 1. Общий объем мирового рынка оборудования Wi-Fi

Но, к сожалению, есть и негативная сторона активного внедрения в жизнедеятельность человека беспроводных локальных сетей. И связана она с растущим уровнем электромагнитного загрязнения окружающей среды и его негативным влиянием на объекты живой природы и человека, в частности. Происходит изменение основных параметров электромагнитного загрязнения: расширение частотного диапазона, возрастание интенсивности электромагнитного излучения, особенно в местах компактного проживания населения и т.д.

В этой связи нельзя не обратить внимание на тот факт, что усиление вирусной активности произошло в период активного внедрения технологии Wi-Fi, т.е с начала 2000г по настоящее время. Если такая закономерность имеет место, то технология Wi-Fi, несмотря на все заверения производителей его оборудования о её безопасности для человека, должна рассматриваться как возможная причина роста в человеческой популяции заболеваний, связанных с новым коронавирусом.

Механизм такой связи нового вирусного заболевания с технологией Wi-Fi пока не ясен. В тоже время необходимо обратить внимание на особенности этой технологии. В первую очередь, это касается нового рабочего частотного диапазона 5,15-5,35 ГГц и 5,65-5,85 ГГц технологии Wi-Fi [1]. Он стал частично совпадать с наиболее значимым для организмов частотным диапазоном 3,0-30,0 ГГц из спектра микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли [3]. Микроволновое излучение Солнца в указанном диапазоне частот на всем протяжении эволюции организмов играло управляющую роль в поддержании их гомеостаза [3].

Использование в этом диапазоне частот источников техногенного излучения приводит к снижению управляющей роли для организмов указанного природного электромагнитного фактора. Это излучение становится маскирующей помехой, подавляющей возможность «приема» организмом микроволнового излучения Солнца в указанном частотном диапазоне.

Другая особенность технологии Wi-Fi - это высокая плотность охвата территорий по всему миру и конкретным территориям, в частности. При массовой потребности применения удаленного доступа во многих сферах деятельности человека, а также при дистанционном обучении в школах и высших учебных заведениях, существенно возрос спрос на оборудова-

ние беспроводных локальных сетей. Применение указанных сетей практически в круглосуточном режиме их работы не может негативно не влиять на организм человека даже при не-высокой мощности электромагнитного излучения применяемых роутеров.

Тема электромагнитного загрязнения окружающей среды стала особенно актуальной с момента глобализации систем мобильной связи, систем спутниковой навигации и систем беспроводных локальных сетей [4]. Результаты проводимых экспериментальных исследований по оценке вреда используемых в указанных системах электромагнитного излучения на организмы и человека, в частности, носят противоречивый характер [5]. Краткий итог большей части этих исследований можно отразить в одной фразе: влияние электромагнитного излучения техногенного происхождения на организмы есть, но заметного вреда для них они не приносят.

С этим утверждением можно согласиться, если речь идет о воздействии указанных излучений на организм здорового человека. Но в отношении человека с теми или иными хроническими заболеваниями или детей такой вывод скорее отрицательный. Соответствующих исследований на этот счет нет. В тоже время, в экспериментах достоверно установлено, что эти излучения негативно влияют на процесс жизнедеятельности мелких млекопитающих [6] и птиц [7]. В живой природе такая ситуация характерна для территорий, прилегающих к населенным пунктам с развитой системой локальных беспроводных сетей. Это означает, что представители фауны и флоры этих территорий также будут находиться под воздействием техногенного излучения. Нарушение природных механизмов регуляции в организмах дикой природы, ведущих стадный образ жизни, под воздействием излучения беспроводных локальных сетей, может привести к возникновению очагов различных видов инфекций бактериальной, а также вирусной этиологии. При этом общий механизм изменений в таких организмах и у человека под воздействием техногенных излучений может лежать в основе восприимчивости последнего к одному и тому же штамму вируса, циркулирующего в природе. В нашем случае это коронавирус SARS-CoV-2. В этой связи не случайным следует считать тот факт, что распространение коронавируса в Китае началось с летучих мышей вблизи г. Ухань, с которыми человек был в контакте.

Также следует обратить внимание на процессы, происходящие в последние десятилетия, связанные с усилением резистентных свойств микроорганизмов. Лечение воспалительных заболеваний человека с помощью антибиотиков не всегда приводит к положительному результату. Микроорганизмы-возбудители воспалений в организме человека, стали проявлять устойчивость к антибиотикам, которые еще несколько десятилетий назад успешно применялись при лечении широкого спектра воспалительных заболеваний человека. Механизм усиления резистентных свойств бактериальной микрофлоры в основном известен и связан с интенсивным образованием ими биопленок. В тоже время причина усиления этих свойств микроорганизмов до сих пор не ясна. Ряд ученых обосновывают это усиление с возросшим влиянием на организмы электромагнитного загрязнения окружающей среды [3]. Если это утверждение не находит возражения, то и усиление вирусной активности, и проблемы лечения вирусных заболеваний также можно связать с техногенными излучениями, которые за последние двадцать лет приобрели глобальный характер воздействия на объекты живой природы.

Основные направления ослабления влияния на организм человека беспроводных локальных сетей

Исходя из вышеизложенного, можно выделить следующие организационные мероприятия, направленные на ослабления влияния на организм человека беспроводных локальных сетей:

1. Создать систему контроля по оценке реальной интенсивности излучения передающих устройств в местах не только компактного проживания населения, но и в приле-

гающих к населенным пунктам территориях. В настоящее время такой контроль не предусмотрен.

2. Необходимо активизировать проведение научных исследований, направленных на выявление причин активизации вирусной инфекции и разработку технологий ослабления негативного влияния на организм электромагнитных излучений беспроводных сетей. В настоящее время актуальны исследования не по защите от электромагнитного излучения, а по противодействию ему. Такие исследования чрезвычайно важны для людей, имеющих различные виды хронических заболеваний.

3. Для исключения помех наиболее значимому для организмов природного микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли, ввести запрет на использование глобальными технологиями беспроводной связи диапазона длин волн от 1 см до 10 см. Реализация этого направления позволит сохранить природный, еще мало изученный, механизм регуляции в живой природе.

4. До выяснения основной причины усиления коронавирусной инфекции максимально ограничить использование технологии Wi-Fi в местах скопления людей: общественный транспорт, производственные помещения, школы, детские учреждения, больницы, офисные помещения и др. Больше внимания уделять использованию проводных локальных сетей. Выполнение рекомендаций по сокращению времени работы, особенно детей, в беспроводных локальных сетях является важной профилактической мерой по ослаблению их негативного влияния на организм человека.

О технологии противодействия электромагнитному загрязнению окружающей среды – потенциальной основе профилактики и лечения вирусных заболеваний человека

Общий механизм усиления резистентных свойств бактериальной микрофлоры и вирусной активности связан с гипоксическими явлениями в организме человека. Они обусловлены, главным образом, неблагоприятными экологическими факторами жизнедеятельности организмов. Очень показателен только один факт, который сообщил портал Метеоновости [8]: Солнце в Москве за зиму (2019-2020 год) светило лишь 72 часа. При сезонной норме 123 часа солнечного сияния жители столицы получили всего 59% нормы. Дефицит «солнечного» витамина D напрямую связан со снижением эффективности антиоксидантной защиты организма, приводящей к росту в организме гипоксических проявлений.

Не последнюю роль в этом, как показывают события последнего времени, стало играть и электромагнитное загрязнение окружающей среды. Изменение бактериальной и вирусной активности особенно актуально для людей с различными видами хронических заболеваний. Замещение в клеточных структурах аэробного энергообмена анаэробным лежит в основе инактивации их ферментативных комплексов. Это приводит к несвоевременному иммунному ответу (клеточного, гуморального) при возникновении воспаления. В тех же условиях при проникновении вируса в организм человека противовирусная защита оказывается также не эффективной для своевременного формирования внутриклеточного интерферона для блокирования размножения вируса и внеклеточного, главным образом, иммуноглобулина М для его уничтожения.

Практика лечения вирусного заболевания Covid-19 в отсутствие вакцины показала низкую эффективность проводимого лечения с помощью известных медикаментозных препаратов. Рекомендации по применению того или иного препарата постоянно изменяются. Наиболее рекомендуемые процедуры лечения связаны с обильным употреблением воды, применением при необходимости жаропонижающих и противовоспалительных медикаментозных препаратов. При таком подходе к лечению вирусного заболевания Covid-19 благоприятный исход (без осложнений) присущ только организмам с высоким потенциалом свободной

энергии, который обеспечивает своевременный иммунный ответ на вирусную «атаку». Сформированные после заболевания в организме антитела в виде соответствующего вирусу иммуноглобулина G позволяют на определенный период времени защитить организм от повторного заболевания им.

Но нередко случаи, когда организм человека не может самостоятельно справиться с негативными проявлениями вируса в клеточных структурах. Некроз пораженных вирусом клеток является причиной воспалений. Успех лечения при таком развитии событий зависит от эффективности принимаемых антибиотиков. И если антибиотики оказываются не эффективными в борьбе с воспалением, то летальный исход для больного практически неизбежен.

Исходя из выше изложенного, следует, что необходимы технологии, сравнимые по своей эффективности не только с результатом применения вакцины, позволяющей сформировать в организме соответствующие антитела, но и снизить резистентность микроорганизмов к антибиотикам в процессе лечения возникающего воспаления в организме. При этом эти технологии должны ослабить негативное влияние на организмы электромагнитного загрязнения окружающей среды.

Одна из таких технологий связана с использованием в медицинских целях устройства моделирования микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли [9]. Его применение позволяет восстановить в организме в условиях электромагнитного загрязнения окружающей среды природные механизмы регуляции, которые лежали в основе эволюции живой природы. В разработанном устройстве (Рис.2), защищенное патентом РФ под названием: «Устройство для снижения резистентных свойств микроорганизмов» [10], реализованы известные знания о структуре низкочастотных вариаций, параметрах амплитудных пульсаций и вида поляризации микроволнового излучения Солнца в диапазоне частот 4,0-4,3 ГГц с максимальной интенсивностью – не превышающей 100 мкВт/см². Данное устройство позволяет моделировать всплески микроволнового излучения Солнца в диапазоне значений от нескольких секунд до десятков минут, как с линейной, так и с хаотической поляризацией. Амплитудный спектр такого излучения может изменяться и по ширине, и по форме, и по интенсивности.



Рис.2 – Устройство моделирования микроволнового излучения Солнца (АИМТ-1) в диапазоне частот (4,0-4,3)ГГц

В основе корректирующего эффекта применения разработанного устройства лежит «радиовибрационный» эффект [11], основанный на возбуждении в клеточных структурах организма при поглощении микроволнового излучения упругих колебаний. Такие колебания, входя в резонанс с собственными колебаниями молекулярных структур клетки, будут способствовать «разрыву» слабых связей ферментов с их нефункциональными ингибиторами и, как следствие, обеспечивать необходимую активность ферментов в целях повышения эффективности синтеза АТФ и других биоструктур для формирования необходимой антивирусной защиты для противодействия развитию негативных процессов в организме человека.

Верификация разработанного устройства при проведении микробиологических, биологических и клинических исследований дает основания сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные исследования с использованием разработанного устройства доказывают, что изменение биофизических и биохимических свойств условно-патогенной микрофлоры под воздействием генерируемого устройством микроволнового излучения способствует снижению резистентности микроорганизмов к антимикробным препаратам [12].

2. Применение разработанного устройства при различного рода нарушениях гомеостатических функций организма способствует дезагрегации эритроцитов, ускоренному восстановлению кислородтранспортной функции крови, аэробного энергообмена, защитных функций в перитонеальных клетках моноцитарного и нейтрофильного рядов [13,14].

3. Физиотерапия [15-19], основанная на использовании аппаратных средств моделирования микроволнового излучения Солнца в диапазоне частот 4,0...4,3 ГГц с плотностью потока мощности, не превышающей 100 мкВт/см², не связана с фазой течения заболевания. Эффективность применения микроволновой терапии тем выше, чем раньше оно включено в процедуру лечения заболевания. Она достоверно проявляется в снижении активности воспаления, сокращению на (30-40)% потребления лекарственных препаратов и ускоренной (на четверть) нормализации гомеостатических функций.

Обобщая результаты проведенных исследований и на основании выше изложенного можно сделать прогноз о возможности эффективного использования моделируемого низкоинтенсивного микроволнового излучения Солнца в диапазоне частот 4,0...4,3 ГГц в качестве антивирусной защиты при инфицировании организма тем или иным вирусом.

Заключение

Временная согласованность процессов глобализации применения технологии беспроводной локальной сети Wi-Fi и усиления по всему миру вирусной активности дает основание с большой вероятностью утверждать, что новое вирусное заболевание Covid-19 напрямую связано с электромагнитным загрязнением окружающей среды, основным источником которой являются излучения передающие устройства беспроводных локальных сетей.

Вывод о возможной причинно-следственной связи вирусного заболевания Covid-19 с массовым распространением технологии беспроводной локальной сети Wi-Fi лежит в основе целесообразности разработки и проведения соответствующих организационных мероприятий по ослаблению негативного влияния на организмы электромагнитного загрязнения окружающей среды современными беспроводными локальными сетями. Основная их направленность связана с контролем излучения этих сетей в различных местах их использования, формированию новых нормативных требований к используемому рабочему частотному диапазону и разработке научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасности их применения.

Другое важное положение, рассмотренное в статье, состоит в том, что для лечения вирусных и воспалительных заболеваний необходимы медицинские технологии, учитывающие современный реальный фактор изменения свойств окружающей среды – это её электромагнитное загрязнение. Как показывает практика, одними медикаментозными препаратами решать задачу восстановления нарушенного гомеостаза становится все сложнее и сложнее. Это обуславливает целесообразность применения радиофизических природоподобных технологий профилактики и лечения заболеваний человека на основе автономного или в комплексе с лекарственными препаратами разработанных аппаратно-программных средств моделирования микроволнового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли.

Новый подход к лечению вирусных и воспалительных заболеваний человека требует от медицинской науки понимания того, что реальные возможности медикаментозных методов лечения заболеваний человека достигли потенциальных пределов. Необходимо активно

внедрять в медицинскую практику природоподобные технологии, реализующие эволюционно значимые для организмов механизмы регуляции [20].

Библиографический список

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети, 4-е изд. СПб.: Питер, 2010. 992с.
2. The Menu at the IoT Café: A Guide to IoT Wireless Technologies. Application Note. Keysight Technologies. September 10, 2017. www.literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-2412EN.pdf.
3. Даровских С.Н., Шишкова Ю.С., Попечителей Е.П., Вдовина Н.В. Микроволновая гелиобиология: моногр. / под ред. С.Н. Даровских. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2016. 99 с.
4. Григорьев Ю.Г., Шафиркин А.В., Васин А.Л. Биоэффекты хронического воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона малых интенсивностей (стратегия нормирования) //Радиац. биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 501-511.
5. Пряхин Е.А., Аклев А.В. Влияние неионизирующих электромагнитных излучений на животных и человека // РАМН, Южно-Уральский научный центр. Челябинск, 2007. 219с.
6. Шибкова Д.З., Шилкова Т.В., Овчинникова А.В. Ранние и отдаленные эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на репродуктивную функцию и морфофункциональное состояние экспериментальных животных//Радиац. биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 5. С. 514.
7. Yakymenko I. L., Henshel D., Sidorik E. P., Tsybulin A. S., Rozumnjuk V.T. Effect of mobile phone electromagnetic radiation on somitogenesis of birds // Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2011, №1 P. 146-152.
8. Портал метеонювости. г.Москва. <https://www.m24.ru/news/obshchestvo/04032020>
9. Darovskikh S.N., Vdovina N.V., Piskorskiy D.S. A solution to a problem of simulating solar microwave radiation to restore human homeostasis. International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), 2017, pp. 370 – 373.
10. Патент РФ №2733579 от 11.02.2020. Бюл. 28. 5.10.2020.
11. Даровских С.Н., Шишкова Ю.С., Попечителей Е.П., Цейликман О.Б., Вдовина Н.В., Лапшин М.С. Радиовибрационный механизм взаимодействия биологической ткани организмов с электромагнитными полями и излучениями. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2014. Т.14.№ 3.С. 5-10.
12. Даровских С.Н., Шишкова Ю.С., Вдовина Н.В., Шишкова Е.В. Сравнительная оценка модифицирующего действия микроволновых излучений природного и антропогенного происхождения на золотистый стафилококк // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2015. – № 3. – С. 50–55.
13. Шишкова Ю.С., Даровских С.Н., Вдовина Н.В., Комарова И.А. Оценка влияния низкоинтенсивных микроволновых излучений СВЧ-диапазона на процесс дезагрегации эритроцитов. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 2. С. 58-62.
14. Даровских С.Н. Рассохин А.Г., Кузнецов М.Е. Управляющая роль в живой природе реликтового излучения центра Вселенной// Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2005. №6. С.40-45.
15. Узунова А.Н., Зайцева М.Л., Даровских С.Н., Рябова Н.Д., Коптяева Н.В. Эффективность микроволновой магниторезонансной терапии при обструктивном бронхите у детей. //Педиатрия. 1995. № 5. С.44-45.
16. Узунова А.Н., Горлова Н.В., Даровских С.Н. Использование физиотерапевтического аппарата микроволновой магниторезонансной терапии для коррекции метаболических нарушений при пневмонии у детей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Образование, здравоохранение, физическая культура. 2006. № 1-3. С.252-255.
17. Узунова А.Н., Курилова Е.В., Даровских С.Н., Козловская Н.А. Микроволновая терапия в комплексе лечения хронического вторичного пиелонефрита у детей. //Вопросы курортологии физиотерапии. 1997. № 3. С.27-28.
18. Узунова А.Н., Кофанов Р.В., Черныш Н.Н. Микроволновая терапия в комплексе реабилитационных мероприятий у детей, страдающих хронической нейросенсорной тугоухостью. // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2005. №4. С.28-30.
19. Узунова А.Н., Курилова Е.В., Даровских С.Н. Влияние микроволновой магниторезонансной терапии на некоторые факторы местной иммунной защиты респираторного тракта у часто болеющих детей. //Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2004.№6. С.27-29.
20. Даровских С.Н., Вдовина Н.В., Шишкова Ю.С., Комогорова А.Р., Шонозаров П.М. Современные аспекты разработки радиофизической природоподобной технологии профилактики и лечения заболеваний человека // Электромагнитные волны и электронные системы. 2020. Т.25. №1-2. С.22-32.

