

*Журнал Научное обозрение.
Технические науки
зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-57440
ISSN 2500-0799*

*Учредитель, издательство и редакция:
НИИЦ «Академия Естествознания»,
почтовый адрес:
105037, г. Москва, а/я 47*

**Founder, publisher and edition:
SPC Academy of Natural History,
post address:
105037, Moscow, p.o. box 47**

*Подписано в печать 12.03.2019
Дата выхода номера 12.04.2019
Формат 60×90 1/8*

*Типография
НИИЦ «Академия Естествознания»,
410035, г. Саратов,
ул. Мамонтовой, д. 5*

**Signed in print 12.03.2019
Release date 12.04.2019
Format 60×90 8.1**

**Typography
SPC «Academy Of Natural History»
410035, Russia, Saratov,
5 Mamontovoi str.**

*Технический редактор Байгузова Л.М.
Корректор Галенкина ЕС.*

*Тираж 1000 экз.
Распространение по свободной цене
Заказ НО 2019/1
© НИИЦ «Академия Естествознания»*

Журнал «НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ» выходил с 1894 по 1903 год в издательстве П.П. Сойкина. Главным редактором журнала был Михаил Михайлович Филиппов. В журнале публиковались работы Ленина, Плеханова, Циолковского, Менделеева, Бехтерева, Лесгафта и др.

Journal «Scientific Review» published from 1894 to 1903. P.P. Soykin was the publisher. Mikhail Filippov was the Editor in Chief. The journal published works of Lenin, Plekhanov, Tsiolkovsky, Mendeleev, Bekhterev, Lesgaft etc.



М.М. Филиппов (M.M. Philippov)

С 2014 года издание журнала возобновлено
Академией Естествознания

**From 2014 edition of the journal resumed
by Academy of Natural History**

Главный редактор: М.Ю. Ледванов
Editor in Chief: M.Yu. Ledvanov

Редакционная коллегия (**Editorial Board**)

А.Н. Курзанов (**A.N. Kurzanov**)

Н.Ю. Стукова (**N.Yu. Stukova**)

М.Н. Бизенкова (**M.N. Bizenkova**)

Н.Е. Старчикова (**N.E. Starchikova**)

Т.В. Шнуровозова (**T.V. Shnurovozova**)

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ • ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

SCIENTIFIC REVIEW • TECHNICAL SCIENCES

www.science-education.ru

2019 г.



***В журнале представлены научные обзоры,
литературные обзоры диссертаций,
статьи проблемного и научно-практического
характера***

The issue contains scientific reviews, literary dissertation reviews,
problem and practical scientific articles

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ	
<i>Алексанян Г.К., Кучер А.И., Щербаков И.Д., Ланкина Ю.К.</i>	5
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН	
<i>Джимбеева Л.Н., Бембитов Д.Б., Манкаева Г.А., Утнасунова В.О., Джимбеева А.О.</i>	10
НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ	
<i>Иванько А.Ф., Иванько М.А., Бутырская Д.В.</i>	15
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ДАТЧИКОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН	
<i>Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.</i>	22
ДОСТАТОЧНОЕ УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОДНОТИПНЫМИ ПОДСИСТЕМАМИ	
<i>Ильясов Б.Г., Саитова Г.А., Халикова Е.А.</i>	27
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ С ПОДОГРЕВОМ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ТОКОМ ПАУЗЫ	
<i>Крампит М.А., Крампит А.Г.</i>	32
РАЗРАБОТКА ГЛУБОКОВОДНЫХ БУКСИРУЕМЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ ОКЕАНА	
<i>Лискин В.А., Зарецкий А.В., Римский-Корсаков Н.А.</i>	37
ПРОБЛЕМЫ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ БИБЛИОТЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	
<i>Осокин А.С., Прасолова Е.А.</i>	43
НЕЛОКАЛЬНЫЕ ПРЕДМЕТНЫЕ ОБЛАСТИ	
<i>Попов С.В.</i>	49
ТЕОРИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
<i>Шарафеев И.Ш.</i>	54
К ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ОДНОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ	
<i>Щитицын А.Г.</i>	62

CONTENTS

Technical sciences (05.09.00, 05.11.00, 05.12.00, 05.13.00)

QUESTIONS OF DESIGNING THE HARDWARE PART OF THE INFORMATION MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY <i>Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D., Lankina Yu.K.</i>	5
COMPUTER SIMULATION OF SUNSPOTS <i>Dzhimbeeva L.N., Bembitov D.B., Mankaeva G.A., Utnasunova V.O., Dzhimbeeva A.O.</i>	10
THE LATEST ADVANCES IN INFORMATION TECHNOLOGY IN MEDICINE <i>Ivanko A.F., Ivanko M.A., Butyrskaya D.V.</i>	15
USE OF METHODS OF PREDICTIVE ANALYTICS FOR PROCESSING OF SIGNALS FROM SENSORS OF FREQUENCY OF ROTATION OF ROTOR MACHINES <i>Ilichev V.Yu., Yurik E.A.</i>	22
SUFFICIENT CONDITION OF STABILITY OF NONLINEAR MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS WITH IDENTICAL SUBSYSTEMS <i>Ilyasov B.G., Saitova G.A., Khalikova E.A.</i>	27
DESIGNING A DEVICE FOR PULSE-ARC WELDING WITH HEATING ELECTRODE WIRING PAUSE CURRENT <i>Krampit M.A., Krampit A.G.</i>	32
DEEP TOWED SYSTEMS DEVELOPMENT FOR NEAR BOTTOM OCEAN SPACE STUDY <i>Liskin V.A., Zaretskiy A.V., Rimskiy-Korsakov N.A.</i>	37
PROBLEMS OF THE IT INFRASTRUCTURE LIBRARY SYSTEM <i>Osokin A.S., Prasolova E.A.</i>	43
NOT A LOCAL SUBJECT AREA <i>Popov S.V.</i>	49
THEORY OF PERCEPTIONS IN SYSTEMS OF AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PURPOSE <i>Sharafiev I.Sh.</i>	54
TO A TASK OF THE ANALYSIS OF ONE APPROACH TO CONSTRUCTION OF STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATING SYSTEMS <i>Shchipitsyn A.G.</i>	62

УДК 62:616-71

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Алексанян Г.К., Кучер А.И., Щербаков И.Д., Ланкина Ю.К.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова,
Новочеркасск, e-mail: graer@yandex.ru*

В настоящей статье рассмотрены основные принципы технической реализации аппаратной части информационно-измерительной системы многоугловой электроимпедансной томографии. Проведен анализ основных принципов построения устройств, позволяющих проводить измерения с задействованием нескольких поясов пациента. В результате проведенного анализа существующих решений сформированы функциональные требования к аппаратной части в целом и к основным компонентам информационно-измерительной системы в частности. На основе сформированных требований проведена разработка структурной схемы блока измерения, а также функциональных схем основных компонентов в его составе: источника инжектирующего тока, блока коммутации электродных поясов и блока программируемого усилителя измерительного канала. Кроме того, дано описание как алгоритмов функционирования аппаратной части аппаратно-программного комплекса в целом, так и алгоритмов функционирования отдельных блоков устройства, обозначены роли периферийных устройств, управляемых микроконтроллером через цифровые линии, в автоматизации процесса измерения. В частности, дано описание алгоритма переключения инжектирующих и измерительных каналов, задействованных в процессе проведения исследования. Разработанные в статье технические решения позволяют в кратчайшие сроки реализовать эффективное автоматическое управление процессом измерения для информационно-измерительной системы многоугловой электроимпедансной томографии.