УДК 574.24:537.226/31, ГРНТИ 68.85.15

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ БИОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.Г. Ляпин

*Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,
Российская Федерация, Москва, Lei130@ngs.ru*

Аннотация. Рассматривается состояние и перспективы развития экспериментальной базы и информационно-измерительных систем для проведения стимулирующих и повреждающих электромагнитных воздействий на растительные объекты и обеспечения исследовательских работ в учебно-исследовательской практике. Разработан комплекс с технической базой и информационно-измерительной системой для исследований электрофизических характеристик биотехнических систем с воздушными, почвенными и растительными объектами при электромагнитных воздействиях.

Ключевые слова: экспериментальная база, электромагнитное воздействие, исследования, структура, функции, процессы, электродная техника, растительные объекты.

EXPERIMENTAL BASE AND INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS OF BIOTECHNOLOGICAL COMPLEXES WITH PLANT OBJECTS

V.G. Lyapin

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Russian Federation, Moscow, Lei130@ngs.ru*

The summary. The state and prospects for the development of the experimental base and information and measurement systems for stimulating and damaging electromagnetic effects on plant objects and providing research work in educational and research practice are considered. A complex with a technical base and information and measurement system for researching the electrophysical characteristics of biotechnological systems with air, soil and plant objects at electromagnetic influences has been developed.

Keywords: experimental base, electromagnetic impact, research, structure, functions, processes, electrode technology, plant objects.

Одной из важных составляющих деятельности инженерных служб является деятельность в области электротехники и электроники, электрооборудования, электротехнологии и биотехнических систем (БТС), что соответствует способности к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов электротехнических комплексов и БТС на схмотехническом и элементном уровнях, в т.ч. с использованием систем автоматизированного проектирования и проведению технического обслуживания элементной базы этого класса оборудования и техники специализированных предприятиях и технических службах. В вузах, с целью формирования базовых знаний в области электроэнергетики, электротехники, электрооборудования, электротехнологии и БТС, обучающиеся, выбравшие направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 27.03.02 «Управление качеством», 35.03.06 «Агроинженерия» изучают дисциплины «Электротехника и электроника», «Электротехника, электроника и электропривод», «Электроника и электротехника», «Общая электротехника и электроника», «Общая электротехника и электроника. Автоматика», «Теоретические основы электротехники», «Линейная и нелинейная электротехника», «Основы теории электрических цепей», «Электропитание устройств и систем» и др., позволяющие приобре-

сти знания, умения и навыки для решения следующих практических задач в будущей профессиональной деятельности:

- исследования физических явлений и закономерностей в области электроэнергетики, электротехники, электрооборудования, электротехнологий и БТС;
- инженерия, направленная на проектирование, производство и применение приборов и систем, предназначенных для получения, регистрации и обработки информации о технических и биологических объектах (БО);
- экспертная и организационно-управленческая деятельность, связанная с электроэнергетикой, электротехникой, электрооборудованием, электротехнологиями и БТС;
- педагогическая деятельность по подготовке кадров с высшим образованием в сфере разработки и применения электроэнергетических и электротехнических устройств и систем, электрооборудования, электротехнологий, БТС и технологий.

Результативность таких решений зависит от уровня методологического, технического и метрологического обеспечения и компетентности специалистов, осуществляющих подобную деятельность. На электротехнических кафедрах вузов (ФГБОУ ВО "Новосибирский ГАУ", "РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева", ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России), большое внимание уделяется вопросам обеспечения профессионального становления обучающихся. Одним из возможных решений является внедрение практико-ориентированного обучения, которое может быть эффективным и при дистанционной форме обучения. Для формирования умений и навыков проведения экспериментальной работы и обработки результатов измерений в рамках указанных дисциплин предусмотрены лабораторные работы (наиболее дорогостоящий вид учебных занятий из-за высокой стоимости лабораторного оборудования). Учебные лаборатории вузов располагают, в основном, единичными образцами лабораторных стендов по электротехнике и электронике (рисунок).



Лабораторные стенды по электропитанию устройств и систем (слева - осциллограммы напряжения и тока на осциллографе DS01052B 50 MHz)), электротехнике (справа)

Краткие замечания. Известно, что при проведении биологических исследований используется большой арсенал методов и средств, предназначенных для измерения различных показателей БО, а также для регистрации и анализа структурно-функциональных изменений и физиологических процессов, протекающих в БО. Исследования БО и измерения его параметров характеризуются рядом специфических особенностей в связи с тем, что в качестве объекта изучения выступает БО или целая колония организмов (популяция), отдельный орган или группа органов, физиологическая система, группа клеток или отдельные клетки и т.д. Вначале исследуются свойства БО и на основании данных о механизмах взаимодействия БТС с БО и основных эффектах подбираются оптимальные параметры, в нашем случае, электромагнитного воздействия (ЭМВ) - мощность, длина волны, режим генерации, экспозиция и др. Параметры зоны ЭМВ обусловлены параметрами внешней среды, электротехни-

ческой и биологической систем, в нашем случае, электротехнологической установки и растительного объекта (РО) [1].

Актуальность вопроса о «биологической организации» РО связан с перспективами применения новых методов исследования БО. Количественное описание процесса, функции, ответной реакции РО на ЭМВ требует проведения комплексного изучения, связанного с измерениями отдельных биологических показателей и с регистрацией характеристик изучаемых процессов с последующим или одновременным (в режиме реального времени) анализом этих характеристик с помощью информационно-измерительных (ИИ) систем. РО, как объект исследования характеризуется большим количеством показателей (статических и динамических, количественных и качественных), измеряемых прямыми и косвенными методами [2, 3]. Изменчивость и индивидуальный разброс параметров РО, их взаимосвязанность, нелинейность этих связей, наличие значительных помех делает задачу оценки состояния РО сложной. К примеру, электродная техника при ЭМВ на РО, взаимодействуя с объектом исследования, искажает изучаемые процессы, а сам РО влияет на характеристики датчиков-электродов. Знание особенностей РО, его структуры и законов функционирования необходимо при решении задач выбора стимулирующих или повреждающих РО ЭМВ, контроля за состоянием РО при ЭМВ, управления функциями РО с помощью ЭМВ и т.д. Изучение особенностей РО связано со сложностью биологического организма, представляющего собой совокупность многих взаимосвязанных физиологических систем, несовершенством методов исследования и математического аппарата, не позволяющего адекватно описать такую совокупность. В связи с этим РО исследования должен характеризоваться с более общих методологических позиций и может выступать при практическом освоении в процессе научного исследования в качестве сложноорганизованного объекта. В этом случае на первое место ставится не анализ составных частей РО, а его характеристика как определенного целого, раскрытие механизмов и связей, обеспечивающих целостность РО. Большое значение приобретает знание особенностей организации РО и при разработке (синтезе) БТС при ЭМВ, сочетающих в едином контуре управления биологические и электротехнические звенья [1, 2, 3]. Эффективность подобных БТС определяется согласованностью характеристик этих звеньев, обеспеченностью ИИ системой, в которых происходит взаимодействие разнородных звеньев, и соблюден принцип адекватности при выборе средств ЭМВ. Поэтому основными задачами при формировании базовых знаний в области электроэнергетики, электротехники, электрооборудования, электротехнологии и БТС при ЭМВ можно считать: разработку средств и способов представления исследуемых РО; построение обобщенных моделей РО и моделей свойств БТС с РО при ЭМВ; исследование структурно-функциональных изменений БТС с РО при ЭМВ. Одним из возможных решений этих задач является создание и внедрение элементной базы и ИИ систем в учебной и исследовательской практике вузов.

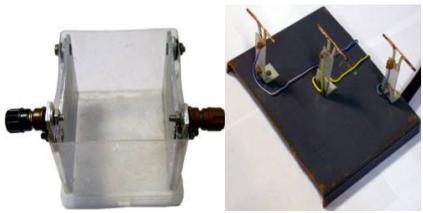
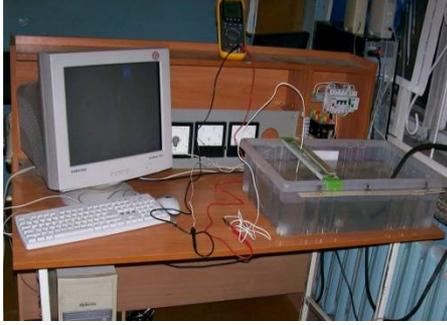
Анализ состояния и направлений развития экспериментальной базы и ИИ систем

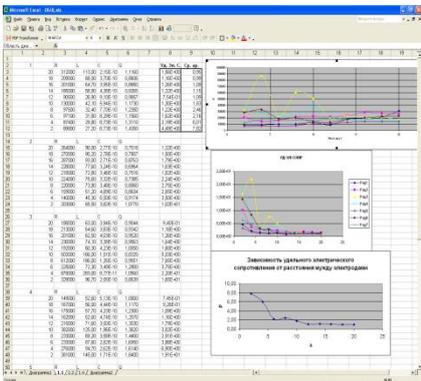
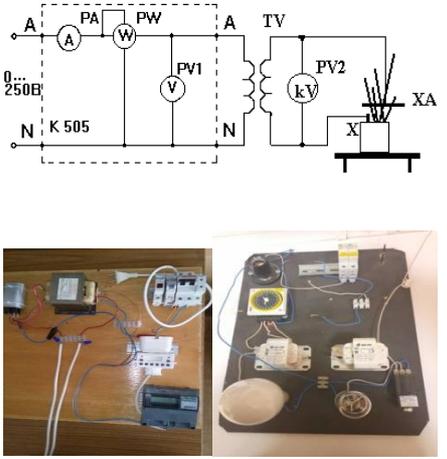
Современная электротехника, электротехнология, агрономия и биология используют измерения и различную измерительную и регистрирующую технику для решения самых разнообразных задач по исследованию РО. Необходимым условием эффективности этих исследований является оснащение учебных и научных учреждений совершенными методами исследования и современным оборудованием. Особенно важным для повышения эффективности биологических и электротехнических исследований оказалось совершенствование технической базы исследований БТС и, в первую очередь, развитие электродной техники, разработка миниатюрных датчиков-преобразователей и электродных систем. В последние годы перед электротехнологиями возникли задачи по изучению свойств РО с целью их адекватного сопряжения с электротехническими устройствами в единые БТС. Эта проблема сформулирована как синтез БТС с РО и требует разработки теоретической базы и специфической методологии, а вопрос, в связи с его новизной, еще не нашел достаточного освещения в литературе. На этих основаниях можно считать, что предметом электротехнологии ЭМВ на РО

является исследование структуры и функционирования РО различной сложности (от клеток до живых организмов и их популяций) с целью создания новых, более совершенных электротехнических устройств и синтеза БТС, оптимально использующих свойства биологических и электротехнических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного ЭМВ.

В плане научно-методического, технического и информационного обеспечения экспериментальных работ по электротехнике, электрооборудованию, электротехнологии и БТС при ЭМВ в НГАУ, РГАУ-МСХА, АГЗ МЧС России, СФНЦА РАН, ФНАЦ ВИМ создавались установки для выполнения исследований БТС с РО (таблица), что давало возможность проводить в лабораториях исследования со студентами, курсантами, магистрантами, аспирантами и позволяло отнести их к лабораториям учебно-исследовательского типа, важного для современного бакалавриата, магистратуры и аспирантуры. Лабораторные стенды по электропитанию устройств и систем, электротехнике и электронике (рисунок) в вузах используются как учебно-исследовательские стенды для исследования электромагнитных процессов в электропреобразователях БТС, электродной технике и влияния ЭМВ на РО.

Технические средства исследований БТС с РО при ЭМВ. Элементы, схемы, системы

№ п.п.	Наименование, назначение	Характеристика, параметры, описание	Топология
1	Почвенный канал для исследования БТС с РО	Сверху – облучательная кассета с УФ, ИК, фитолампами и блоком управления: слева – экранирующие сетки; на переднем плане – электропривод шасси; в центре – шасси для позиционирования электродной техники, датчиков, приборов, аппаратуры с набором конструктивов для крепления электродов	
2	Стенд для исследования зоны ЭМВ электродной техники с почвой, РО, воздушной средой, конструктивными элементами	На переднем плане 4-х зондовый манипулятор для съема электрических характеристик РО и почвы; на заднем - манипулятор технологических электродов; внизу - контейнер с почвенно-растительными материалами на платформе, управляемой электроприводом	
3	Аппаратура для исследования электрического поля электродной техники	Внизу первичный преобразователь для измерения электропроводности электролита и физическая модель трехфазной электродной системы 	

4	<p>Вегетационно-климатическая камера с ИИ системой для исследования реакционной способности РО, их активного электрического повреждения при ЭМВ</p>	<p>Визуализация электрических свойств РО в среде программирования LabVIEW</p> 	
5	<p>Электропреобразователь, пускорегулирующая аппаратура УФ, ИК, фитоламп для исследования ЭМВ на РО в лабораторных условиях</p>	<p>Сверху электрическая схема экспериментальной установки для исследования ЭМВ на РО и почву. Однофазное напряжение при проведении исследований в лаборатории и вегетационном домике регулировалось автотрансформатором, после повышения трансформатором TV (НОМ) до 2-10 кВ подводилось между потенциальным XA и заземленным X электродами. Внизу макеты электропреобразователя 220/5000 В и облучательной установки с УФ, ИК и фитолампами</p>	

К настоящему времени накоплены достаточные знания в изучении структуры и функционирования биологических, соответственно, РО и разработана необходимая техническая и технологическая база для постановки биотехнических исследований, выступающих одновременно биологическими и техническими. Развитие этого направления обеспечивается преобразованием РО и конструированием их искусственных аналогов, а в основе синтеза БТС лежит методология, предполагающая исследование тех особенностей строения и функционирования РО, которые необходимы для решения конкретных задач синтеза систем определенного назначения. БТС отличаются крайним многообразием параметров и неоднозначной связью их параметров с изменениями, протекающими внутри и вне исследуемых объектов и систем. Несмотря на значительные различия в функционировании БТС, для всех них определяющим является принцип адекватности согласования «управленческих» характеристик технических и биологических элементов системы и принцип идентификации ИИ среды. Синтез технической части БТС должен проводиться с учетом морфологических особенностей сопрягаемой биологической подсистемы. В настоящее время среди БТС растительного назначения выделяется особая группа систем стимуляции и повреждения РО, работа которых направлена на изменения структурно-функционального состояния РО путем оказания на него различных ЭМВ. Особое место отводится импульсным методам ЭМВ на РО.

Так как обучающийся должен демонстрировать способности к: чтению электрических принципиальных схем, анализу схемы, пониманию назначения каждого элемента схемы; нахождению и анализу документации на каждый элемент схемы; контролю и ремонту функциональных элементов, блоков и узлов электротехнических изделий и БТС; метрологическому обеспечению и контролю качества электротехнических изделий и БТС, их элементов,

функциональных блоков и узлов; синтезу и проектированию как отдельных функциональных схемотехнических решений, так и электротехнического изделия или БТС в целом, то имеющаяся в РГАУ-МСХА, НГАУ, АГЗ МЧС России техническая база и ИИС БТС с РО (в виде комнатных растений) позволяют обеспечить учебный процесс реальными исходными материалами для формирования навыка обработки данных измерений, при этом каждому обучающемуся предоставляется возможность выполнять обработку индивидуальных данных. В настоящее время образовательный процесс в вузах характеризуется развитием электронных технологий обучения, а с переходом на дистанционный формат обучения совершенствованием экспериментальной работы у обучающихся, не находящихся в лаборатории во время занятия. Для решения этой проблемы разработан учебно-методический материал [5-10], ориентированный на развитие интеллекта обучаемого, самостоятельное извлечение и представление знаний, продуцирование информации. Обучающимся предлагается в качестве задания порядок выполнения лабораторной работы с конкретными показаниями. Обучающиеся снимают показания виртуальных приборов, заполняют таблицу с экспериментальными данными и определяют параметры БТС с РО. В [4...7] представлены, соответственно, примеры задания и форма таблиц для заполнения при выполнении лабораторных работ по двухполюсникам с РО и четырехполюсникам с электропреобразователем.

Используя современные достижения науки и техники, можно создавать специализированные модули и учебно-исследовательские комплексы для натурального моделирования БТС с РО, отдельных ее электротехнических систем и элементов проектным методом из готовых изделий и полуфабрикатов (таблица). Структурно-функциональный подход при применении к моделированию БТС с РО имеет преимущества: возможность раздельного моделирования элементов (источника электропитания, электропреобразователя, электродной техники, почвенных и РО как приемников электроэнергии); унификация базовых классов для систем электропитания и электродной техники благодаря отделению структуры элемента от его параметров; наглядность описания модели каждого элемента; уменьшение времени на разработку и отладку систем электропитания, электродной техники и БТС в целом; возможность внесения изменений в отдельный объект, не затрагивая реализацию других объектов; открытость моделей и приспособленность для дальнейшего их совершенствования; возможность разработки моделей электротехнической и ИИ системы несколькими разработчиками одновременно. Концентрация технических средств исследований, ИИ материала по ЭМВ на почву и РО позволяет добиться следующего: экономить материальные ресурсы; расширить спектр исследуемых свойств РО; проводить исследования в измененном масштабе времени и при широком изменении параметров БТС, РО и внешней среды; расширить методические возможности лабораторных и практических занятий; использовать лаборатории для совместных биологических и биофизических исследований; вышеназванный ИИ материал использовать в учебном процессе для самостоятельного изучения, иллюстрации лекций, проведения лабораторных работ.

Путем физического, математического и численного моделирования, проводимого на различных уровнях исследуемых систем РО в учебной и исследовательской практике, обучающиеся могут совершенствовать знания электрофизических свойств РО при ЭМВ, топологии БТС с РО и почвенной средой, характере распространения ЭМВ в тканях РО и окружающей его среде. Результаты этих исследований имеют познавательное значение, будут играть существенную роль при решении следующих задач: съем информации о структуре, свойствах и процессах в БТС с РО; оптимизация топологии размещения электродной техники; разработка методов и технических решений диагностики структуры и состояния РО, стимуляции и повреждения РО при ЭМВ и т.д. Эти данные позволяют показать обучающимся реальную работу в инженерно-технической сфере, которую выполняет технический персонал АПК, и обосновать актуальность изучения электротехнических дисциплин. Широкий спектр элементной базы БТС позволяет разработать лабораторные работы с ориентацией на

будущую профессиональную деятельность для каждого направления обучения. Так, для специальности «Агроинженерия» выбраны исследовательские работы по двухполюсникам с РО и четырехполюсникам с электропреобразователем [4...7]. Практико-ориентированная форма обучения позволяет инициировать больший интерес к изучаемым материалам по БТС с РО, повышая активность и самостоятельность учебной и исследовательской деятельности обучающихся. Представленные в статье результаты могут быть внедрены в учебный процесс образовательных учреждений аграрного сектора.

Библиографический список

1. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. – 366 с.
2. Попечителей, Е.П. Основы биотехники. Синтез биотехнических систем: учеб. пособие/Е.П. Попечителей. - Старый Оскол: ТНТ, 2021. – 404 с.
3. Попечителей, Е.П. Технические методы диагностики биоматериалов: учеб. пособие/Е.П. Попечителей. - Старый Оскол: ТНТ, 2020. – 316с.
4. Ляпин, В.Г. Определение электрических параметров растительных и почвенных объектов как активностных двухполюсников/В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов//Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. N4(41). - С. 125-136.
5. Соболев, А.В. Основы теории электрических цепей. Практикум/А.В. Соболев, В.И. Загинайлов, В.Г. Ляпин, А.А. Игудин. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2020. - 105 с.
6. Соболев, А.В. Теоретические основы электротехники. Рабочая тетрадь/А.В. Соболев, В.И. Загинайлов, А.А. Игудин, В.Г. Ляпин; Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева. - Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. - 81 с.
7. Ляпин, В.Г. Электротехника и электроника. Рабочая тетрадь в 3-х частях. Часть 1. Электротехника/В.Г. Ляпин, А.В. Соболев, А.А. Игудин; Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева, В.Г. Ляпин, В.Г. Электротехника и электроника. Элементы, схемы, системы: учебное пособие/В.Г. Ляпин, Г.С. Зиновьев, А.В. Соболев. – М.: ООО «Реарт», 2018. – 183 с.
8. Ляпин, В.Г. Теоретические основы электротехники. Учебное пособие/В.Г. Ляпин, А.В. Соболев, В.И. Загинайлов, А.А. Игудин; Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева. - Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. - 133 с.
9. Тимирязева. - Москва: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. - 105 с.
10. Ляпин, В.Г. Электропитание устройств и систем. Учебное пособие в трёх частях. Часть 1. Лекции по теории цепей и электронных преобразователей/В.Г. Ляпин, Г.С. Зиновьев, А.В. Соболев. – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2016. – 220 с.

УДК 574.24:537.226/31, ГРНТИ 68.85.15

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В.Г. Ляпин¹, М.В. Самохвалов², Н.А. Стушкина¹, Э.В. Колмурзина¹

¹Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, Москва, Lei130@ngs.ru;

²Новосибирский государственный аграрный университет, Российская Федерация, Новосибирск, maxsamokhvalov@mail.ru

Аннотация. Разработан макет экспериментального измерительного комплекса для исследований электрофизических характеристик растительных объектов при импульсных электромагнитных воздействиях. Предложены методики комплексных измерений электрофизических характеристик межэлектродных промежутков биотехнических систем с воздушными, почвенными и растительными объектами. Показано, что комплексные измерения позволяют оптимизировать электротехнологические процессы формирования электрического повреждения растительных объектов. На основании полученных данных можно провести оценки параметров физических моделей, описывающих процессы электрического повреждения

растительных объектов, в частности, диэлектрических характеристик, проводимости, а также влияния дефектов и поверхностных барьеров в слоях возле металлических электродов биотехнических систем.

Ключевые слова: электротехнологические процессы, электрическое повреждение, электроды, растительные и почвенные объекты, напряжение, ток, сопротивление.

DEVELOPMENT OF A MODEL OF AN INFORMATION AND MEASUREMENT COMPLEX FOR STUDYING THE ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF PLANT OBJECTS UNDER PULSED ELECTROMAGNETIC INFLUENCES

V.G. Lyapin¹, M.V. Samohvalov², N.A. Stushkina¹, E.V. Kolmurzina¹

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

Russian Federation, Moscow, Lei130@ngs.ru;

²Novosibirsk state agrarian University,

Russian Federation, Novosibirsk, maxsamokhvalov@mail.ru

The summary. A model of an experimental measuring complex for studying the electrophysical characteristics of plant objects under pulsed electromagnetic influences has been developed. Methods of complex measurements of the electrophysical characteristics of the mejelectrode gaps of biotechnical systems with air, soil, and plant objects are proposed. It is shown that complex measurements make it possible to optimize the electrotechnological processes of the formation of electrical damage to plant objects. Based on the obtained data, it is possible to evaluate the parameters of physical models describing the processes of electrical damage to plant objects, in particular, the dielectric characteristics, conductivity, as well as the influence of defects and surface barriers in the layers near the metal electrodes of biotechnical systems.

Keywords: electrotechnological processes, electrical damage, electrodes, plant and soil objects, voltage, current, resistance.

К настоящему времени накоплены достаточные знания в изучении структуры и функционирования биологических, соответственно, растительных объектов (РО) и разработана необходимая техническая и технологическая база для постановки биотехнических исследований, выступающих одновременно биологическими и техническими [1-3]. Развитие этого направления обеспечивается преобразованием РО и конструированием их искусственных аналогов, а в основе синтеза биотехнических систем (БТС) лежит методология, предполагающая исследование тех особенностей строения и функционирования РО, которые необходимы для решения конкретных задач синтеза систем определенного назначения. БТС отличаются крайним многообразием параметров и неоднозначной связью их параметров с изменениями, протекающими внутри и вне исследуемых объектов и систем. Вопрос об особенностях поведения РО при ЭМВ считается дискуссионным, на рисунке 1 приведены структура стебля и корня и основные функции отдельных органов у растений. Несмотря на значительные различия в функционировании БТС, для всех них определяющим является принцип адекватности согласования «управленческих» характеристик технических и биологических элементов системы и принцип идентификации информационно-измерительной (ИИ) среды. Синтез технической части БТС должен проводиться с учетом морфологических особенностей сопрягаемой биологической подсистемы. В настоящее время среди БТС растительного назначения выделяется особая группа систем стимуляции и повреждения РО, работа которых направлена на изменения структурно-функционального состояния РО путем оказания на него различных электромагнитных воздействий (ЭМВ). Особое место отводится импульсным методам, осуществляемым с помощью высокоинтенсивного ЭМВ, обладающего рядом специфических и уникальных свойств.



Рис. 1. Структура стебля и корня и основные функции отдельных органов у РО:

1 - зона синтеза гормона; 2 - центр рецепции гормона; 3 - зоны дистанционного управления ростом почек, листьев; 4 - сенсорные зоны; 5 - зоны клеток покоя; АБК - абсцизовая кислота; ЦТК - цитокинин; ИУК - индолилуксусная кислота; ГК - гибберелловая кислота

Существуют различные модификации аппаратов ЭМВ на РО, однако эффект, получаемый в результате их использования, не всегда воспроизводим или гарантирован. Это вызывает дискуссии об оптимальных параметрах ЭМВ на РО (плотность мощности, доза, время) и показаниях к его использованию. Рекомендуемые параметры плотности мощности в разных руководствах отличаются в сотни и более раз (от 0,5 до 200 мВт/см²), а рекомендуемые дозы варьируют от 0,1 до 120 Дж/см². Решение поставленных проблем возможно с помощью коррекции ЭМВ во время обработки РО, т.е. электротехнологического процесса (ЭТП). Основываясь на информации о состоянии РО до и во время ЭМВ, т.е. непосредственно в процессе электротехнологической обработки, и используя цепи обратных связей, передающие эту информацию, можно, меняя параметры ЭМВ, выбрать наиболее оптимальный режим, подходящий конкретному ЭТП. Особую роль играют связи, передающие управляю-

щие сигналы о состоянии РО непосредственно к техническим средствам ЭМВ на него, т.е. биологические обратные связи, с помощью которых параметры текущего состояния РО используются в качестве управляющих сигналов и корректируют ход ЭТП. Поэтому, создание аппаратов с биологическим управлением является актуальной проблемой в теории БТС и именно ей посвящены многие современные разработки. Таким образом, задача создания ИИ оборудования для исследований электрофизических свойств РО и контроля характеристик отдельных биологических структур на их основе становится весьма актуальной. Поэтому цель прогнозируемых исследовательских работ - развить научно-обоснованную методологию и разработать совокупность технических и технологических решений получения информации об электрических параметрах РО, повышающих достоверность получаемых данных, синтезировать и исследовать структуры соответствующих БТС. В данной работе рассмотрен пример ИИ комплекса, обеспечивающего решение этой задачи. Основой разработки служит система сбора и обработки данных, использующая достижения современных ИИ технологий, в частности, аппаратные и программные средства компании пакета LabVIEW (National Instruments). Это решение позволяет оперативно и малыми затратами создавать комплекс ИИ оборудования (рис. 2) [4-7], в котором комбинируются внешние стандартизованные средства измерений и устройства, встроенные в ПК, и который можно быстро перестраивать для обеспечения требуемых функциональных характеристик.

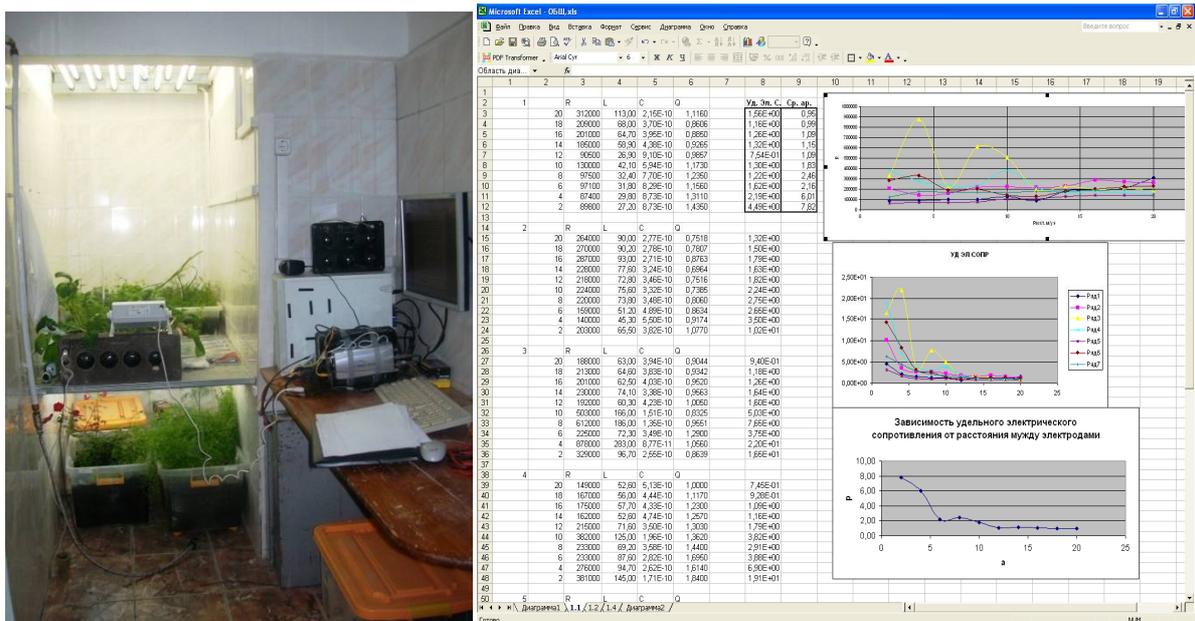


Рис. 2. Вегетационно-климатическая камера с ИИ системой для исследования реакционной способности РО, их активного электрического повреждения ЭМВ (справа - визуализация электрических свойств РО в среде программирования LabVIEW)

В прикладном значении в БТС для РО и почвы используются следующие параметры из электрических характеристик вещества ($\gamma, \rho, \epsilon, \mu, \delta$ или $tg\epsilon$): электрическая проводимость γ , диэлектрическая проницаемость ϵ , диэлектрические потери δ или $tg\epsilon$, электрическая прочность E , а под электрическими свойствами РО понимают совокупность параметров, характеризующих поведение конструктивных элементов БТС и биоматериалов РО в электрической составляющей ЭМП. Пассивные электрические свойства РО и почвы характеризуются полным сопротивлением (импедансом) Z или комплексной проводимостью (иммитансом) Y . Величина иммитанса определяется емкостной $+jB$ и активной G проводимостью с соответствующей индуктивностью токоподводов БТС, тканей РО и почвы. Как и в других, подобных технических и технологических решениях ИИ комплекс состоит из двух функциональных модулей: 1 - предназначенный для измерений диэлектрических характеристик ϵ, δ или $tg\epsilon$ и

проводимости γ РО; 2 - построенный с необходимыми мерами по экранированию РО и первичных цепей измерения и обеспечивающий измерения вольтамперных характеристик и исследования электрических свойств РО при ЭМВ. При измерениях γ , ρ , ε , δ или tg_ε исследуемый образец РО размещается в условиях вегетационно-климатической камеры в контейнере с почвенно-растительными материалами, что позволяет передвигать образец и поддерживать его жизнедеятельность в определенных условиях климатической среды. К контактным площадкам исследуемого образца (участки стебля или корня РО, почва) с помощью манипуляторов подсоединяются электроды, подключенные к коммутационному блоку, обеспечивающими требуемую конфигурацию схемы измерений и малые токи утечки между контактами. К этому же блоку подключены измерительные приборы и узлы задания режимов измерения.