Ключевые слова: многоугловая электроимпедансная томография, трехмерная электроимпедансная томография, ЭИТ

QUESTIONS OF DESIGNING THE HARDWARE PART OF THE INFORMATION MEASUREMENT SYSTEM OF ELECTROIMPEDANCE TOMOGRAPHY

Aleksanyan G.K., Kucher A.I., Shcherbakov I.D., Lankina Yu.K.

*South Russian State Polytechnic University (NPI) them. M.I. Platov, Novocherkassk,
e-mail: graer@ya.ru*

This article discusses the basic principles of the technical implementation of the hardware of the information-measuring system of multi-angle electrical impedance tomography. The analysis of the basic principles of constructing devices that allow measurements with the involvement of several patient belts. As a result of the analysis of existing solutions, functional requirements for the hardware in general and for the main components of the information-measuring system in particular were formed. On the basis of the requirements formed, the development of the block diagram of the measurement unit, as well as the functional diagrams of the main components in its composition: an injection current source, an electrode belt switching unit and a programmable amplifier of the measuring channel. In addition, a description is given of both the algorithms for the functioning of the hardware of the device and software complex as a whole, and the algorithms for the functioning of individual units of the device, the roles of peripheral devices controlled by the microcontroller via digital lines are indicated in the automation of the measurement process. In particular, a description is given of the switching algorithm of the injecting and measuring channels involved in the research process. The technical solutions developed in the article allow, in the shortest possible time, to realize effective automatic control of the measurement process for the information-measuring system of multi-angle electrical impedance tomography.

Keywords: multi-angle electrical impedance tomography, three-dimensional electrical impedance tomography, EIT

Известны конструкции устройств электроимпедансной томографии (ЭИТ) [1, 2], которые представляют собой модули измерения в составе аппаратно-программного комплекса ЭИТ (АПК ЭИТ) проведения исследований методом электроимпедансной томографии (ЭИТ). Данный тип устройств позволяет осуществлять измерение величин электрических потенциалов на поверхности исследуемого объекта и передачу для дальнейшей обработки их на персональный компьютер. Указанные устройства позволяют выполнять исследования

методом ЭИТ с задействованием только одного электродного пояса, таким образом, являясь примером технической реализации метода традиционной двумерной ЭИТ.

В данной работе рассматриваются принципы построения устройств, позволяющих проводить измерения с задействованием нескольких поясов пациента. Таким образом, указанные устройства являются техническими средствами реализации метода трехмерной или многоугловой электроимпедансной томографии (МРЭИТ) [3].

Преимущества метода МРЭИТ описаны в ряде публикаций [3–6]. Вместе с тем сложность и ресурсоемкость проектирования аппаратной части такого аппаратно-программного комплекса возрастает пропорционально количеству поддерживаемых электродных поясов.

Материалы и методы исследования

Описанные принципы построения аппаратно-программных комплексов двумерной электроимпедансной томографии [1, 2] не рассчитаны на проведение исследований методом МРЭИТ.

Таким образом, на основе анализа существующих решений разработаны дополнительные требования к техническим средствам, реализующим метод МРЭИТ:

- поддержка проведения измерений с помощью заданного числа электродных поясов;
- автоматизация процесса измерения;
- масштабируемость, модульность конструкции (возможность изменять количество поддерживаемых поясов пациентов).

При этом сохраняются требования, являющиеся общими для методов как традиционной двумерной ЭИТ, так и МРЭИТ: это скорость и точность получения результата процесса измерения, а также безопасность обслуживающего персонала и объекта исследования.

Для соответствия озвученным требованиям, в особенности в части автоматизации процесса измерения, не имеет альтернативы применение микроконтроллера (МК) на основе однокристальной ЭВМ [7] с необходимым количеством портов ввода-вывода и скоростью обработки данных, достаточной для управления процессом измерений и обработки полученных измерительных данных.

Кроме того, дополнительным инструментом автоматизации измерительного процесса являются периферийные устройства, управляемые микроконтроллером через цифровые линии: источник инжектирующего тока, коммутаторы, схемы усиления измерительных каналов.

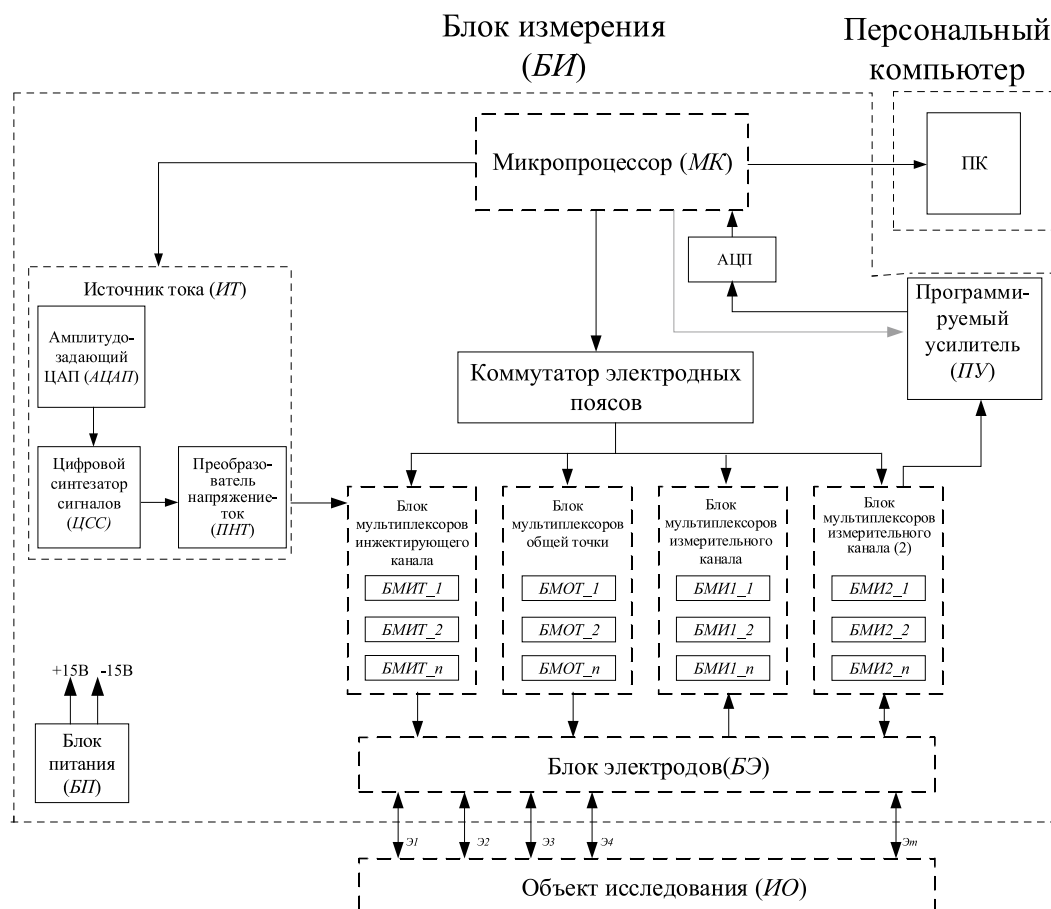


Рис. 1. Структурная схема измерительного устройства

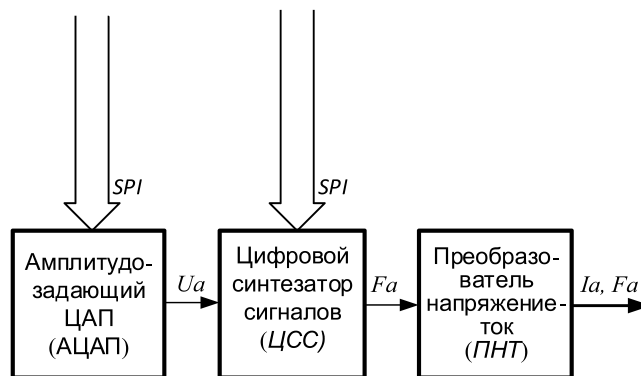


Рис. 2. Функциональная схема ИТ

Результаты исследования и их обсуждение

На основе сформированных требований к аппаратной части АПК МРЭИТ разработана структурная схема измерительного устройства (БИ), подключенного к персональному компьютеру (ПК). Структурная схема представлена на рис. 1.