Особенностью ИИ комплекса является открытость архитектуры и простота программирования, что достигается за счет использования аппаратно-программных средств. Комплекс аппаратуры включает стандартизованные измерительные средства и встраиваемые платы (АЦП, ЦАП), что позволяет проводить измерения γ , ρ , ε , δ или tg_ε и вольтамперных характеристик РО. Нормированные метрологические характеристики ИИ комплекса обеспечиваются применением стандартных измерительных средств, соединенных с компьютером с помощью приборного бит-параллельного и байт-последовательного интерфейса обмена данными и сигналами управления. Для реализации интерфейса ИИ комплекса применяется плата PCI и соответствующие программные модули LabVIEW. Для задания режимов измерения и развертки прикладываемого к образцам РО напряжения применяются платы расширения шин ISA и PCI, содержащие АЦП и ЦАП, а также внешние приборы: генераторы сигналов или блоки питания, управляемые через USB, COM или LPT порты ПК. Управление работой ИИ комплекса осуществляется программой, разработанной в среде программирования и конфигурирования аппаратуры LabVIEW. Пример графического интерфейса пользователя виртуального устройства наблюдения и соответствующего программного модуля приведен на рисунке 2. ИИ комплекс позволяет регистрировать зависимость γ , ρ от расстояния между измерительными электродами-иглами, сопротивления РО (схема измерения тока при значениях емкости измеряемого образца РО от 20 пФ до 10 нФ на частотах от 0.01 Гц до 10 кГц, амплитуде приложенного напряжения синусоидальной формы до 10 В с минимальной чувствительностью по напряжению 5 мВ/дел. и по току 10 мкА/дел.). Регистрирующим прибором служит цифровой осциллограф, развертка задается платой с ЦАП или генератором.

Электрофизические характеристики γ , ρ , ε , δ или tg_ε измеряются при помощи измерителей иммитансов E7-12, E7-14, E7-22, LCR-819, а также модулей PCI-6024E и NI USB-9215, которые отличаются частотами тестового сигнала, что позволяет проводить исследования в диапазоне частот от 100 Гц до 10 МГц. Развертка задается от встроенных источников напряжения и внешних управляемых по LPT и COM портам источников. При измерениях γ , ρ , ε , δ или tg_ε в учебных лабораториях с учебно-исследовательскими стендами (рис. 3, 4) исследуемый образец РО располагается на подвижном столе, что позволяет передвигать РО в лаборатории и поддерживать его жизнедеятельность в определенных климатических условиях. Также, как и в вегетационно-климатической камере к контактным площадкам исследуемого образца РО (участки стебля или корня РО, почва) с помощью манипуляторов подсоединяются электроды, подключенные к коммутационному блоку, обеспечивающими требуемую конфигурацию схемы измерений и малые токи утечки между контактами. К этому же блоку подключены измерительные приборы и узлы задания режимов измерения. В качестве источников получения информации в электрических цепях БТС используются моделирование в программном пакете Electronic Workbench (EWB) и измерительные приборы (осциллографы 4-х канальный DS203, 2-х канальный DSO1052B, цифровые запоминающие осциллографы и др.) при натуральных исследованиях. В качестве исследуемых образцов РО в учебных лабораториях использовались комнатные растения, которые до и после ЭМВ размещались на подоконниках (рис. 5).



Рис. 3. Учебно-исследовательские стенды для исследования электромагнитных процессов в электропреобразователях БТС, электродной технике и влияния ЭМВ на РО (слева - осциллограммы напряжения и тока на осциллографе DSO1052B 50MHz)

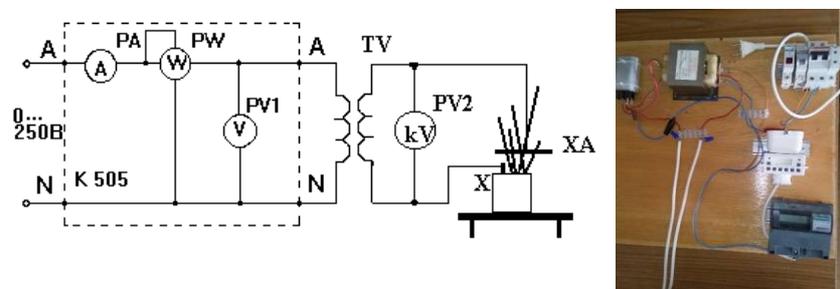


Рис. 4. Установка для исследования влияния ЭМВ на РО и почву: слева - электрическая схема; справа - макет (однофазное напряжение при проведении исследований в лаборатории регулировалось автотрансформатором, после повышения трансформатором TV до 2-10 кВ подводилось между потенциальным XA и заземленным X электродами)



Рис. 5. Комнатные растения в учебных лабораториях в качестве исследуемых образцов РО при ЭМВ

Выводы. Наличие приборных средств, аппаратуры и устройств с электронным и программным обеспечением допускают работу с РО и почвой в широких диапазонах электротехнологического напряжения U_m и тока электрода $I_{\text{э}}$, параметры которых позволяют использовать этот класс экспериментального оборудования для решения относительно широкого круга исследовательских и образовательных задач с малыми финансовыми затратами по сравнению с проведением исследований в полевых условиях.

Разработанный комплекс аппаратуры и его программное обеспечение апробированы [2, 4-7] при исследованиях электрофизических свойств РО при ЭМВ. Разработанный на основе современных ИИ технологий и встраиваемых модулей специализированный аппаратно-программный комплекс для исследований электрофизических свойств РО имеет

характеристики, не уступающие аналогам [8, 9]. Открытая архитектура, комплекса позволяет наращивать диапазон контролируемых параметров. Сравнение с ИИ комплексом раннего поколения [8, 9], показывает, что выполненная разработка отличается большими функциональными возможностями, имеет значительно меньшую стоимость.

Библиографический список

1. Топорков, В.Н. Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками/В.Н. Топорков, В.А. Королев. - М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2017. - 132 с.
2. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд. перераб. и доп. - Новосибирск, 2012. – 366 с.
3. Баев, В.И. Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства: Монография/В.И. Баев, Т.П. Бренина, Д.С. Елисеев, И.В. Юдаев; ВГСХА. - Волгоград: Станица-2, 2004. - 128 с.
4. Ляпин, В.Г. Определение электрических параметров растительных и почвенных объектов как активно-емкостных двухполюсников/В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов//Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. N4(41). - С. 125-136. DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-4-125-136.
5. Ляпин, В.Г. Система импедансного контроля растений/В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов//Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2008, №5.- С.135-143.
6. Ляпин, В.Г. Электротехника и электроника. Элементы, схемы, системы: учебное пособие/В.Г. Ляпин, Г.С. Зиновьев, А.В. Соболев. – М.: ООО «Реарт», 2018. – 183 с.
7. Соболев, А.В. Основы теории электрических цепей. Практикум/А.В. Соболев, В.И. Загинайлов, В.Г. Ляпин, А.А. Игудин. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2020. - 105 с.
8. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2000. – 106 с.
9. Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью в приложениях/В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2000. 240 с.

УДК 65.011.72; ГРНТИ 26.31.21

ОСОБЕННОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

О.В. Леонова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Olga.leonova270797@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности входного контроля печатных плат.

Ключевые слова: входной контроль, дефект, визуальный осмотр, изгиб, скручивание.

FEATURES OF INPUT CONTROL OF PRINTED BOARDS

O.V. Leonova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, Olga.leonova270797@yandex.ru*

Abstract. This article discusses the features of input control of printed boards.

Keywords: input control, defect, visual inspection, bend, twisting.

С целью предупреждения дефектной продукции, которая не соответствует установленным требованиям конструкторской и нормативно-технической документации, на предприятиях-производителях проводят входной контроль.

В данной статье говорится о входном контроле печатных плат (ПП). Печатные платы используются практически во всех сферах, как в народном хозяйстве, так и в медицинском приборостроении, в автомобильной, космической, авиационной и прочих видах промышленности.

Входной контроль ПП заключается в визуальном осмотре и контроле печатных плат на изгибы и скручивание.

Основной целью визуального осмотра печатных плат является оценка их соответствия критериям качества, например, проводится проверка внешнего вида, наличия дефектов на поверхности, признаков отслоения проводящего рисунка и т.д. [1].

К наиболее распространенным дефектам ПП, которые выявляются при визуальной оценке, относятся:

1. На поверхности присутствуют механические повреждения: заусенцы, выбоины, ореолы по краям платы.

На рисунке 1 показан край печатной платы с заусенцами, который является дефектом ПП.



Рис. 1. Дефект ПП в виде заусенцев

2. На печатной плате обнаружены микротрещины, расслоения, вздутия и инородные включения.

На рисунке 2-4 представлены примеры дефектов в виде микротрещин, расслоения и вздутия, инородных включений.

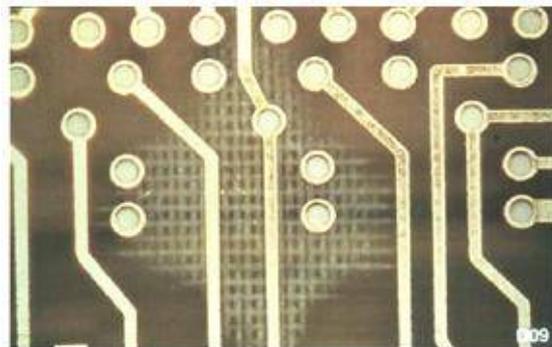


Рис. 2. Дефект ПП в виде микротрещин

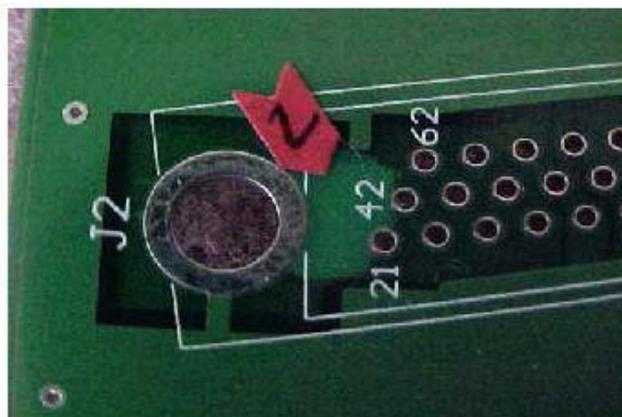


Рис. 3. Дефект ПП в виде вздутия и расслоения



Рис. 4. Дефект ПП в виде присутствия инородных включений

3. Плохо читается маркировка, которая нанесена на печатную плату.

Также могут быть выявлены при визуальном осмотре и другие дефекты, например, повреждения финишного покрытия контактной площадки, дефектная металлизация контактной площадки переходного отверстия и пр.

Визуальный осмотр проводится как с использованием оптических приборов, так и без них. В соответствии с ГОСТ Р 55744-2013 с помощью оптического прибора визуальный осмотр проводят при увеличении приблизительно $2\times$, если при таком увеличении невозможно определить дефект, проверку проводят при увеличении, постепенно повышаемом до $40\times$ [1].

Не смотря на то, что визуальный контроль не может дать объективной оценки уровня качества изготовления ПП, с его помощью удастся устранить некоторое количество дефектной продукции, которая прошла обязательное тестирование после изготовления печатных плат.

Одним из этапов входного контроля является проведение контроля печатных плат на изгибы и скручивание. Он состоит в проверке качества плоскости ПП по двум показателям.

К первому показателю относится измерение изгиба. В соответствии со стандартом IPC-T-50G под изгибом понимается отклонение от плоскости печатной платы, но при этом все четыре ее угла должны находиться в одной плоскости, как представлено на рисунке 6.

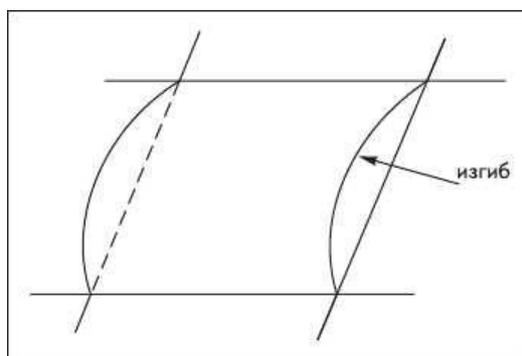


Рис. 6. Деформация изгиба [2]

Вторым показателем является измерения скручивания. Согласно ГОСТ 20406-75, скручивание характеризуется спиральным искривлением противоположных кромок основания печатной платы, как показано на рисунке 7 [2].

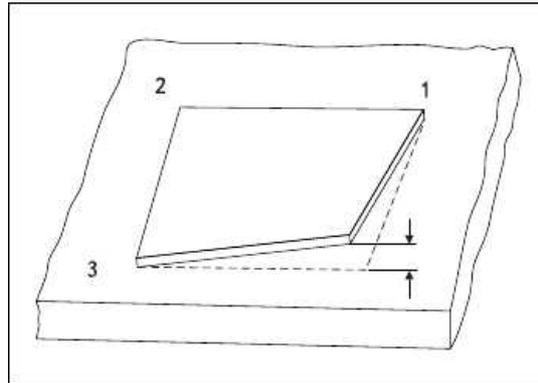


Рис. 7. Деформация скручивания [2]

В соответствии с ГОСТ 23752-79 деформация печатных плат при изгибе и скручивании не должна превышать значений, представленных в таблице 1 [3].

Таблица 1. Деформация ПП при изгибе и скручивании

Толщина печатной платы, d, мм	Деформация печатной платы, мм				
	Односторонние печатные платы		Двусторонние печатные платы		Многослойные печатные платы
	На основе бумаги	На основе стеклоткани	На основе бумаги	На основе стеклоткани	
$1,0 < d < 1,5$	1,5	0,9	0,9	0,8	0,5
$1,5 < d < 2,0$	1,2	0,8	0,6	0,6	0,4
$d > 2,0$	0,9	0,6	0,5	0,5	0,4

Согласно таблице 1, деформация печатных плат зависит от толщины ПП и использованного материала.

Для предотвращения деформации печатных плат на стадии производства и сборки необходимы следующие меры:

- не сочетать материалы разных производителей в разных слоях;
- выбирать базовые материалы для бессвинцовых сборок и избегать критического термического воздействия;
- указанные параметры прессования для слоев платы.

Таким образом, входной контроль позволяет выявить дефекты, которые являются результатом нестабильности производственного процесса изготовления печатных плат.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 55744-2013 Платы печатные. Методы испытаний физических параметров;
2. ГОСТ 20406-75 Платы печатные. Термины и определения;
3. ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.

УДК 535.215; ГРНТИ 29.31.27, 59.41.71

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ СОЛНЦА

А.Н. Крюков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alex-kryukov@yandex.ru

Аннотация. Показана возможность замены при изучении фотоэлектрических преобразователей излучения солнца лампой накаливания.

Ключевые слова: вольтамперные характеристики, фотоэлектрические преобразователи.

LABORATORY EQUIVALENT OF THE SUN

A.N. Kryukov

Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Ryazan, Russian Federation, alex-kryukov@yandex.ru

The summary. The possibility of replacing the solar radiation with an incandescent lamp in the study of photovoltaic converters is shown.

Keywords: current-voltage characteristics, photovoltaic converters.

Дисциплина «Энергосберегающие технологии в радионавигационных системах и комплексах» Б1.В.ДВ.05.01 ФГОС 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» является дисциплиной по выбору, формируемой участниками образовательных отношений, и включает 32 часа лабораторных работ.

Лабораторная работа «Исследование фотопреобразователя» заключается в экспериментальном измерении вольтамперных характеристик двух типов фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей (ФЭПП) DIY [1] и ФСМ1-3 [2] при различных условиях освещённости, построении их графиков, определении выходных сопротивлений, токов короткого замыкания, максимальной генерируемой мощности.

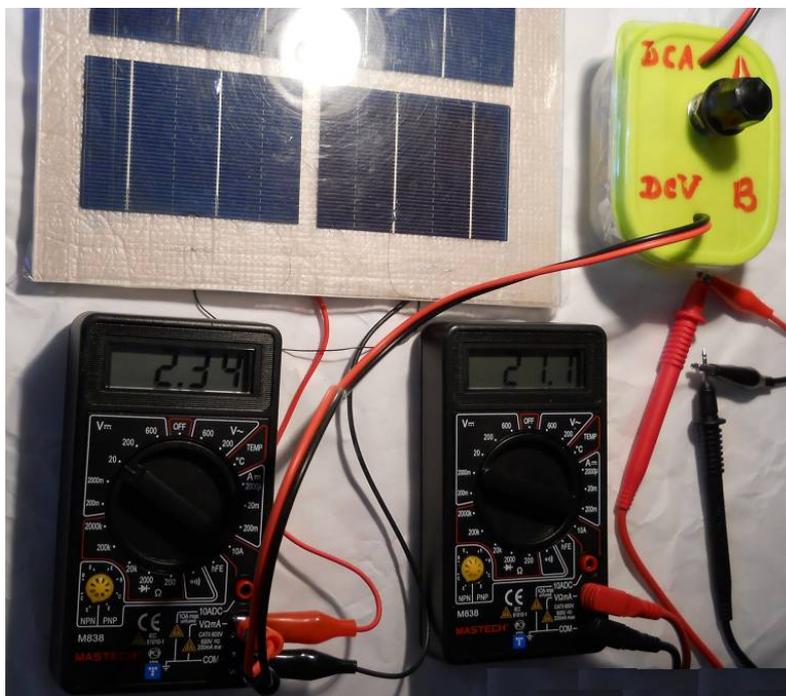


Рис. 1. Внешний вид лабораторной установки с ФЭПП DIY

Изучение ФЭПП в зимний период предполагает наличие в лаборатории имитаторов (симуляторов) солнечного излучения.

Источники света стандартизованы Международной комиссией по освещению.

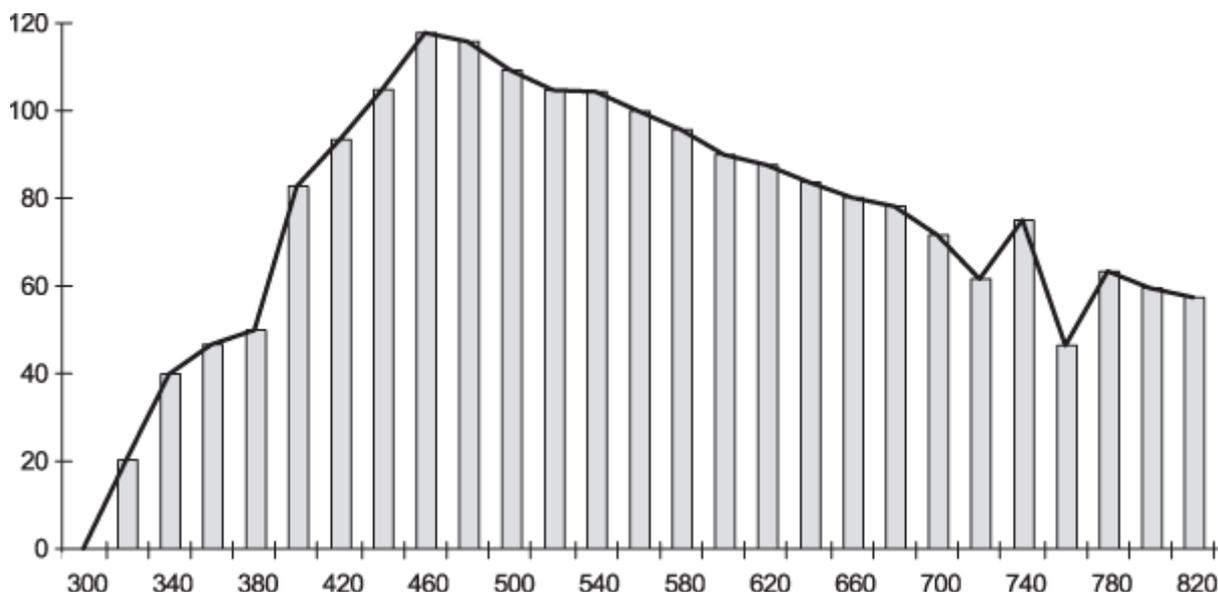


Рис. 2. Спектральная характеристика стандартного источника D65 имитирует дневной солнечный свет

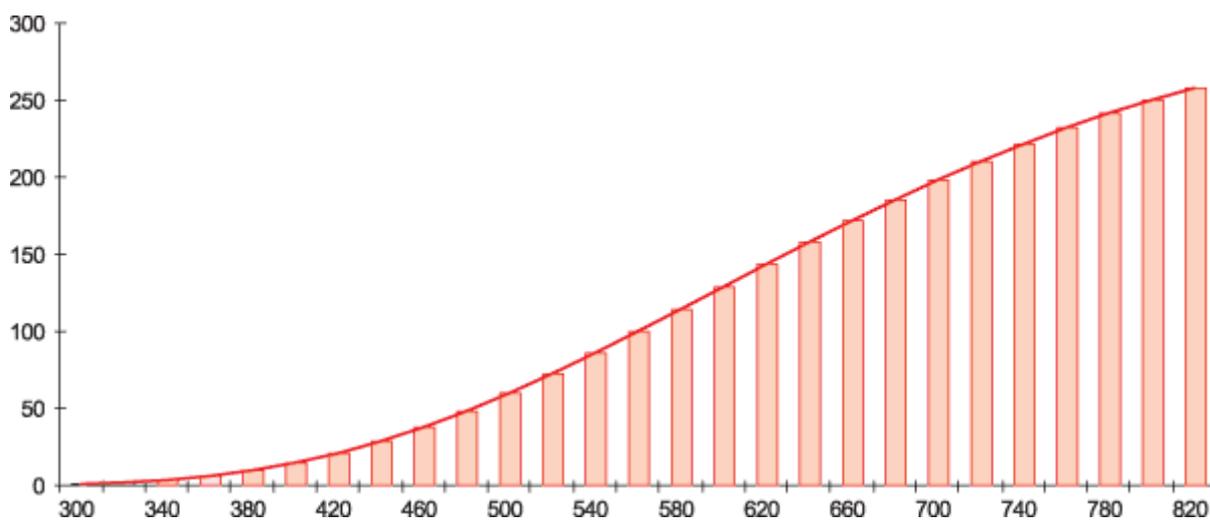


Рис. 3. Спектральная характеристика стандартного источника A имитирует лампу накаливания и имеет цветовую температуру 2856 К

Имитаторы солнечного излучения выпускаются серийно [3, 4], в качестве первичных источников света используют лампы и мощные светодиоды. Регулировка спектральных составляющих и силы света выполняется светофильтрами и переключениями групп излучателей. Их габариты, сложность и цена не позволяют оборудовать в учебной лаборатории достаточное количество рабочих мест.

Поскольку спектральные чувствительности доступных ФЭП различаются и часто не приводятся в описаниях, для верификации лабораторного имитатора солнечного излучения были проведены измерения вольтамперных характеристик ФЭП при освещении прямым солнечным излучением и лампой накаливания с отражателем и фазовым регулированием мощности (рис. 3). Здесь 1, 2 - ВАХ ДИУ, 3, 4 ВАХ ФСМ1-3 при прямом солнечном освещении ($A_M=1,5$), 5 и 6 - ВАХ ФСМ1-3 и ДИУ соответственно при освещении лампой накаливания 60 Вт с отражателем при полной мощности. Кривые 7, 8 - ВАХ ФСМ-1 и ДИУ при половинной мощности лампы, кривые 9 и 10 - ВАХ ФСМ-1 и ДИУ при 0,25 мощности лампы.

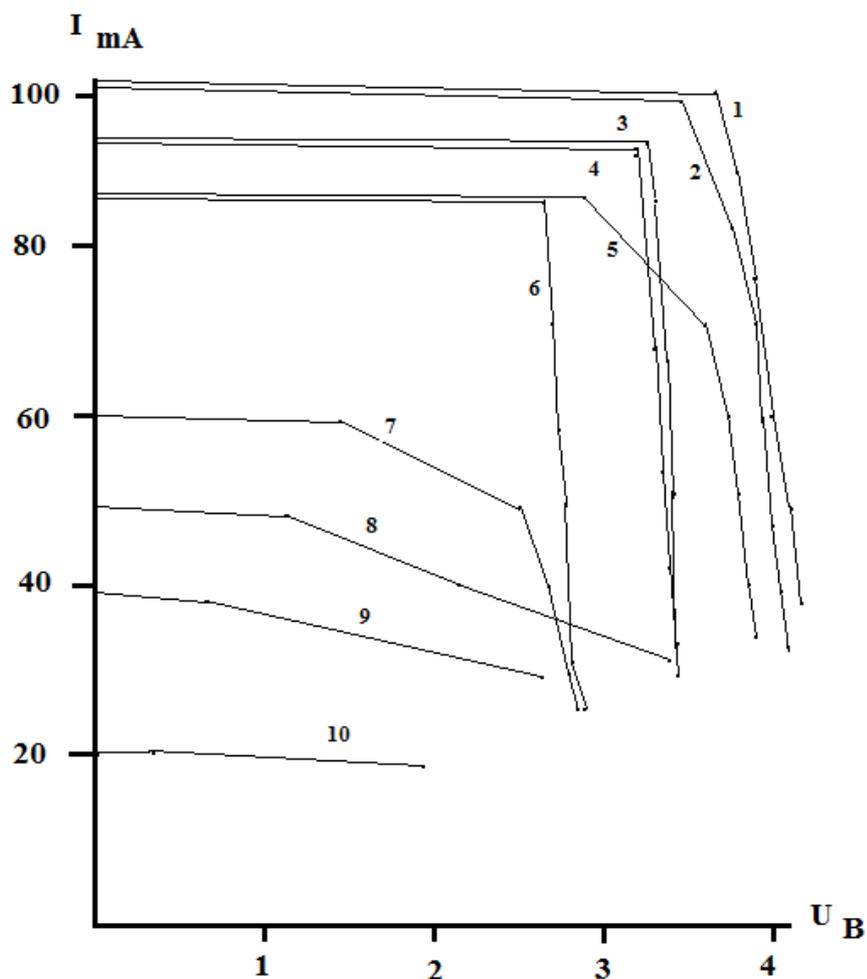


Рис. 3. Вольтамперные характеристики ФЭПФ ФСМ1-3 и DIY при различных источниках освещения.

Как видно из рисунка 3, отклонения вольтамперных характеристик исследуемых ФЭПФ при освещении лампой накаливания от характеристик, снятых при прямом солнечном освещении ($AM=1,5$), не превышают 20%. Просматриваются зависимости вырабатываемой ФЭПФ мощности и чувствительности фотоэлементов от освещённости, что является целью изучения лабораторной работы.

Полученные результаты позволяют рекомендовать лампу накаливания с отражателем и фазовым регулятором мощности в качестве лабораторного эквивалента солнца.

Библиографический список

1. Солнечное зарядное устройство DIY. [Электронный ресурс] <https://aliexpress.ru/item/32968611064.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.264d33edr3PaIV>
2. Энергосберегающие технологии в беспроводной радиоэлектронной аппаратуре: методические указания к лабораторным работам/Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Н.Г.Кипарисов, Е.В.Васильев, В.Н.Сухоруков. - Рязань, 2016. - 64 с.
3. SCIENTECH Solar Simulators Models Class AAA and ABA. [Электронный ресурс] www.sciencetech-inc.com/all-products/solarsimulators.html
4. Комплекс метрологический для измерения характеристик солнечных элементов МК-СЭ. [Электронный ресурс] <https://all-pribors.ru/opisanie/45581-10-mk-se-48026>

УДК 621.317.7.089.6; ГРНТИ 90.03.21

ПОВЕРКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИТ 8.03

М.С. Сандин, А.В. Губарев

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, г. Рязань*

Аннотация: Рассмотрен метод поверки термоэлектрических преобразователей, с использованием МИТ 8.03. Приведена структурная схема МИТ 8.03.

Ключевые слова: термоэлектрический преобразователь, поверка, компенсация холодного спая.

VERIFICATION OF THERMOELECTRIC CONVERTERS USING MIT 8.03

M.S. Sandin, A.V. Gubarev

*Ryazan state radio engineering university named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan*

The summary. The method of verification of thermoelectric converters using MIT.03 is considered.

Key words: thermoelectric converter, verification, cold junction compensation.

В настоящее время у предприятий, разрабатывающих электро-радиооборудование, появилась потребность в проверке качества и надёжности выпускаемой продукции. Одним из видов испытаний на надёжность может быть проверка продукции в термокамерах в течение установленного времени. В свою очередь в термокамерах используются термоэлектрические датчики для измерения температуры, которые подлежат поверке. Поэтому в данной статье будет описан один из методов поверки таких датчиков.

Поверка проводится согласно ГОСТ 8.338-2002 «Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки» и методики поверки МИ 3090-2007 «Преобразователи термоэлектрические с длиной погружаемой части менее 250 мм» [1].

Средства поверки

При поверке термоэлектрических преобразователей, нами используются следующие средства поверки:

- измеритель-регулятор температуры многоканальный прецизионный МИТ 8.03 (зав. №148) - эталон единицы электрического напряжения 3 разряда в диапазоне от 0 до 300 мВ, единицы электрического сопротивления 3 разряда в диапазоне от 0,001 до 300 Ом;
- термометр сопротивления платиновый эталонный ПТС-10М (зав. №075) - эталон единицы температуры 1 разряда в диапазоне от 0 до 660,323 °С;
- калибратор температуры эталонный ЭЛЕМЕР-КТ-500/М1 (зав. №21-2241) - эталон единицы температуры 3 разряда в диапазоне от 50 до 500 °С;
- мегаомметр цифровой АМ-2002 №74941.

Проверка электрического сопротивления изоляции

Проверку электрического сопротивления изоляции поверяемых преобразователей термоэлектрических проводят по ГОСТ 6616. Электрическое сопротивление преобразователей термоэлектрических в сборе проверяют перед проведением операций.

Электрическое сопротивление изоляции поверяемых преобразователей термоэлектрических не должно превышать указанного в нормативной документации на преобразователь термоэлектрический конкретного типа.

Для начала уточним общее назначение измерителя регулятора температуры (МИТ 8.03). Данный прибор предназначен для считывания сигналов от первичных преобразовате-

лей температуры. К первичным преобразователям температуры, которые могут использоваться с данным прибором относятся:

- термопреобразователи сопротивления (ТС) по ГОСТ 6651-2009 (ГОСТ Р 8.625-2006);
- преобразователи термоэлектрические (ТП) с НСХ по ГОСТ Р 8.585-2001.

Приборы считывает термо ЭДС. ТП (мВ) или сопротивление ТС (Ом), а потом по стандартным или индивидуальным статическим характеристикам преобразуют в значение температуры (°С).

Поверка постоянства номинальной статической характеристики преобразования (НСХ)

Структурная схема измерителя-регулятора температуры многоканального прецизионного приведена на рисунке 1.

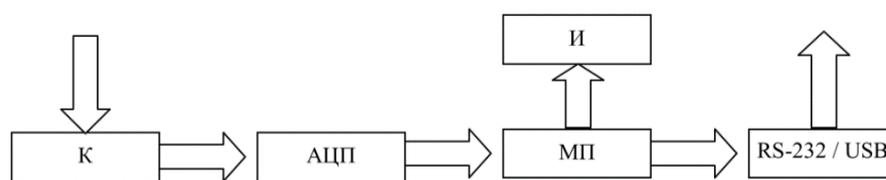


Рис. 1. Структурная схема МИТ8.03

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

- 1) АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- 2) МП – микропроцессор;
- 3) К – коммутатор;
- 4) И – индикатор;
- 5) RS-232/USB – интерфейс связи с компьютером.

Соединение термоэлектрических преобразователей осуществляется через коммутатор. Каждый канал независим от других и может быть во включенном или выключенном состоянии. С каждого подключенного канала сигнал поочередно по заданной программе поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). После изменения входного сигнала информацию, которую получил АЦП, обрабатывает микропроцессор. В соответствии со статической характеристикой вычисляется температура подключенных первичных преобразователей. Полученные результаты отображаются на индикаторе и передаются на последовательный порт USB или RS-232. Одним из преимуществ использования данного прибора является то, что его можно подключить к персональному компьютеру через USB или RS-232 интерфейс, а ещё при помощи этих портов можно загрузить в МИТ 8.03 калибровочные характеристики используемых термоэлектрических преобразователей и программу работы, а также считывать результаты измерений.

Ещё одним достоинством использования данного прибора является то, что применяя МИТ 8.03, мы получим возможность поверки одновременно до 6 термопар. С помощью данного прибора мы измеряем термо ЭДС термопары, переведенный в температуру для наглядности. Согласно руководству по эксплуатации МИТ 8.03 на 7 канале измеряется компенсация холодного спая, а на 8 устанавливается закоротка. Остальные каналы используют для измерений. Пример измерения представлен на рисунках 2 и 3.

Ещё одной причиной для применения именно МИТ 8.03 может быть его наличие в государственном реестре, а это в свою очередь гарантирует нам, что прибор сохранит свои характеристики в течении всего поверочного периода. Так же, из-за наличия 6 каналов измерения, мы исключаем переподключение, что существенно сокращает время поверки.