Измерительное устройство МРЭИТ состоит из следующих блоков:

- микропроцессор (МК),
- источник инжектирующего тока (ИТ),
- программируемый усилитель измерительного канала (ПУ),
- блок коммутации, состоящий из коммутатора электродных поясов (КЭП) и n блоков мультиплексоров электродных поясов, где n – число электродных поясов,
- блок питания (БП),
- блок электродов (БЭ), с помощью которого объект исследования ИО подключается к БИ.

Как видно из разработанной структурной схемы, микроконтроллер является главным компонентом БИ, с помощью которого осуществляется управление процессом измерения, в частности задание режимов работы блоков коммутации электродных поясов, ИТ и ПУ. Кроме того, при помощи МК осуществляется прием заданных пользователем ПК параметров исследования, и отправка полученных измерительных данных на ПК для последующей обработки и интерпретации.

Источник тока ИТ состоит из амплитудо-задающего цифро-аналогового преобразователя (АЦАП), цифрового синтезатора сигналов (ЦСС) и преобразователя напряжение-ток (ПНТ).

Функциональная схема ИТ показана на рис. 2.

Амплитудо-задающий цифро-аналоговый преобразователь (АЦАП) служит для

задания амплитуды выходного тока I_a ИТ, ЦСС, в свою очередь, выполняет функциональность генератора напряжения переменного тока. Цифровой синтезатор сигналов ЦСС является источником управляющего напряжения для ПНТ, с его помощью производится задание формы, частоты F_a выходного инжектирующего тока [8].

Как АЦАП, так и ЦСС управляются МК по цифровой последовательной шине SPI [9] или аналогичной ей. Применение последовательной шины позволяет уменьшить количество задействованных в управлении периферийными устройствами цифровых выходов МК. Так, в описанной конструкции ИТ АЦАП и ЦСС используют одни и те же цифровые выходы МК.

Выходом ИТ служит ПНТ, который представляет собой схему источника тока, управляемого напряжением [10].

Требования к источнику тока, результаты исследований режимов его работы представлены в [3].

Блок коммутации представляет собой схему, состоящую из аналоговых мультиплексоров [11], функциональная схема блока представлена на рис. 3.

Коммутатор электродных поясов управляется цифровыми последовательностями, источником которых служит МК, и разрешает одновременную работу мультиплексоров инжектирующего канала (БМИТ $_i$), канала общей точки (БМОТ $_i$), и измерительных каналов БМИ1 $_i$, БМИ2 $_i$, где i – номер электродного пояса, $i = 1..n$. Таким образом, с помощью КЭП осуществляется выбор электродного пояса, на котором будет происходить измерение. Мультиплексоры БМИТ $_i$, БМОТ $_i$, БМИ1 $_i$, БМИ2 $_i$, также управляемые МК по цифровым линиям, обеспечивают переключение между электродами в пределах выбранного электродного пояса. Управле-

ние переключением электродных поясов с помощью КЭП происходит таким образом, что при активации заданного пояса с помощью единственной линии разрешения работы становятся активными все коммутаторы БМИТ_{*i*}, БМОТ_{*i*}, БМИ1_{*i*}, БМИ2_{*i*}. Достоинством такого решения является экономия задействованных цифровых выходов управления МК, что существенно при проектировании сложных устройств с развитой периферией. Недостаток применяемого решения состоит в невозможности выбора коммутаторов БМИТ, БМОТ, БМИ1, БМИ2 из разных поясов.

Функциональная схема блока ПУ показана на рис. 4.

Программируемый усилитель измерительного канала (ПУ), также управляемый микропроцессором по цифровым линиям,

позволяет динамически изменять коэффициент усиления входящего измерительного сигнала в зависимости от его амплитуды.

Выход ПУ соединен со входом АЦП [12], выполняющим функцию регистрации измерительного сигнала. Измерительные данные в цифровом виде обрабатываются МК и направляются по линии USB в ПК для дальнейшей обработки.

Управление ПУ осуществляется следующим образом: с помощью цифровых выходов управления коэффициентом усиления ПУ МК устанавливает минимальное значение K_y , выполняется измерение амплитуды измерительного сигнала с помощью АЦП, на основании обработки результатов измерения МК при необходимости осуществляется повторный выбор K_y и процедура измерения амплитуды измерительного сигнала повторяется заново.

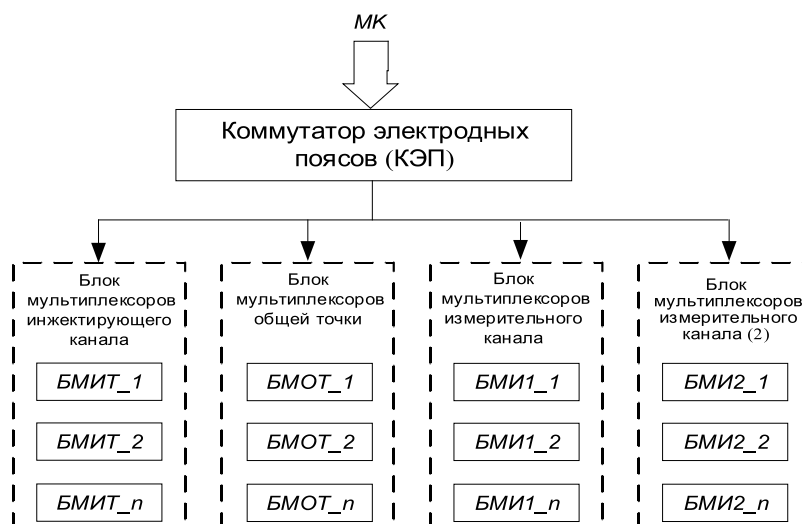


Рис. 3. Функциональная схема блока коммутации

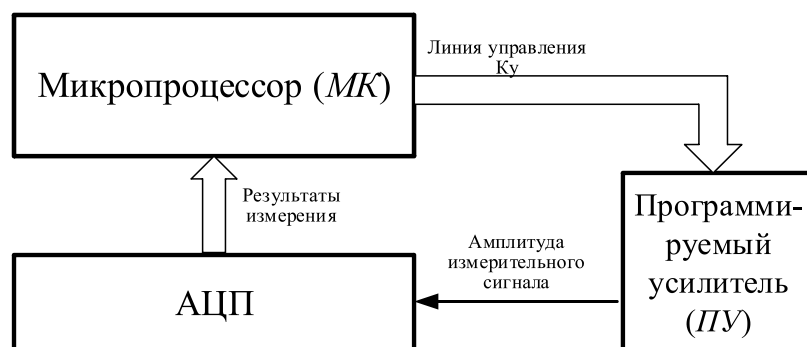


Рис. 4. Функциональная схема блока ПУ

Многоканальный блок питания (БП) обеспечивает подачу требуемых другими компонентами устройства величин напряжения питания, а также обеспечивает функции гальванической развязки ИО с ПК и электрической сетью. Таким образом, применение выбранного БП позволяет удовлетворить выдвинутые требования к блоку измерения в части электробезопасности. Требования к БП, принципы построения и реализация представлены в [13–14].