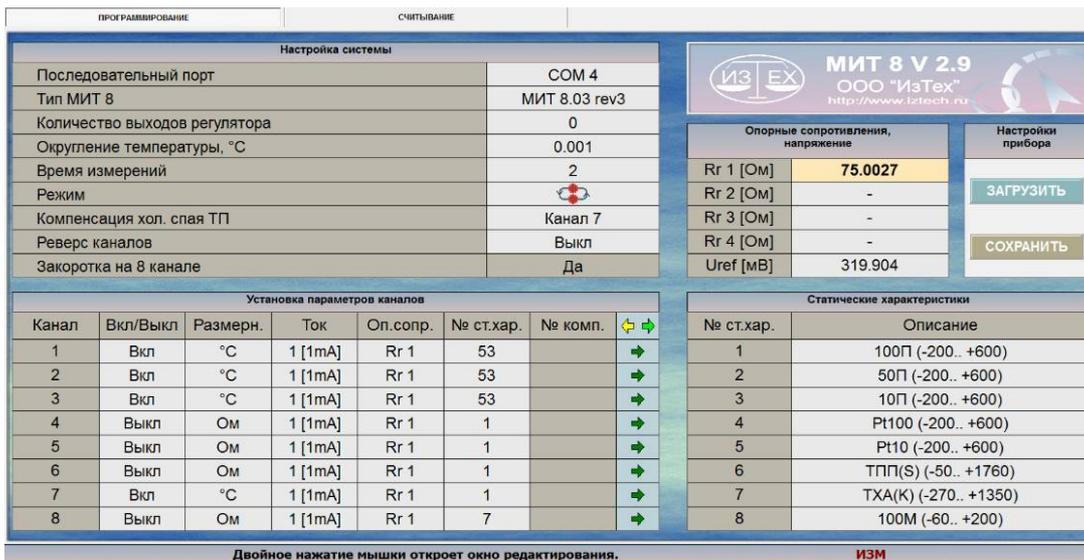


Рис. 2. Программирование МИТ 8.03. (для двух термопар одновременно)

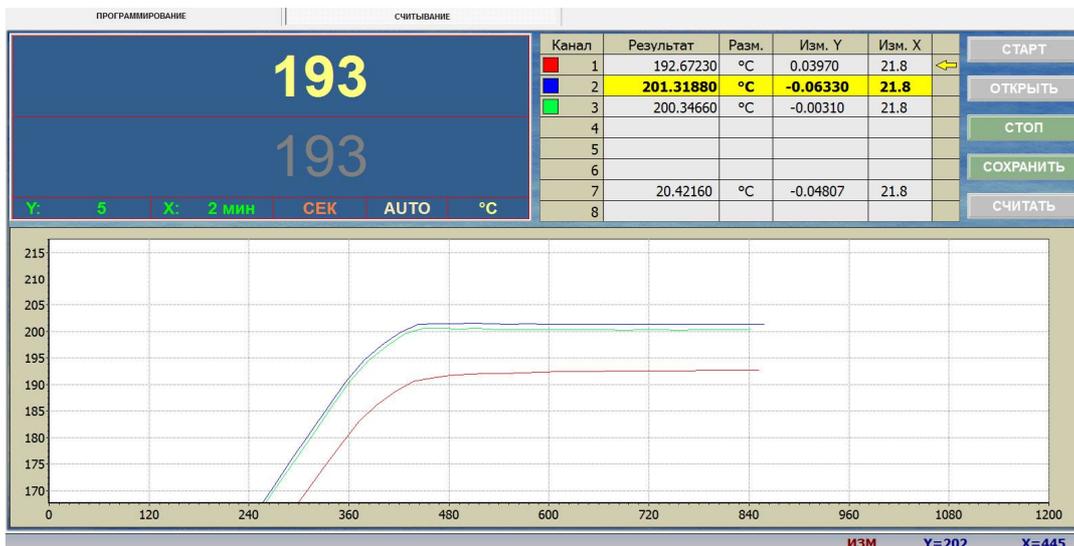


Рис. 3. Диаграмма изменения температуры МИТ 8.03. (для двух термопар одновременно)

Дождавшись изменения по Y менее $\pm 0,1$ °C, можно считать значения достоверными. Согласно рисунку 3 погрешность в диапазоне данной температуры 1,5°С. На диаграмме видно, что значения термопары (ось Y), подключенной к первому каналу отличаются от показаний эталона (ПТС-10М), подключенного к третьему каналу, на 7,674 °C. То есть работать с ней дальше не имеет смысла, на нее оформляется извещение о непригодности. Далее работаем только с одним преобразователем термоэлектрическим (канал 2).

Значения сохраняются с помощью клавиши «СОХРАНИТЬ» в файл типа (.xls). Согласно методике, повторяем данную процедуру 4 раза на температурах соответствующих НСХ термопары.

Подытожим всё выше перечисленное. Данный метод является довольно простым и удобным в своём применении так же применение МИТ 8.03 и автоматизированной программы поверки термоэлектрических преобразователей, позволило нам за 2 часа провести поверку шести термоэлектрических преобразователей.

1. Руководство по эксплуатации РЭ 4211-102-56835627-10: Измерители температуры многоканальные прецизионные МИТ 8, Москва 2010.

УДК 621.3.082.4: 621.3.082.5; ГРНТИ 90.03.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

С.Г. Гуржин, В.Л. Нгуен, А.В. Шуляков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gurzhin@mail.ru

Аннотация. Рассматривается метрологическая установка для исследования действительной функции преобразования бесконтактных датчиков перемещения на основе ультразвуковой и лазерной локации.

Ключевые слова: мера линейного перемещения, функция преобразования, виртуальный прибор, погрешность измерения, ультразвуковой датчик, лазерный триангуляционный датчик.

RESEARCH OF THE REAL FUNCTION OF CONVERSION OF CONTACTLESS DISPLACEMENT SENSORS

S.G. Gurzhin, V.L. Nguyen, A.V. Shulyakov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, gurzhin@mail.ru

The summary. A metrological setup is considered for studying the real conversion function of contactless displacement sensors based on ultrasonic and laser location.

Keywords: linear displacement measure, transformation function, virtual instrument (VP), measurement error, ultrasonic sensor, laser triangulation sensor.

Среди методов дальнейшего повышения эффективности общей магнитотерапии следует выделить те, которые позволяют производить мониторинг функционального состояния пациента во время сеанса лечения и адаптацию магнитного воздействия в реальном масштабе времени к биоритмам конкретного пациента или их синхронизацию [1,2].

Для реализации этих методов ранее было предложено [3,4] интегрировать в системы комплексной магнитотерапии измерительно-диагностические каналы с бесконтактными датчиками регистрации жизненно важных процессов человека сердцебиения и дыхания. В результате теоретических исследований определены два типа датчиков, пригодных для работы в условиях действия динамических электромагнитных полей, основанные на различных физических эффектах, носителях информации, принципах измерений и измеряемых параметрах. Выбор сделан в пользу ультразвукового и лазерного датчиков.

В качестве ультразвукового датчика расстояния рассматривается дальномер эхолокации – модуль HC-SR04, состоящий из ультразвукового излучателя, приемника и микросхем управления, который широко используется в робототехнике и системах мониторинга сложных инженерных объектов [5]. В качестве лазерного датчика расстояния рассматривается оптический интегральный модуль GP2Y0A21YK0F компании Sharp – позиционно-чувствительный датчик (Position-Sensitive Detector, PSD) или инфракрасный (IR) дальномер, принцип действия которого основан на триангуляционном методе измерений [6].



Рис. 1. Ультразвуковой (а) и лазерный (б) дальномеры

В таблице 1 приведены технические характеристики обоих датчиков. По многим параметрам датчики в основном отвечают требованиям применения их в комплексной магнитотерапии. Однако, остается неопределенность в вопросах возможности работы датчиков в условиях, приближенных к реальным, знания действительной функции преобразования (ФП) датчиков, их фактической точности и разрешающей способности.

Таблица 1. Характеристики ультразвукового HC-SR04 и лазерного GP2Y0A21YK0F датчиков

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Напряжение питания, В	5	Напряжение питания, В	4,5–5,5
Ток потребления, мА	15	Ток потребления, мА	30–40
Диапазон измерения, м	0,02–4	Диапазон измерения, м	0,1–0,8
Эффективный угол обзора, градус	<15	Эффективный угол обзора, градус	<30
Частота ультразвукового излучения, кГц	40	Частота обновлений, Гц	25
Разрешение датчика, см	0,3	Время отклика, мс	38±10
Длительность сканирующего сигнала, мкс	10	Размах выходного напряжения, В	1,9
Габаритные размеры, мм	45x20x15	Габаритные размеры, мм	29,5x13x13,5
Вес, г	8,5	Вес, г	3,5

Чтобы практически убедиться в рабочих характеристиках датчиков, разработана и реализована метрологическая установка на базе персонального компьютера (ПК) и виртуальных приборов (ВП) в среде графического программирования LabVIEW. В качестве меры линейного перемещения объекта испытаний предлагается использовать систему линейного перемещения каретки для позиционирования лазерной головки с помощью мини шагового двигателя (ШД) компьютерного CD-ROM.

На рисунке 2 представлена структурная схема метрологической установки для определения действительной ФП ультразвукового и лазерного дальномеров. В ее состав входят: ПК с платой системы сбора данных (ССД) компании National Instruments NI PCIe-6321 и пакетом графического программирования LabVIEW, ВП лазерного датчика (ЛД), ВП ультразвукового датчика (УЗД), ВП построения градуировочной характеристики (ГХ), ВП меры линейного перемещения, коннектор NI BNC-2120, ЛД – GP2Y0A021YK0F, УЗД – HC-SR04, драйвер ШД – DRV8825, ШД – SPS-15RF-172FH, линейный привод с кареткой, отражающий экран.

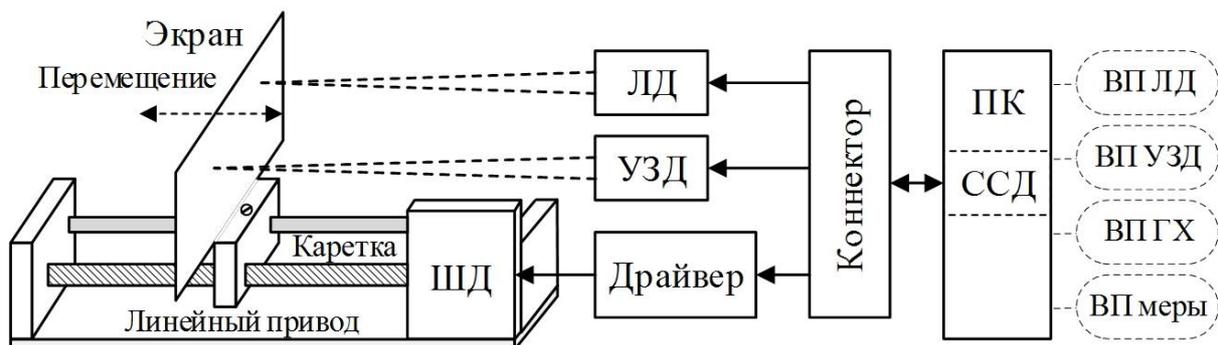


Рис. 2. Структура метрологической установки на базе ПК

Основными элементами структуры установки являются средства формирования меры линейного перемещения и управления ее параметрами. К ним относятся: ПК с платой ССД, ВП меры, коннектор, драйвер, ШД, линейный привод, каретка и экран.

На рисунке 3 показана лицевая панель ВП меры линейного перемещения. С помощью ВП меры производится задание параметров линейного перемещения: «Амплитуда перемещения экрана» – предельное значение расстояния (мм), на которое должен перемещаться эк-

ран, «Скорость вращения ШД» – или соответственно скорость перемещения экрана, «Выбор шага поворота ШД» – значение шага поворота ШД (град.) или соответственно шага перемещения экрана (мм), «Закон перемещения экрана» – функция изменения перемещения экрана во времени. Все названные параметры и их значения визуально представляются на лицевой панели ВП меры не только в виде задаваемых статичных цифровых значений, но и в виде осциллограммы. На осциллограмме наглядно и с высокой точностью непрерывно отображается закон изменения перемещения экрана (периодическая функция) во всем динамическом диапазоне с указанием дискретных «Номеров отсчетов» по оси X и им соответствующих цифровых значений «Амплитуды (мм)» перемещения экрана по оси Y .

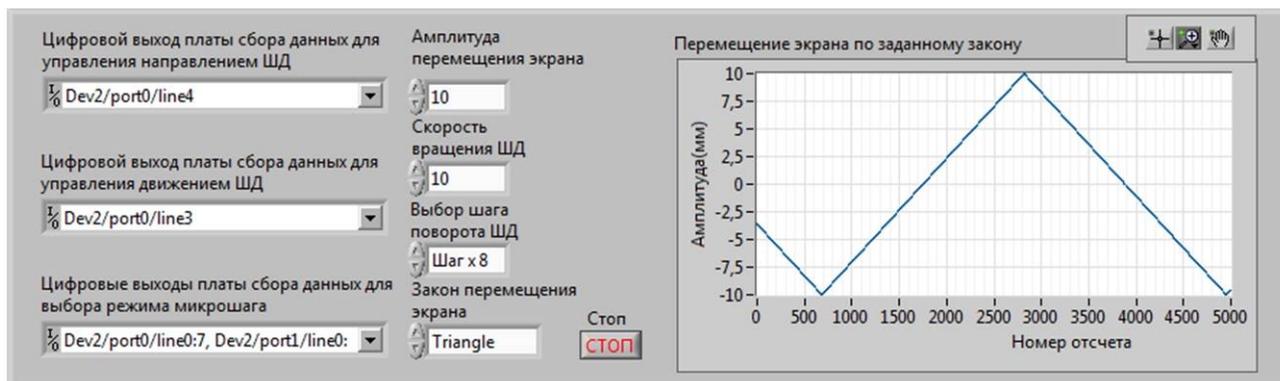


Рис. 3. Лицевая панель ВП меры линейного перемещения

По сути, предложенная реализация меры линейного перемещения является многоэтапным измерительным преобразователем, в котором точно заданная ВП меры последовательность цифровых значений отсчетов (кодов) сначала преобразуется ССД в аналоговые электрические сигналы, затем преобразуется ШД в механическую величину – угол поворота вала ШД, а далее в линейное перемещение экрана с помощью привода и каретки.

К достоинствам ВП меры можно отнести высокий уровень автоматизации воспроизведения значений перемещения, гибкость и легкость в управлении параметрами, наглядность и удобство интерфейса пользователя, многозначность задания меры в широком диапазоне, высокую точность и разрешающую способность.

Используемый в установке ШД с двумя статорными обмотками управления (биполярный) имеет шаг (угол) поворота ротора 18 градусов. При одном полном обороте ротора происходит перемещение каретки и экрана на 2 мм, т.е. один шаг соответствует перемещению на 0,1 мм. Для повышения дискретности перемещения применен микрошаговый режим управления ШД или режим деления шага. Такой способ дает возможность фиксировать вал двигателя в промежуточных положениях между шагами. Количество таких положений задается настройками драйвера: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 [7,8]. В результате, с помощью управления драйвером ВП меры можно перемещать экран в режиме 1/32 на минимальное расстояние примерно равное 0,003 мм. Таким образом, дробление шага позволяет повысить разрешающую способность, значительно снизить вибрации и шум ШД, а также избежать резонанса в нем.

Поскольку оба датчика локационные (акустический и лазерный), т.е. имеющие в своем составе излучатель ультразвуковых или электромагнитных колебаний, направленный в сторону объекта перемещения, и приемник отраженных колебаний, то предусмотрены средства управления ими, регистрации ответных сигналов и преобразования сигналов в код. Данные функции в установке выполняют ВП УЗД и ЛД, а также ССД совместно с коннектором.

Датчики отличаются своим принципом действия и методом измерения перемещения. В УЗД измеряется временной интервал Δt между моментом окончания импульсов излучения

и моментом прихода отраженной волны или эхо-сигнала, а искомая величина расстояния D определяется из выражения

$$D = \frac{V \Delta t}{2},$$

где V – скорость ультразвука в воздухе. Деление на 2 обусловлено прохождением ультразвуковой волны двойного расстояния от излучателя до объекта и от объекта до приемника датчика за интервал времени Δt .

В ЛД измеряется непосредственно расстояние D до объекта путем определения положения световой метки на линейке позиционно-чувствительной фото матрицы (отклонения метки в пикселах от центра фото матрицы), угла θ , образованного нормалью к плоскости матрицы и отраженным от объекта лазерным лучом, а также известной и фиксированной величины расстояния B от излучателя до приемника в датчике

$$D = \frac{B}{\operatorname{tg} \theta}.$$

Приведенное выражение является одним из тригонометрических уравнений, связывающих геометрические параметры в прямоугольном треугольнике. Значение угла вычисляется встроенным в датчик микроконтроллером на основании данных о количестве пикселей в фото матрице, номере пикселя со световой меткой и соответствия количества радиан одному пикселю.

Методика построения ГХ датчиков производилось с учетом рекомендаций [9] с помощью ВП ГХ, позволяющего максимально автоматизировать процесс измерения, обработки результатов, отображения экспериментальных зависимостей входных и выходных величин и оценивания погрешностей.