Выбор решений МК, ИТ, ПУ и КЭП позволяет реализовать автоматизированное исследование ИО методом МРЭИТ, применение разработанных технических решений способно расширить функциональные возможности АПК МРЭИТ.

Выводы

В работе рассмотрены принципы технической реализации аппаратной части информационно-измерительной системы многоакурсной электроимпедансной томографии. Проведен анализ принципов построения устройств, позволяющих проводить измерения с задействованием нескольких поясов пациента. В результате проведенного анализа существующих решений сформированы функциональные требования к аппаратной части в целом и к основным компонентам информационно-измерительной системы в частности. На основе предъявляемых требований разработана структурная схема блока измерения, а также функциональных схем основных компонентов в его составе: источника инжектирующего тока, блока коммутации электродных поясов и блока программируемого усилителя измерительного канала. Описаны как алгоритмы функционирования аппаратной части аппаратно-программного комплекса, так и алгоритмы функционирования отдельных его блоков, обозначены роли периферийных устройств, управляемых микроконтроллером через цифровые линии, в автоматизации процесса измерения. В частности, дано описание алгоритма переключения инжектирующих и измерительных каналов, задействованных в процессе проведения исследования. Разработанные в статье технические решения позволяют в кратчайшие сроки реализовать автоматическое управление процессом из-

мерения для информационно-измерительной системы многоакурсной электроимпедансной томографии.

Работы выполняются в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-196.2017.8.

Список литературы

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Электроимпедансная томография. Томск: Изд-во НТЛ, 2004. 192 с.
2. Корженевский А.В. Электроимпедансная томография: исследования, медицинские приложения, коммерциализация // Альманах клинической медицины. 2006. № 12. С. 58.
3. Aleksanyan G., Shcherbakov I., Kucher A., Priyma M. Research of the conductivity of organic and inorganic media in multi-angle multi-frequency electrical impedance tomography. MATEC Web of Conferences 132, 2017. 193 p. [Electronic resource]. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/46/mateconf_dts2017_04008.pdf (date of access: 24.12.2018).
4. Aleksanyan G.K., Shcherbakov I.D., Kucher A.I. Feature research of using current source in 2-dimensional and 3-dimensional multifrequency electrical impedance tomography devices. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Т. 12. № 3. P. 587–592.
5. Алексанян Г.К., Тарасов А.Д., Чан Н.Ф., Нгуен М.К. Разработка программного продукта трехмерной визуализации проводимости объекта // Наука, образование, общество: проблемы и перспективы развития: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (Тамбов, 31 июля 2015 г.). Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. С. 13–15.
6. Aleksanyan G.K., Gorbatenko N.I., Kucher A.I. Development and production of multi-layered electrode system for electrical impedance tomography devices. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. P. 40580–40584.
7. Васильев А.Е. Микроконтроллеры: разработка встраиваемых приложений. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. С. 6–8.
8. Jouko Vankka, Kari A.I. Halone. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications. The Kluwer international series in Engineering and Computer Science. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers. 2001. 193 p.
9. Васильев И.А. Основы микропроцессорной техники с элементами моделирования в среде Multisim. М.: Изд-во МГУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 62 с.
10. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. 12 изд. М.: Додэка XXI, 2015. 512 с.
11. Харрис Д., Харрис С. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. 2 изд. М.: ДМК-Пресс, 2017. 772 с.
12. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 7 изд. М.: Бином, 2016. 371 с.
13. Жданкин В.К. Требования электробезопасности и ЭМС к изделиям медицинской техники // Электронные компоненты. 2006. № 2. P. 79–83.
14. IEC 60601-1-11:2015 // International Organization for Standardization [Electronic resource]. URL: <https://www.iso.org/standard/65529.html> (date of access: 24.12.2018).

УДК 004.922:523.9

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН**Джимбеева Л.Н., Бембитов Д.Б., Манкаева Г.А., Утнасунова В.О., Джимбеева А.О.***ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», Элиста,
e-mail: dbembitov@gmail.com*

Целью исследования в данной статье является проведение компьютерной визуализации снимков Солнца, гелиограмм, взятых с соответствующих сайтов. Использование компьютерных программ позволяет получать изменения периметров объектов радиоисточников над пятнами и позволяет получать изменения площадей радиопятен, площадей поверхностей образований, что представляет собой интегральные потоки излучения в центральной части и всей области в целом, позволяющие получать объемы областей. Материалом исследования являются снимки поверхности Солнца с радиогелиографа Nobeyama, длина волны которых составляет 1,76 см с пространственным разрешением порядка 10", а также снимки, полученные в солнечной обсерватории SDO. Мы рассматривали солнечные пятна, которые являются активными образованиями на фотосфере Солнца, температура которых ниже температуры фотосферы, магнитное поле достигало порядка нескольких тысяч Гаусс. Интервалы наблюдений составляли от 1 минуты до 10 минут. Гелиограммы должны быть достаточно высокого качества, чтобы уровень интенсивности невозмущенной фотосферы Солнца был одинаковым. В нашей работе мы применили программу 3DFieldPro, которая использует карты глубины, представляющие собой записанные в файл расстояния точек, расположенных на поверхности объектов до камеры, а также 3DFieldPro является программой контуров и обработки 2D/3D данных. Эта программа позволяет конвертировать данные в контурные карты, поверхности и объемные схемы.

Ключевые слова: солнечное пятно, изолиния, площадь пятна, вейвлет-преобразование, Фурье-преобразование**COMPUTER SIMULATION OF SUNSPOTS****Dzhimbееva L.N., Bembitov D.B., Mankaeva G.A., Utnasunova V.O., Dzhimbееva A.O.***Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, Elista, e-mail: dbembitov@gmail.com*

The purpose of the research in this article is to conduct computerized visualization of images of the Sun, heliograms taken from relevant sites. The use of computer programs allows you to receive changes in the perimeters of objects of radio sources over the spots and allows you to receive changes in the areas of radio voids, the areas of the surfaces of the formations, which is the integral radiation fluxes in the central part and the entire region as a whole, allowing to obtain the volumes of the regions. The study material is images of the surface of the Sun from the Nobeyama radio heliograph, whose wavelength is 1.76 cm with a spatial resolution of the order of 10", as well as images taken in the solar observatory SDO. We considered sunspots, which are active formations on the solar photosphere, the temperature of which is lower than the temperature of the photosphere, the magnetic field reached about several thousand Gauss. The observation intervals ranged from 1 minute to 10 minutes. The heliograms must be of sufficiently high quality so that the intensity level of the unperturbed photosphere of the Sun is the same. In our work, we used the 3DFieldPro program, which uses depth maps representing the distances of points located on the surface of objects to the camera, recorded in the file, and 3DFieldPro is a program of contours and 2D / 3D data processing. This program allows you to convert data into contour maps, surfaces and volumetric schemes.

Keywords: sunspot, isoline, spot area, wavelet transform, Fourier transform

На протяжении нескольких лет в учебных заведениях стремительно развиваются такие научные направления, как представление информации в виде графических данных и визуальная аналитика. Количество исследований в данных направлениях возрастает, так как расширяется спектр их применения. Представление информации в виде графических данных является одной из наиболее наукоемких областей современных информационных технологий.

К способам представления информации в виде графических данных можно отнести графики, таблицы, отчеты, схемы и так далее.

Представление информации в виде графических данных рассматривалось как вспомогательное средство при анализе экспериментальных данных в физике, хотя как теоретические, так и практические исследова-

ния позволяют говорить о ее самостоятельной роли.

В нашей работе мы применили программу 3DFieldPro (или 3DField), которая использует карты глубины, представляющие собой записанные в файл расстояния точек, расположенных на поверхности объектов до камеры, а также 3DFieldPro является программой контуров и обработки 2D/3D данных. Эта программа позволяет конвертировать данные в контурные карты, поверхности и объемные схемы.