На рисунке 4 представлен один из элементов лицевой панели интерфейса ВП ГХ в виде окна осциллограммы ГХ, полученной в процессе измерения расстояний от ЛД до перемещающегося по заданному линейному закону экрана в реальном масштабе времени.

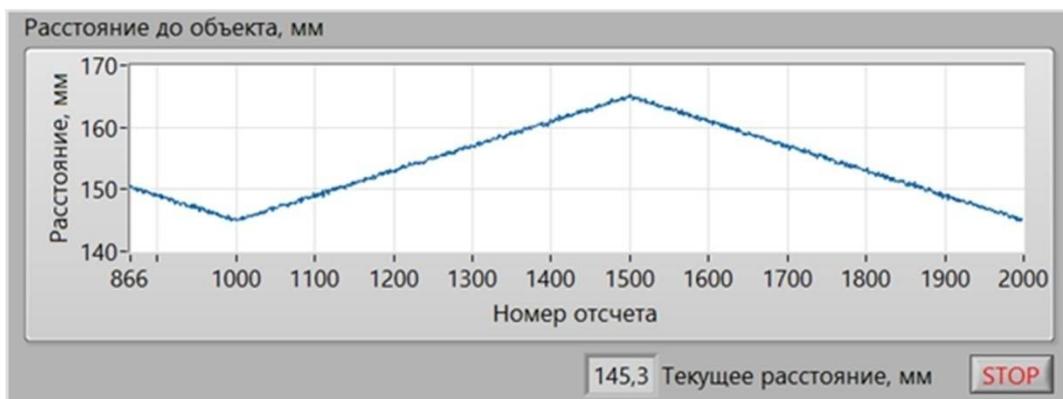


Рис. 4. Элемент лицевой панели ВП ГХ

Таким образом, с помощью стандартных аппаратных средств в виде ПК, ССД, коннектора, датчиков, драйвера ШД, линейного привода CD ROM и оригинальных программных средств в виде ВП в среде LabVIEW, создана экспериментальная метрологическая установка для исследования действительных ФП бесконтактных датчиков регистрации перемещения объекта.

Библиографический список

1. Илларионов В.Е. Магнитотерапия. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 136 с.
2. Магнитотерапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах: клинические рекомендации / – М., 2015. – 47 с.
3. Гуржин С.Г., Прошин Е.М., Путилин Е.О., Шуляков А.В. Радио и оптико-локационный контроль функционального состояния пациента в хрономагнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. №7. С. 18-24.
4. Прошин Е.М., Путилин Е.О. Бесконтактный мониторинг дыхания и сердцебиения пациента в комплексной хрономагнитотерапии на основе ультразвуковых биений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. №7. С. 19-27.
5. Техническая спецификация на ультразвуковой дальномер HC-SR04. – 3 с. URL: https://supereyes.ru/img/instructions/HC_SR04_datasheet.pdf (дата обращения: 09.02.2021).
6. Техническая спецификация на лазерный дальномер GP2Y0A21YK0F компании SHARP. – 9 с. URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Infrared/gp2y0a02yk_e.pdf (дата обращения: 09.02.2021).
7. Принципы позиционирования для контроллеров шаговых двигателей. Руководство MA 1267-A005 EN. Компания «Phytron GmbH». 2012. – 36 с. URL: <http://www.microprivod.ru/assets/files/pdf/catalogue/phytron/phyMotion/Positioning-ru.pdf> (дата обращения: 09.02.2021).
8. Техническая спецификация на драйвер шагового двигателя DRV8825 компании Texas Instruments. – 33 с. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf> (дата обращения: 09.02.2021).
9. МИ 2175-91 ГСИ. Градуировочные характеристики средств измерений. Методы построения. Оценивание погрешностей. – С.Пб.: ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» 1997. – 55 с.

УДК 629.7.054.44; ГРНТИ 59.14

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ИОННЫХ МЕТОК В ИОННО-МЕТОЧНОМ АНЕМОМЕТРЕ

И.А. Резунов, Ф.А. Ганеев

*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, ivano998@live.ru*

Аннотация. В данной работе проводится сравнительный анализ различных схем генераторов высоковольтных импульсов для генератора метки в ионно-меточном измерителе воздушной скорости.

Ключевые слова: генератор высоковольтных импульсов, генератор ионов, ионно-меточный измеритель.

ENERGY EFFICIENT METHODS OF GENERATION OF IONIC TAGS IN THE ION-TAGGER ANEMOMETER

I.A. Rezunov, F.A. Ganeev

*Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev,
Russia, Kazan, ivano998@live.ru*

The summary. In this work, a comparative analysis of various circuits of high-voltage pulse generators for a tag generator in an ion-tag airspeed meter is carried out.

Keywords: high-voltage pulse generator, ion generator, ion-tag meter.

Постоянно развивающаяся электронная база позволяет создавать в наше время измерительные устройства, во много раз преобладающими характеристиками устаревших, но все еще используемых устройств. Все большим спросом начинают пользоваться миниатюрные автономные устройства с беспроводной передачей данных. Для таких устройств серьезным ограничением является электрическая емкость питающих элементов. Стоит отметить, для увеличения времени автономной работы устройства можно выделить два направления: увеличения электрической емкости либо уменьшение энергопотребления. В первом случае одновременно увеличивается и габариты, и вес устройства, во втором же – сложность разработки устройства.

Большинство измерителей скорости воздушного потока можно разделить на тахометрические (крыльчатые) измерители, термоанемометры, манометрические анемометры и ультразвуковые анемометры.

В плане энергоэффективности тахометрический измеритель лишен недостатков, при измерении высоких скоростей и отсутствии требований к высокой точности такой измеритель может питаться непосредственно от энергии воздушного потока. Тем не менее, такой подход сильно ограничивает использование данного измерителя. Также стоит отметить наличие чувствительного подвижного элемента – крыльчатки, которая подвержена загрязнению и износу, что приводит к нарушению зависимости между скоростью потока и скоростью вращения крыльчатки и, соответственно, увеличению погрешности измерения.

Манометрический метод также можно отнести к энергоэффективным измерителям, но из его недостатков стоит отметить чувствительность к засорению, а также малую чувствительность при малых значениях скорости потока.

Основным недостатком энергоэффективности термоанемометра является непосредственно метод работы анемометра. Для получения сведений о скорости необходимо нагревать чувствительный элемент. Для уменьшения потребления данного измерителя необходимо уменьшать толщину чувствительного элемента, что сильно усложняет технологический процесс изготовления данного измерителя. Также стоит отметить необходимость тарировки каждого чувствительного элемента и его чувствительность к загрязнению.

Ультразвуковой измеритель скорости потока также потребляет относительно много энергии ввиду своего метода измерения, в основе которого лежит генерация пучков ультразвуковых волн, что в свою очередь требует большого количества энергии [1].

В качестве альтернативы можно представить ионно-меточный измеритель скорости воздушного потока. В данном измерителе используется кинематический метод определения скорости потока. Скорость потока определяется путем определения времени прохождения униполярной ионной метки на определенное расстояние. Метка имеет такие же газодинамические характеристики и поток, что способствует полному соответствию движения метки и потока [2].

Основным потребителем данного измерителя является генератор меток, в котором необходимо генерировать высоковольтный (10 – 20 кВ) импульс.

Типовая схема такого генератора приведена на рисунке 1.

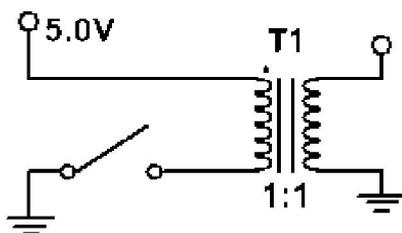


Рис. 1. Типовая схема генератора высоковольтных импульсов

Здесь основными элементами являются ключ и трансформатор. В качестве ключа могут быть использованы транзистор, тиристор или динистор.

В случае, если в качестве ключа используется динистор, генератор является неуправляемым по частоте и времени открытия ключа. Эти характеристики настраиваются только элементами схемы. Рассматривать данную схему в качестве энергоэффективной не имеет смысла.

Если в качестве ключа будет использован тиристор, схема обретет следующий вид:

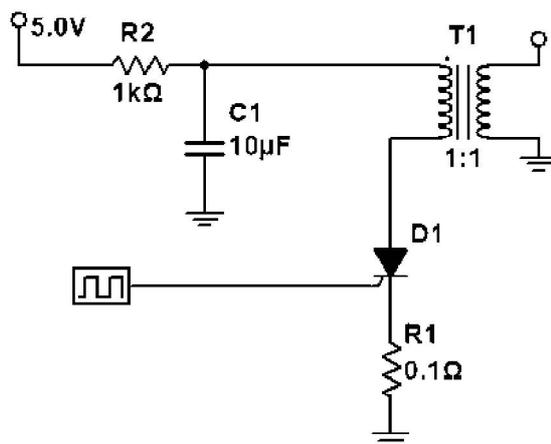


Рис. 2. Тиристорная схема генератора высоковольтных импульсов

При использовании данной схемы появляется возможность изменять частоту генерации. Время открывания изменяется только параметрами схемы. Стоит отметить, что в данном генераторе трансформатор можно подключить только в прямом включении, так как обратное включение возможно только при резком отключении подачи тока через трансформатор, а тиристор закрывается только при падении тока через него. Из-за этого максимальное напряжение на выходе данного генератора будет определяться, как:

$$U_{max}^{вых} = U_{max}^{вх} * k .$$

Для эксперимента была собрана схема по рисунку 2. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.

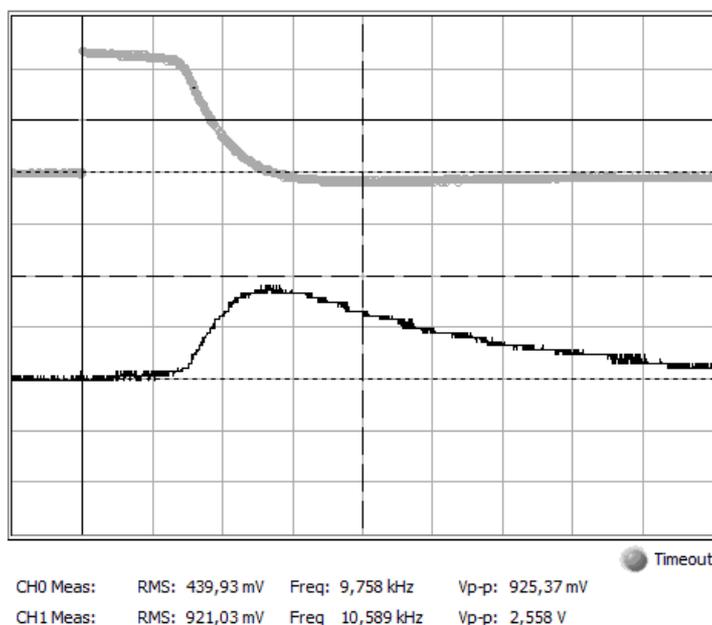


Рис. 3. Результат испытания тиристорной схемы

Верхний график – напряжение на выходе, нижний – ток через первичную обмотку трансформатора. Переходный процесс длится слишком долго, максимальное напряжение на выходе примерно равно напряжению на входе (5В на входе и 2.5В на выходе). Также стоит отметить, что в тиристорной схеме необходимо подбирать конденсатор для времени откры-

вания, для того чтобы трансформатор не уходил в насыщение, что и произошло в эксперименте.

При аккумуляторном/батарейном питании схемы напряжение питания будет равняться примерно 3В (питание от двух батареек по 1.5В), следовательно коэффициент трансформации трансформатора необходим более 3000, что сильно влияет на габариты трансформатора и сильно сужает поиск готовых. Либо появляется необходимость использования повышающих преобразователей, которые при малом потреблении дают малый КПД, за счет чего сильно увеличивают потребление схемы.

При использовании в схеме в качестве ключа транзистора появляется возможность регулировать как частоту генерации, так и продолжительность импульсов. В качестве силового транзистора целесообразнее применять полевой транзистор, так как время его закрытия на порядок ниже биполярного, что позволяет использовать трансформатор в обратном включении. В пользу биполярных можно отметить малое напряжение открытия, но развитие полевых транзисторов привело к появлению полевых транзисторов с напряжением открытия от 2 вольт на затворе. Схема приведена на рисунке 4.

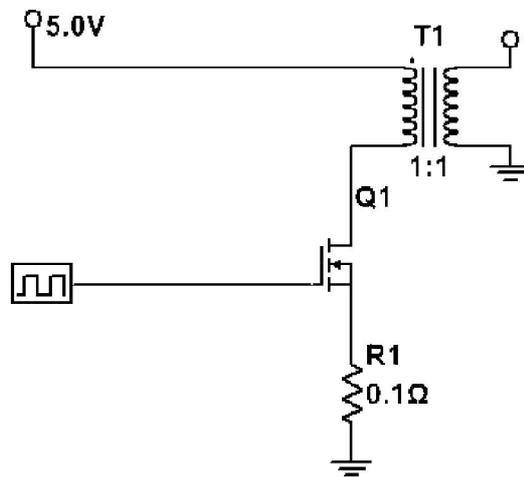


Рис. 4. Транзисторная схема генератора

Для эксперимента была собрана схема по рисунку 4. Результаты эксперимента приведены на рисунке 5.

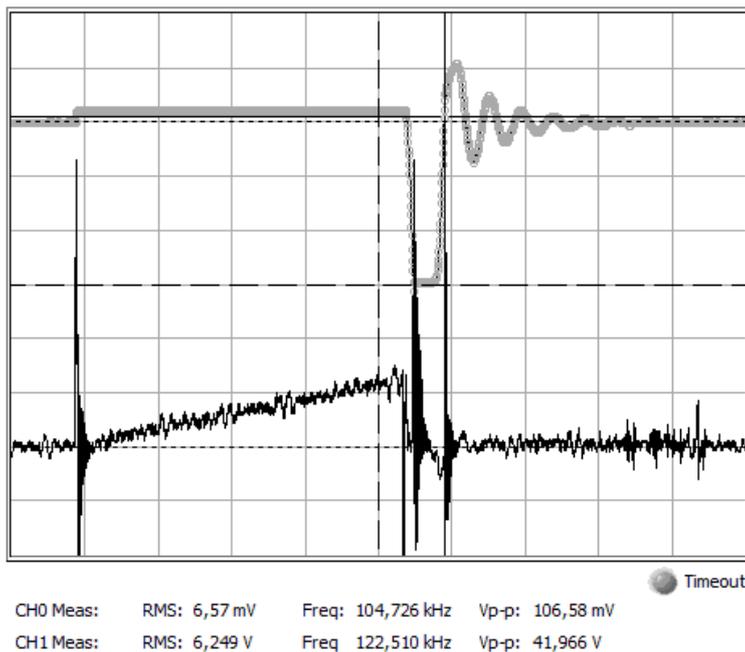


Рис. 5. Результат испытания транзисторной схемы

Верхний график – напряжение на выходе, нижний – ток через первичную обмотку трансформатора. Из эксперимента видно, что напряжение обратного хода на порядок превышает напряжение прямого хода (30В против 2.5В). Стоит отметить, что напряжение и ток обратного хода так же зависят от времени открывания транзистора. При малом напряжении питания насыщение трансформатора приходит довольно быстро, и для того, чтобы получить метку с достаточным зарядом, можно подавать несколько коротких импульсов, тем самым увеличивая энергию метки. Испытания с высоковольтным трансформатором показало, что расход на один разряд, выходное напряжение которого приблизительно равно 15кВ, примерно равно 30 мкДж, что составляет около 100 мкА при 10 Гц.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование современной электронной базы и осознанное применение технологий может существенно сократить потребление измерителей, что свою очередь увеличивает автономную работу прибора.

Библиографический список

1. Трохан А.М. Гидроаэрофизические измерения. – М.: Издательства стандартов, 1981. - 336 с.
2. Патент РФ на полезную модель №166715, МПК G01P 5/18, Ионно-меточный измеритель скорости воздушного потока/ Ганеев Ф.А., Ганеев Т.Ф., Миннебаев М.Р., Уразбахтин И.Р. Заявл. 04.07.2016. Оpubл. 10.12.2016. –Бюл.№34.

УДК 615.47; ГРНТИ 76.13.19

РАЗРАБОТКА КАНАЛА КОНТРОЛЯ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

А.Р. Габдрахманова, М.М. Тюрина

*Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева,
Российская Федерация, Казань, alsu-g15@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается метод реабилитации органов системы дыхания на основе магнитотерапии. Рассмотрены особенности проведения магнитотерапии. Обоснована необходимость введения в систему дополнительного канала контроля величины магнитной индукции, реализованного на датчике Холла, предложен вариант построения канала.