В нашем исследовании мы использовали следующие возможности программы 3DFieldPro (или 3DField), а именно:

- интерполирование данных на сетку;
- возможность показывать месторасположение точек данных на плоскости и их значений относительно друг друга;

- графическое представление изображений в 2D/3D числовых массивов данных;
- построение карт изолиний на основе числовых данных;
- редактирование полученных изображений в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями;
- экспорт созданных карт любого размера в документы текстового редактора;
- возможность создавать трехмерную проекцию;
- возможность создавать группу изолиний с соответствующими коэффициентами;
- возможность определять длину изолиний;
- возможность определять площадь сечения объекта, ограниченной данной изолинией;
- возможность определять объем поверхности объекта, объем объекта;
- трансформация отсканированного графика в цифровую форму;

Цель исследования: проведение компьютерной визуализации снимков Солнца, гелиограмм, взятых с соответствующих сайтов. Использование компьютерных программ позволяет получать изменения периметров объектов радиоисточников над пятнами и позволяет получать изменения площадей радиопятен [1], площадей поверхностей образований, что представляет собой интегральные потоки излучения в центральной части и всей области в целом, позволяющие получать объемы областей.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования являются снимки поверхности Солнца с радиогелиографа Nobeyama, длина волны которых составляет 1,76 см с пространственным разрешением порядка $10''$, а также снимки, полученные в солнечной обсерватории SDO.

Мы рассматривали солнечные пятна, которые являются активными образованиями на фотосфере Солнца, температура которых ниже температуры фотосферы, магнитное поле достигало порядка нескольких тысяч Гаусс. Интервалы наблюдений составляли от 1 мин до 10 мин. Гелиограммы должны быть достаточно высокого качества, чтобы уровень интенсивности невозмущенной фотосферы Солнца был одинаковым. Это проверялось с помощью программы Adobe Photoshop CS5.

Результаты исследования и их обсуждение

Для примера на рис. 1 представлен снимок гелиограммы для примера, полученный 28 февраля 2017 г.

На рис. 2 представлены изменения периметра одного и того же объекта, полученного по снимкам Nobeyama и SDO. Корреляция двух кривых близка к единице, характер кривых по данным «Нобейма» и SDO практически одинаков. Разность фаз во всех точках пространства постоянна, что говорит о когерентности волн, то есть источник колебаний один и тот же, природа колебаний одинакова.

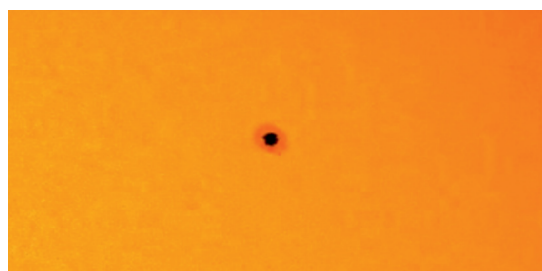


Рис. 1. Фрагмент снимка Солнца (28.02.2017)

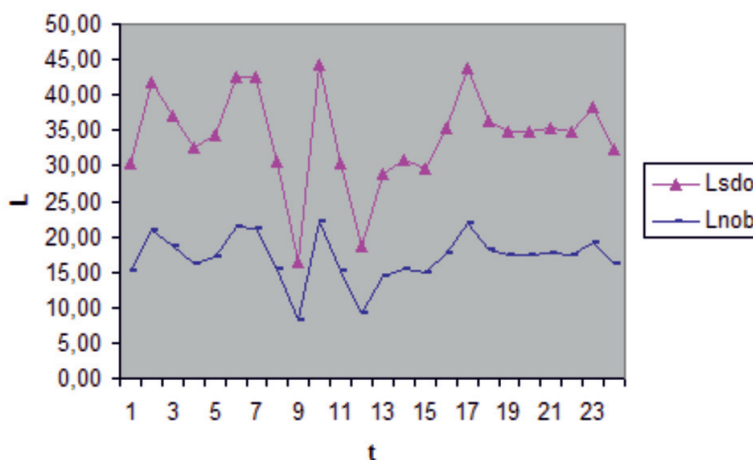


Рис. 2. Ход кривых длин изолинии солнечного пятна

Параметры тени и полутени солнечного пятна

L_n – длина изолинии полутени	L_t – длина изолинии тени	L_n/L_t	S_n – площадь полутени	S_t – пло- щадь тени	S_n/S_t	V_n – объем полутени	V_t – объ- ем тени	V_n/V_t
65,3882	54,3502	1,2	286,746	197,186	1,45	67029,7	48206,3	1,39
66,6326	54,3502	1,2	296,262	197,186	1,5	68235,8	48206,3	1,41
65,3702	56,3384	1,16	288,738	206,477	1,398	66353,3	50614,2	1,31
64,1286	54,5542	1,17	274,403	199,22	1,377	62915,3	49397	1,27
64,7811	52,8636	1,22	279,28	186,225	1,5	65123,9	44643,3	1,46
61,6578	52,5726	1,17	259,311	182,213	1,42	59511,2	43948	1,35
61,5405	52,406	1,17	257,997	181,627	1,42	60545,9	44440,4	1,36
62,5105	52,6686	1,186	261,703	180,711	1,45	60253,1	43657,4	1,38
67,1808	51,7558	1,298	274,691	178,603	1,54	63829,7	43114,	1,48
62,2612	51,0573	1,219	262,538	180,066	1,46	61498,6	43269,5	1,42
.....								
57,3447	48,7582	1,18	213,986	146,001	1,47	51683,9	35685,9	1,45
58,2758	49,1556	1,19	217,216	145,298	1,49	48712,5	35111,6	1,39
59,1704	49,9447	1,18	221,598	149,191	1,48	50198	35754,8	1,4
59,754	50,4453	1,18	222,59	147,622	1,5	50463,4	36043	1,4
59,5839	50,6945	1,17	226,682	152,097	1,49	51125,3	37085,5	1,37
59,9658	50,2361	1,19	239,723	160,286	1,49	52170,9	38830,6	1,34
60,1732	49,6141	1,21	236,056	153,398	1,53	54281,2	36877,3	1,47
58,7683	48,5904	1,21	224,794	147,337	1,52	51029,5	35267,8	1,44
58,7425	47,7794	1,23	235,351	150,679	1,56	54115,9	35652,2	1,52
58,6477	46,0753	1,27	235,979	147,904	1,59	53861,8	36254	1,48
65,2978	47,9116	1,36	269,674	157,267	1,71	61929,2	38639,3	1,6
61,1794	50,4459	1,21	245,904	169,863	1,44	57297,3	40278,3	1,42
67,5181	51,62	1,307	267,603	177,462	1,51	62600,4	44058,6	1,42
65,956	52,4256	1,26	275,007	186,955	1,47	63581,3	45815	1,39
65,4575	51,4629	1,27	280,843	185,44	1,51	65229,5	44697,8	1,46
63,0209	53,0135	1,19	266,557	183,174	1,45	62154,6	44328,7	1,40

В таблице впервые приведены данные для солнечного пятна, наблюдавшегося 01.02.1998 г.

По полученным результатам можно увидеть, что отношения периметра, площади и объема полутени к периметру, площади и объему тени солнечного пятна практически являются постоянной величиной, что не противоречит результатам рассмотренных ранее работ [2, 3]. На рис. 3 представлена 3D модель солнечного пятна, полученная с помощью программы 3DFieldPro.

Использование математического пакета Matlab дает возможность проводить анализ временных рядов с помощью Фурье и вейвлет-анализов. Исследование функций во временных и частотных интервалах с помощью прямого Фурье-преобразования и обратного Фурье-преобразования составляет основу Фурье-анализа. Они показали, что для функций с локальными особенностями представление сигналов в виде ряда Фурье оказывается малоэффективным, в частно-

сти как для импульсных, так и для цифровых сигналов и изображений [4]. Представим наши результаты по вейвлет-анализу, основываясь на вышесказанном.

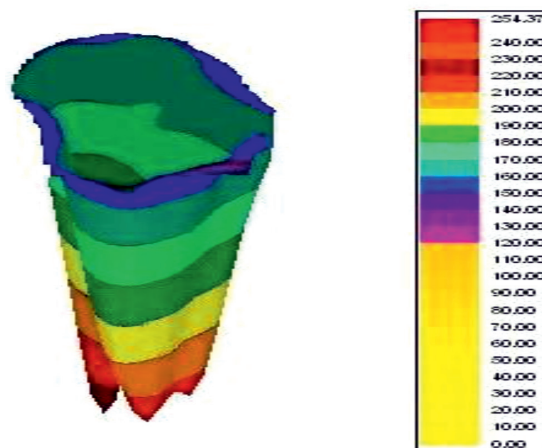


Рис. 3. 3D модель солнечного пятна

Вейвлеты [5] можно охарактеризовать следующими образами: временными и частотными. Временной образ – некоторая $\psi(t)$ функция времени, а частотный образ – Фурье-образ $\hat{\psi}(t) = F(t)$, который задает огибающую вейвлет-спектра. Фурье-образ можно представить следующим выражением:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{\psi}(t) e^{-i\omega t} dt.$$

Рассмотрим вейвлет в пространстве: при его сужении «средняя» частота повышается, что приводит к перемещению спектра в области с более высокими частотами, т.е. к его расширению. Такие процессы можно отнести к линейным.

Вейвлет-преобразование и Фурье-преобразование отличаются в следующем: каждому вейвлету соответствует свое преобразование, т.е. оно определено неоднозначно.

Если $\omega = 0$, то Фурье-образ $\hat{\psi}(t)$ вейвлета равняется 0.

При прямом вейвлет-преобразовании происходит разложение произвольного входного сигнала на новый базис в виде совокупности так называемых волновых пакетов.

Получается, что вейвлет-спектрограммы становятся наиболее пригодными для анализа тонкой структуры сигналов, содержащих ярко выраженные скачки, всплески и переходы производных через ноль и так далее. К таким сигналам можно отнести: звуковые сигналы речи и музыки, а также сигналы изображений. Все это мы учитывали при составлении программы в математическом пакете Matlab.

Нами были обработаны более 60 пятен, наблюдавшихся на Солнце в разное время. Также был проведен вейвлет-анализ для длин изолинии пятна, площади и объема. На рис. 4–6 представлены некоторые результаты нашего исследования.

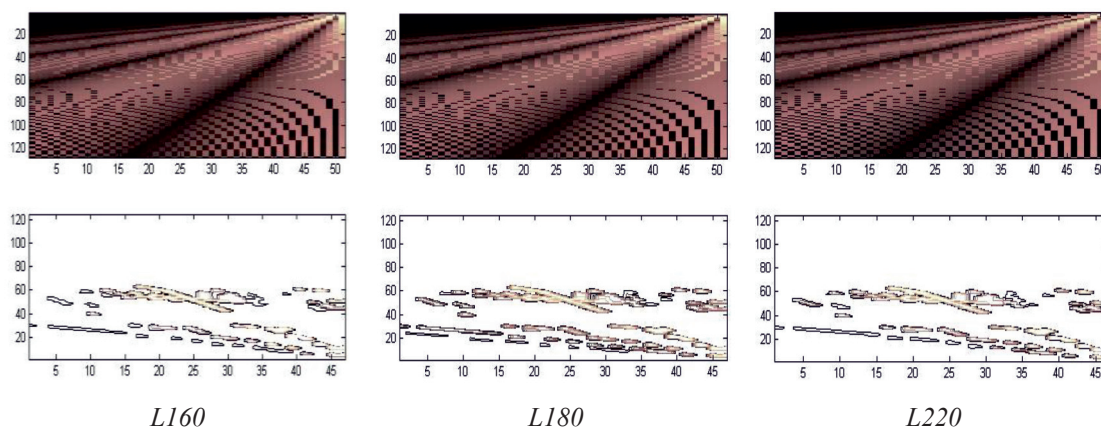


Рис. 4. Вейвлет и скейлограмма для периметра изолинии пятна

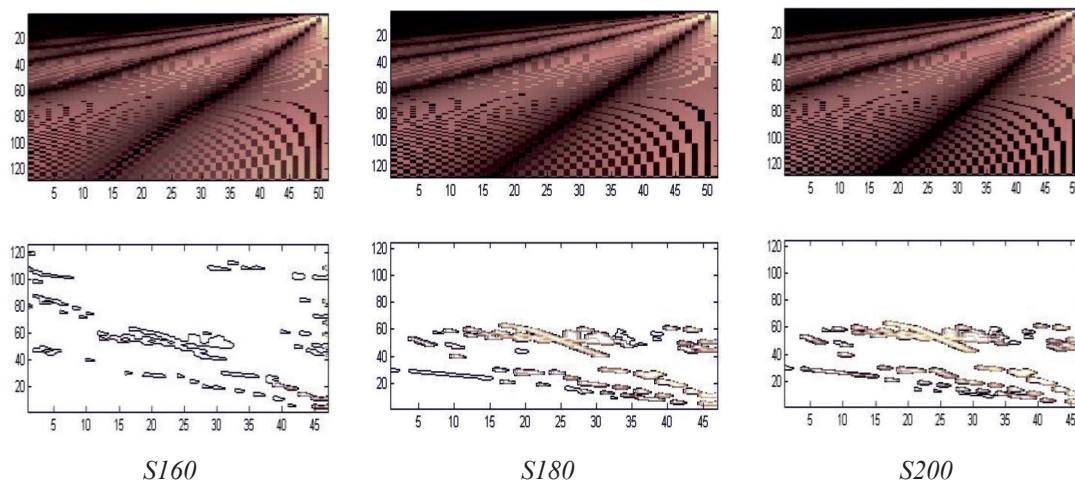


Рис. 5. Вейвлет и скейлограмма для площади пятна

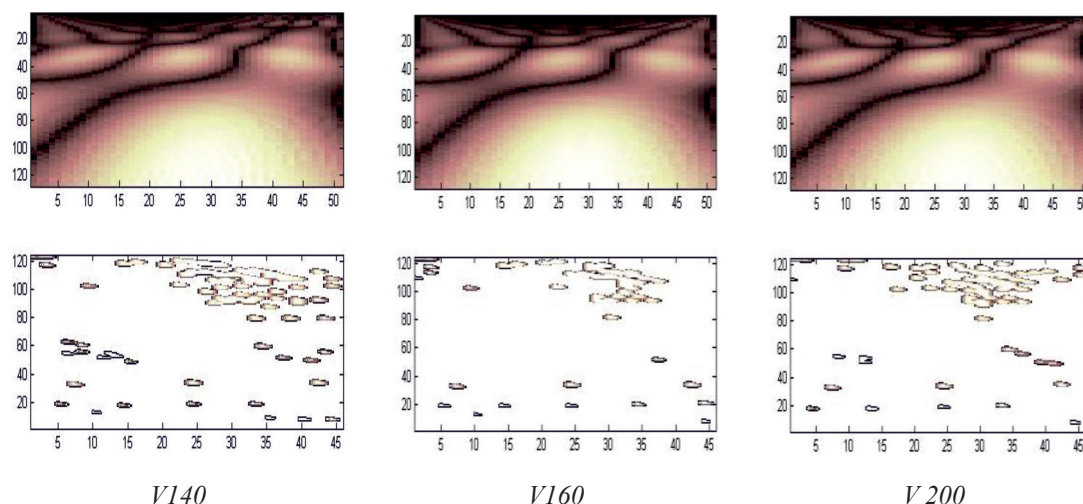


Рис. 6. Вейвлет и скейлограмма для объема пятна

Выводы

В данной статье проведена визуализация информации, полученной в результате наблюдений солнечных пятен, которые являются активными образованиями. Получены трехмерные модели солнечных пятен, данные модели показывают зависимость пятна от глубины и изменения температуры с глубиной. Все это выполнялось с помощью программы 3DField Pro.