Ключевые слова: пневмония, реабилитация, измеритель величины магнитной индукции, датчик Холла, реабилитация, пневмония, COVID-19, магнитотерапия.

DEVELOPMENT OF THE CONTROL CHANNEL VALUES OF MAGNETIC INDUCTION

A.R. Gabdrakhmanova, M.M. Tyurina

*National Research Technical University named after A. N. Tupolev,
Russia, Kazan, alsu-g15@mail.ru*

The summary. The paper considers a method of rehabilitation of the respiratory system based on magnetic therapy. The features of the magnetic therapy are considered. Substantiating the need to introduce an additional channel for monitoring the magnitude of magnetic induction, implemented on the Hall sensor, into the system, a variant of constructing the channel is proposed.

Keywords: pneumonia, rehabilitation, magnetic induction meter, Hall sensor, rehabilitation, pneumonia, COVID-19, magnetotherapy.

Новый вид коронавирусной инфекции поставил перед специалистами здравоохранения задачи, связанные с быстрой диагностикой и оказанием медицинской помощи больным. Пациенты с данным диагнозом, которые перенесли длительную искусственную вентиляцию легких, нуждаются в раннем начале и длительном проведении многокомпонентной реабилитации. В настоящее время специалисты интенсивно изучают клинические и эпидемиологические особенности заболевания, разрабатывают новые средства его профилактики и лечения. Самым распространенным клиническим проявлением нового варианта коронавирусной инфекции является двусторонняя пневмония. Пневмония – это острое инфекционное (преимущественно бактериальное) заболевание, которое характеризуется очаговым поражением респираторных отделов легких с обязательным наличием внутриальвеолярной экссудации [1]. Этиология, патогенез и морфологическая характеристика данной группы заболеваний различны. Клинико-патологические проявления пневмонии зависят от возбудителя, иммунного статуса организма, морфологических особенностей воспалительной реакции и объема поражения легочной ткани. При этом наблюдается полнокровие капилляров, возникает повреждение эндотелия, что приводит к повышению проницаемости сосудистой стенки, быстрому накоплению эритроцитов, нейтрофилов, фибрина в альвеолах. В некоторых случаях развивается некроз ткани с формированием абсцесса, ограниченного грануляционной тканью и макрофагами.

Медикаментозное лечебное воздействие часто приводит к побочным эффектам и аллергическим реакциям, поэтому в отечественной клинической практике все чаще применяют физиотерапию, и, в частности, магнитотерапию. Магнитотерапия – группа методов физиотерапии, основывающихся на применении магнитного поля. Она заключается в применении в лечебных и профилактических целях переменных и постоянных импульсных магнитных полей низкой частоты, а также постоянных непрерывных магнитных полей различной мощности и конфигурации. Ткань организма под воздействием магнитных полей не намагничивается, но некоторые ее составляющие (вода, форменные элементы крови) насыщаются электрическими токами, за счет чего их физико-химические свойства начинают меняться. В ос-

нове физиологического и лечебного действия магнитных полей лежит эффект наведения индукционных токов в токопроводящих средах организма, а также магнитомеханическое воздействие на биоэлектрические процессы, преимущественно в нервных и мышечных клетках [2].

Рассматриваемая терапия после пневмонии поможет до конца подавить воспалительный процесс и избежать хронических проблем с легкими, сыграет огромную роль в рассасывании фиброзных образований в лёгочной ткани [3]. Благодаря ей снижается проявление симптомов – уменьшается отёк слизистой оболочки, улучшается дыхательная ёмкость лёгких, облегчается отхождение мокроты, стимулируется иммунная система для борьбы с инфекцией и усиливается действие антибиотиков. В целом срок восстановления сокращается, поэтому важно правильно выбрать параметры магнитного поля и дозировку воздействия.

Магнитные поля по виду разделяются на переменные (высоко- или низкочастотные) или постоянные. Оба вида магнитных полей используются и в непрерывном, и в импульсном режимах. Импульсы могут быть различной формы, частоты и длительности.

Необходимо помнить о том, что характер и интенсивность действия магнитного поля зависят от биотропных параметров магнитного поля, а также от индивидуальных особенностей пациента. Отклонение от этих параметров может привести к увеличению периода реабилитации, нежелательным последствиям и даже ухудшению состояния пациента. Следовательно, устройства для реабилитации в обязательном порядке должны иметь встроенный канал контроля режимных параметров магнитного поля. Так, создание нового поколения технических средств, предназначенных для успешного восстановления пациентов, за счет повышения надежности контроля процесса магнитотерапевтического воздействия, достигается с помощью введения канала контроля величины магнитной индукции.

Преобразование информативного сигнала канала контроля величины магнитной индукции можно представить в виде функциональной схемы, представленной на рисунке 1.



Рис. 1. Функциональная схема канала контроля параметров магнитного поля

Канал контроля величины магнитной индукции включает в себя датчик Холла, с помощью которого контролируются параметры магнитного поля. Сигнал усиливается для того, чтобы согласовать уровень сигнала для восприятия аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), который встроен в микроконтроллер (МК). Для получения информации в цифровом виде совмещают две операции: дискретизацию и квантование, т.е. в дискретные моменты времени производят квантование по уровню. Совокупность значений числовых эквивалентов в дискретные моменты времени называется цифровым представлением непрерывной величины. АЦП предназначен для преобразования непрерывной величины в числовой эквивалент. Числовой эквивалент подается на устройство сбора и обработки информации, то есть на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) в виде кода.

В качестве чувствительного элемента измерения величины магнитного поля используется датчик Холла. Датчики магнитного поля, которые используют эффект Холла, являются активными, так как они сами вырабатывают измерительное напряжение, связанное с магнитным полем. При протекании тока через датчик Холла и при воздействии на него магнитного поля, перпендикулярного плоскости датчика, возникает напряжение Холла, перпендикулярное протекающему току и пропорциональное магнитному потоку [4]. Датчик Холла

используется как готовый модуль, в общем случае состоящий из полупроводниковой прямоугольной пластинки, к которой присоединены четыре электрических вывода.

Датчики Холла, например, компании Honeywell, в общем, случае представляют собой трехвыводные интегральные приборы, из которых два вывода питания, а один – аналоговый или цифровой выход. Эти датчики состоят из полупроводникового элемента Холла, дифференциального усилителя, стабилизатора питания и выходного каскада, построенного на усилителе на биполярном транзисторе, который включен по схеме с открытым коллектором или по двухтактной схеме. Напряжение на выходе этих датчиков имеет линейную зависимость от величины вектора магнитной индукции. Корпус этих приборов представляет возможность поверхностного или сквозного монтажа.

За пределами рабочей области датчик входит в режим насыщения. Если внешнее магнитное поле отсутствует, выходное напряжение будет равно половине напряжения питания. Чувствительность и размах напряжения на выходе также линейно зависят от напряжения источника питания. Такие датчики имеют высокую нагрузочную способность, линейную характеристику преобразования в рабочем диапазоне магнитных полей, широкий диапазон рабочих температур и питающих напряжений, долговременную стабильность параметров и малый ток потребления. Кроме того, выходной каскад датчика Honeywell выполнен по ратометрической архитектуре, что упрощает его применение за счет исключения необходимости применения прецизионного источника опорного напряжения. Это означает, что у этого датчика напряжение равно половине напряжения питания. Кроме того, он способен измерять как положительные, так и отрицательные значения магнитной индукции [5].

Используя результаты структурного синтеза, разработана принципиальная электрическая схема канала контроля величины магнитной индукции. Схема включает в себя цепь постоянного источника напряжения, линейный датчик Холла типа SS496A выше представленной компании, цепь преобразования сигнала, которая построена на основе операционного усилителя на микросхеме КР1435УД4. В качестве стабильного источника напряжения используется линейный стабилизатор напряжения на микросхемах UA7805 для положительных значений и UA7905 – для отрицательных. Перечисленные микросхемы строятся на основе биполярных или полевых транзисторов, которые непрерывно работают в активном режиме. На кристалле микросхемы линейного стабилизатора устроен не только регулирующий транзистор, но и схема управления им. Далее сигнал с линейного регулятора передается на датчик Холла, который, в свою очередь, используется как готовый модуль [6]. Значение сигнала на выходе датчика не соответствует сигналу, который может принять в дальнейшем АЦП, его необходимо преобразовать, поэтому с его выхода сигнал передается на цепь преобразования.

Датчик необходимо установить на внешний корпус магнитоиндуктора, чтобы не допустить возникновения дополнительных погрешностей, связанных с интенсивностью магнитного излучения, поскольку на расстоянии 3 см магнитное поле может уменьшиться почти в 20 раз. При измерении максимального значения магнитного поля датчик необходимо ориентировать правильно. Он измеряет перпендикулярную (к плоскости датчика) составляющую вектора магнитного поля. Магнитоиндуктор создает магнитное поле, элемент Холла принимает его, создает напряжение, которое усиливается усилителем, и через импульсный провод сигнал подается на дальнейшую обработку.

Таким образом, был представлен вариант построения канала контроля величины магнитной индукции. Введение этого канала в магнитотерапевтическую систему реабилитации пациентов, перенесших пневмонию различной этиологии, позволит осуществлять контроль параметров магнитного поля во время проведения терапевтических процедур, что даст возможность своевременно корректировать процесс реабилитации, увеличить эффективность, соответственно, уменьшить ее длительность.

Библиографический список

1. Чуланин А.Г. Внебольничная пневмония у взрослых: практические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике // Под ред. акад. РАМН Чучалина А. Г. – М., 2010 – С. 15-16.
2. Беркутов А.М., Жулев В.И., Кирьяков О.В. и др. Магнитотерапия как высокая лечебно-восстановительная технология // Образование инвалидов: Межвуз. сб. научных трудов / Под ред. Л. А. Саркисяна. М.: МИИ, 1997. – С. 140-147.
3. Синопальников А.И. Респираторная медицина / Под ред. А.Г. Чучалина. В 2-х т. М., 2007, т. 1. – С. 474–509.
4. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. Пер. с нем. М.А. Хацериова. – Москва: Мир, 1989. С. 126-131.
5. Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Обоснование разработки магнитотерапевтической системы для реабилитации после перенесенной пневмонии различной этиологии // Наука молодых - будущее России: сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых в 4-х томах / Юго-Зап. гос. ун-т, - Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2020, т. 2. - 498 с. С. 41-44.
6. Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Канал контроля параметров магнитного поля системы для постинсультной реабилитации // «Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2020» [текст]: сб. тр. Шмеждународ. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2020; Рязань. – 238 с., С. 60-63.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О IV МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2021».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	5
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	5
Ушенкин В.А., Соловьев А.В. Анализ пригодности поляриметрических декомпозиций космических радиолокационных изображений для обнаружения высотной растительности.....	5
Куликов Н.В. Обзор объектов графического языка IDEF5.....	10
Макарова Н.В., Таганов А.И., Цыцына М.И. Оценивание качества и функциональной надежности программных средств информационных систем.....	15
Ларионов С.М., Макаренко А.А. Сегментация гиперспектральных аэрокосмических данных дистанционного зондирования земли на основе оптимизации сепарабельности сегментов.....	19
Фетисов Д.В., Колесенков А.Н. Сравнительный анализ методов субпиксельной обработки повышения качества аэрокосмических снимков.....	24
Еремеев В.А., Князьков П.А. Программный комплекс формирования индексных изображений по данным гиперспектрального зондирования Земли из космоса.....	28
Еремеев В.А., Ларионов С.М., Макаренко А.А. Классификация данных от космических аппаратов гиперспектральной съемки Земли с применением искусственных нейронных сетей.....	35
Кузнецов А.Е., Рыжиков А.С. Алгоритм автоматического формирования абрисов по высокодетальным данным дистанционного зондирования земли.....	38
Егин М.М., Кузнецов А.Е., Пошехонов В.И. Алгоритм блочного уравнивания снимков привязанных по RPC-модели.....	43
Кочергин А.М., Ларюков С.А., Рыжиков А.С. Интеграция в геопортал спутниковых снимков данных от космического аппарата «Landsat-8».....	49
Кузнецов А.Е., Пошехонов В.И., Райков Н.А. Сквозная технология картографирования земной поверхности по данным стереосъемки.....	54
Еремеев В.В., Егошкин Н.А. Оптимизация карт-проекции для нормализованных изображений спутника «Арктика».....	60

Бодров А.О. Применение метода t-SNE для визуализации и кластеризации многомерных данных.....	66
Таганов А.И., Макарова Н.В., Алимов Д.Ф. Методическое обеспечение системного анализа и инжиниринга информационных процессов в области CALS (ИПИ)-технологий.....	70
Бодрова И.В., Симонов Д.И., Бодров О.А. Анализ программных средств автоматической регистрации оптических параметров покрытия объектов.....	73
Поборуева М.С., Бодров О.А. Применение CDMA в спутниковых системах передачи информации.....	78
Лбов Д.И., Бодров О.А. Применение параллельных вычислений при синтезе сложных дискретных сигналов для спутниковых систем связи.....	83
Васильев Е.П., Садовская И.В. Электродинамические и квазистатические методы моделирования волноведущих структур.....	86
Кашеев А.А., Гусев С.И. Оценка текущего состояния запоминающего устройства целевой информации космических аппаратов дистанционного зондирования земли.....	91
Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ».....	95
Пантюхина Е.В. Проблемы автоматической загрузки деталей формы тел вращения с неявной асимметрией традиционными загрузочными устройствами.....	95
Дьякова Э.В. Автоматическая загрузка равноразмерных деталей формы тел вращения с двумя полостями.....	101
Мальцев С.С. Анализ погрешностей и обеспечение заданной точности измерительного канала величины и угла направления набегающего воздушного потока.....	105
Смирнова С.А. Разработка комбинированной системы управления нестационарным многорежимным объектом по выходу в схеме с неявным эталоном.....	109
Миловзоров О.В., Грибов Н.В. К вопросу формирования типовых 3D-моделей деталей типа «вал» для дальнейшей интеграции с САПР-системой.....	116
Грибов Н.В., Захаров М.С., Миловзоров О.В. Редактирование управляющих программ для станков с ЧПУ в системе SIMCO EDIT.....	122
Усман Ф.Д., Соколов М.В. Экспериментальная установка для исследования износа токарного резца акустическим методом.....	129

Меркушкин А.А., Сосулин Ю.А. Построение линейных регрессионных моделей сложных технических объектов.....	133
Карпинович А.Е., Сосулин Ю.А. Построение точных композиционных экспериментальных планов.....	136
Ягоднищен П.В. Информационная поддержка принятия решений при выборе кофемашины.....	140
Белов В.В., Пунегов С.В. Получение вяжущего на основе глиносодержащих минералов.....	146
Ленков М.В., Гамазков Р.С. автоматизированная система дозирования жидкости на основе промышленного датчика расхода «ДРЖИ-25».....	150
Мамонов К.П. Выбор метода морфологической обработки изображения во время оптического контроля качества изделий.....	153
Романов И.Н. Применение GOOGLE APPS для автоматизации вычислений показателей надёжности.....	156
Дятлов Р.Н. Разработка электронного учебного курса по технической дисциплине.....	160
Дятлов Р.Н., Еремин М.М. Распознавание объектов на изображениях с помощью PYTHON.....	163
Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ».....	168
Валова Т. Адаптивный преобразователь в системе впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания.....	168
Спиряева Л.А., Гуржин С.Г. Выбор метода и средств для реализации системы мониторинга и измерения динамических параметров микроциркуляции крови.....	172
Кириянов М.Г. Преимущество калибровки эталонов.....	176
Даровских С.Н., Шоназаров П.М. О возможной причинно-следственной связи вирусного заболевания COVID-19 с электромагнитным загрязнением окружающей среды и основные направления её ослабления.....	179
Ляпин В.Г. Экспериментальная база и информационно-измерительные системы биотехнических комплексов с растительными объектами.....	187

Ляпин В.Г., Самохвалов М.В., Стушкина Н.А., Колмурзина Э.В. Разработка макета информационно-измерительного комплекса для исследования электрофизических характеристик растительных объектов при импульсных электромагнитных воздействиях.....	193
Леонова О.В. Особенности входного контроля печатных плат.....	199
Крюков А.Н. Лабораторный эквивалент солнца.....	203
Сандин М.С., Губарев А.В. Проверка преобразователей термоэлектрических с использованием МИТ 8.03.....	206
Гуржин С.Г., Нгуен В.Л., Шуляков А.В. Исследование действительной функции преобразования бесконтактных датчиков перемещения.....	209
Резунов И.А., Ганеев Ф.А. Энергоэффективные методы генерации ионных меток в ионно-меточном анемометре.....	213
Габдрахманова А.Р., Тюрина М.М. Разработка канала контроля величины магнитной индукции.....	218

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 10 томах

Том 6

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.21. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.
Отпечатано в типографии Book Jet,
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18