Также мы провели вейвлет-анализ временных рядов, составлена программа в математическом пакете Matlab для выявления периодических составляющих сигнала.

Список литературы

1. Dzhimbeeva L.N. Quasiperiodic oscillations in the active solar regions from the data of nobeyama radioheliograph. Solar System Research. 2011. V. 45. № 1. P. 84–91.
2. Nagovitsyn Y.A., Nagovitsyna E.Y. Quasiperiodic sunspot oscillations on timescales from tens to hundreds of minutes: Groundbased optical observations (A review). Geomagnetism and Aeronomy. 2017. V. 57. № 8. P. 921–939.
3. Strekalova P.V., Nagovitsyn Y.A., Smirnova V.V., Riekhokainen A. Long-period variations in the magnetic field of small-scale solar structures. Geomagnetism and Aeronomy. 2016. V. 56. № 8. P. 1052–1059.
4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений: практические советы. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
5. Кравченко В.Ф. Цифровая обработка сигналов атомарными функциями и вейвлетами. М.: Техносфера, 2018. 182 с.

УДК 004.023

НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

Иванько А.Ф., Иванько М.А., Бутырская Д.В.

Московский политехнический университет, Москва, e-mail: alekfed@mail.ru

Со вступлением человечества в информационную эпоху было изобретено множество видов техники. Постепенно информационные технологии нашли своё истинное применение в улучшении качества жизни – совершенствуя трудовую деятельность человека, улучшая методы коммуникаций, облегчая хозяйственно-бытовой труд и так далее. Но лишь недавно информационные технологии начали входить в медицинские сферы человеческой деятельности, от которых зависит жизнь пациентов. Развитие виртуальных технологий является одним из главных направлений современного инновационного прогресса. Актуальность развития этих технологий проявляется в первую очередь в том, что человечество, ввиду своего вступления в этап информатизации и глобализации, начинает находить всё новые и новые сферы применения данной технологии. Среди наиболее важных интересующих человека сфер мы можем выделить науку, культуру, образование, медицину, коммуникации и множество других. Введение современных информационных технологий в медицину – обоснованный шаг технологического развития человечества, поскольку с их помощью можно улучшить систему здравоохранения в целом, сократив время и затраты на поиск индивидуального решения проблемы – а время, как известно, в медицине зачастую является критическим фактором в спасении жизни пациента. Данная статья исследует применение инновационных технологий в медицине.

Ключевые слова: виртуальная реальность, медицина, системы диагностики, компьютерное обучение, базы данных, информационные технологии

THE LATEST ADVANCES IN INFORMATION TECHNOLOGY IN MEDICINE

Ivanko A.F., Ivanko M.A., Butyrskaya D.V.

Moscow Polytechnic University, Moscow, e-mail: alekfed@mail.ru

With the entry of humanity into the information age, many types of technology were invented. Gradually, information technologies have found their true application in improving the quality of life – improving human labor, improving communication methods, facilitating household work and so on. But only recently have information technologies begun to enter the medical fields of human activity on which the lives of patients depend. The development of virtual technologies is one of the main directions of modern innovation progress. The relevance of the development of these technologies is manifested primarily in the fact that humanity, due to its entry into the stage of informatization and globalization begins to find more and more new areas of application of this technology. Among the most important areas of human interest, we can highlight science, culture, education, medicine, communications, and many others. The introduction of modern information technologies into medicine is a reasonable step in the technological development of mankind, because with their help it is possible to improve the health care system as a whole, reducing the time and costs of finding an individual solution to the problem – and time, as we know, in medicine is often a critical factor in saving the patient. This article explores the application of innovative technologies in medicine.

Keywords: virtual reality, medicine, diagnostic systems, computer training, databases, information technologies

Самые известные достижения информационных технологий – это применяемые повсеместно интернет, смартфоны, игровые приставки, персональные ЭВМ [1, 2]. Однако у любой узконаправленной области науки или техники есть своё характерное только для нее спецоборудование и программное обеспечение, что обеспечивает и гарантирует работу приборов, систем или же целой команды специалистов.

Исследование возможностей виртуальной реальности является востребованной и высокоперспективной задачей по причине пересечения различных направлений и сфер виртуальных проблем между собой, это переплетение породило множество новых направлений в современном обществе – это виртуальное образование, медицину, психотерапию, искусство, бизнес, политику, коммуникации и многие другие,

а также направило вектор развития возможностей современных информационных технологий в новом направлении [3, 4].

Одной из особенно интересных областей медицины, в которых используется виртуальная реальность, является психотерапия.

Как известно, начиная с середины XX в. в психотерапии начали использовать кинофильмы, после которых пациенту предлагалось обсудить содержание фильма и поделиться своими впечатлениями с лечащим врачом. Таким образом предоставлялась возможность узнать, что является проблемной тематикой у пациента, дать ему возможность увидеть развитие схожей проблемы у героев фильма, а позже – рассказать о своих впечатлениях и обсудить их. Такой метод взаимодействия с пациентом даёт достаточно материала для дальнейшей работы психотерапевту [5].

Но технологии виртуальной реальности (VR) открывают множество новых возможностей, среди которых: например, перемещение личных и душевных волнений пациента из внутренней среды в виртуальную – т.е. внешнюю. Таким образом, дальнейшая работа с фобиями или другими проблемами пациента проходит «вне головы» – в виртуальной среде [6].

Различные виды психотерапии предлагают методы, призывающие пациента представить себя в обстановке, которая вызывает дискомфорт, и произвести в ней определённые действия под руководством психотерапевта [7].

В воображаемой ситуации пациент наблюдает за собственными действиями со стороны и пробует самостоятельно контролировать ситуацию.

Проблематика заключается в том, что в выдуманный пациентом мир у специалиста нет доступа. Эта проблема может быть преодолена средствами виртуальной реальности: она позволяет создать это выдуманное пространство так, чтобы оно было идентичным как у пациента, так и у лечащего врача [8, 9].

Кроме того, все характеристики виртуальной реальности регулируемы. Однако в данный момент все процедуры VR-терапии проходят под строгим контролем психотерапевта – таким образом, данный метод не может быть использован напрямую пациентом, чтобы проводить какие-то масштабные испытания с собственными психологическими состояниями, не выходя из дома.

Уже в XX в. пробовали применять виртуальную реальность в психотерапии, однако интерес к этой теме быстро пропал. Причина кроется в том, что пациент пребывал в пространстве с некачественными трёхмерными моделями, неспособный к полноценному взаимодействию с окружающими его предметами (или взаимодействие осуществлялось очень медленно).

Применение VR-технологий в лечении психических расстройств – ожидаемое продолжение истории усовершенствования психотерапевтических методов при лечении часто встречающихся болезней (таких как ОКР, ПТСР, стресса, тревожности и так далее). Развитие их было независимым, «автономным» развитию самых разнообразных технологий [10].

К тому же психотерапевтическому миру давно известна экспозиционная терапия.

Она рассчитана на то, что, когда лечащий врач показывает пациенту с фобией фотографию или видео с предметами, вызывающими у него страх, пациент представляет себя в соответствующей дискомфортной си-

туации и с руководством специалиста учится по-другому откликаться на неё и предметы фобий.

Позднее появился метод ДПДГ (Десенсибилизация и переработка движением глаз). Идея этой терапии состоит в том, что благодаря определённым перемещениям взгляда человека есть возможность произвести физиологические перемены, которые будут способствовать обработке причиняющих дискомфорт воспоминаний [11].

Два вышеперечисленных метода пользуются визуализацией в той или иной степени.

Но сразу же встает проблема, изучением которой занялись многие психотерапевты и учёные из смежных сфер – они начали исследовать действие VR-технологий на человека, методику понимания им объектов виртуальной реальности.

Как сильно человек может погружаться в несуществующее пространство, всем сердцем веря в реальность происходящего? Когда пользователь VR-технологий наиболее полно верит в реальность, предоставляемую техническими устройствами?

Сегодня многочисленные исследовательские труды говорят нам о том, что по большей части объекты виртуальной реальности воспринимаются человеческим мозгом скорее как сны и мечты, а не как вполне существующая осязаемая реальность. Мечтая, человек способен чувствовать различный спектр эмоций, однако он понимает, что все объекты этой мечты нереальны. Таким же образом человек осознает себя в «VR-мире» [12].

Эта проблема породила, пожалуй, главный вопрос виртуальной реальности: как увеличить эффект присутствия с помощью разнообразных преобразований создаваемых объектов?

Именно с пересечением психотерапевтических методов визуализации и поиска усовершенствования глубокого восприятия человеком технологии виртуальной реальности появилась идея для создания максимально реалистичного пространства для человека [13].

Тем не менее всё ещё не доказано, что VR-терапии являются действеннее традиционных, вроде просмотра кино совместно с психотерапевтом, с установленными нормами упражнений и инструкций визуализации.

К тому же возникает вопрос: универсальна ли эта методика психотерапии или же есть какие-то ограничения, связанные с физиологическим состоянием человека. Ведь очевидно, что люди в возрасте воспринимают виртуальную обстановку хуже молодых [14].

Возвращаясь к проблематике виртуальной реальности как одной из основных направлений современного инновационного и информационного развития, нужно упомянуть о расширении спроса на предоставление психологической помощи посредством виртуальной реальности по всему миру, благодаря появлению более дешёвых приборов VR-технологий.

Одним из самых успешных проектов в терапевтическом направлении является Bravemind – разработка Университета Южной Калифорнии, в котором изучение методик терапии посттравматического стрессового расстройства посредством VR-технологий началось ещё в 1990 г., при участии фирмы Virtually Better, которая в данный момент является поставщиком этого продукта по всему миру [15].

Bravemind включает в себя настраиваемую VR-среду, прибор, симулирующий различные запахи и осуществляющий осязаемое взаимодействие помещённого в виртуальную реальность пользователя с окружающим его миром.

Результаты, полученные после нескольких таких сеансов, позволяют сделать вывод, что терапия, проводимая в виртуальной реальности, так же действенна, как и смешанная терапия с применением медикаментов [16].

Так же учёные из фирмы Beyond Care нашли применение упомянутому ранее методу терапии ПТСР – ДПДГ (Десенсибилизация и переработка движением глаз) посредством VR-технологий. Запуск проекта считается успешным, и на данный момент Beyond Care разрабатывает новые программные обеспечения и продолжает исследования вместе с Университетом Голландии [17].

Однако у создателей таких VR-продуктов в наличии только ограниченный арсенал ситуаций, который состоит из наиболее часто запрашиваемых заказчиками. Таким образом, для пациента, боящегося пауков или высоты, есть виртуальные пространства, дающие возможность преодолеть страх. Но это частые случаи. С военнослужащими, вернувшимися со службы, проводится терапия посттравматического стрессового расстройства посредством воссоздания боевых сцен в виртуальной реальности.

Но в то же время нельзя рассчитывать, что данная программа подойдёт солдатам других стран, ведь даже небольшая деталь, например униформа симулированных в виртуальной реальности солдат, может свести лечебное действие VR-терапии к нулю [18].

Пускай психотерапевты и делают запросы на конкретные ситуации, всё равно остаётся огромное количество индивидуальных запросов, на создание которых уходят большие деньги, что крайне неразумно, поскольку лечащие врачи могут погрузить своего пациента в воображаемый мир посредством беседы или какой-либо другой методики.

Виртуальная реальность также активно применяется для лечения тревожных расстройств и фобий. Результаты более десятка исследований показали, что VR-терапия настолько же действенна, как и простая экспозиционная терапия, проводимая терапевтом индивидуально в кабинете [19].

Другой известный проект был разработан фирмой Virtual Reality Medical Center – это система, состоящая из технологии в виртуальной реальности, включающая в себя приборы, имитирующие полёт в самолёте.

Ранее упомянутая фирма Virtually Better успешно запустила несколько проектов борьбы с самыми распространёнными фобиями, такими как аэрофобия, страх сцены, акрофобия. В планах компании дальнейшая разработка программного обеспечения для работы с детскими тревожностями и социофобией [20].

В испанской компании Psious первыми предложили совместно с технологиями виртуальной реальности в лечении фобий использовать биологическую обратную связь, таким образом, при помощи визуализации пациент учится контролировать свои психосоматические состояния.

Более широким распространением терапии с помощью средств виртуальной реальности занялась фирма Mimerse – она начала разрабатывать программное обеспечение в форме игр, которые находятся в свободном доступе для любого пользователя и не требуют присутствия терапевта. Результатом совместных разработок этой фирмы и Стокгольмского университета стала игра «Itsy», созданная для терапии боязни пауков.

Другое применение виртуальным технологиям в психотерапии нашли в реабилитации пациентов со стрессом и медитации [21].

Примером такого программного обеспечения VR может служить приложение DEEP – это игра, позволяющая расслаблять напряжённое сознание. Это позволяет сделать метод, упоминаемый ранее – биологическая обратная связь. Таким образом, чем лучше пользователь контролирует своё дыхание, тем глубже он погружается в красочный подводный мир этой игры. Техники дыхания, представленные в ней, являются приёмами дыхательных упражнений йоги.

Более упрощённые и доступные варианты – это игры с расслабляющим окружением и ненавязчивым музыкальным сопровождением. Их существует множество, наиболее известные из них: Nature Treks, Luna, Lumen, American Truck Simulator [22].

Также был рассмотрено использование виртуальной реальности и в психодинамическом направлении – было проведено несколько опытов использования VR-технологий в психодинамическом подходе, которые описаны более подробно в исследовательской работе Кристин Айхенберг (Christiane Eichenberg), *Application of «Virtual Realities» in Psychotherapy: Possibilities, Limitations and Effectiveness* 2007 г. [23].

В данный момент известны случаи успешные терапии, проведённые с помощью технологий виртуальной реальности по данным базы научно-исследовательских работ PubMed (ncbi.nlm.nih.gov): посттравматического стрессового расстройства (Дайфид, 2014; Ротбаум, 2014; Смит, 2015); страха открытого пространства и страха полётов (Мэлбос, 2013; Мэйерброкер, 2013; Пелиссоло, 2012; Питти, 2015); социальной тревожности (Андерсон, 2013; Сафир, 2012); боязни пауков (Шибан, 2013–2015). Положительные результаты дала и терапия управления стрессом посредством VR (Гаджиолини, 2014). Опыты терапии расстройства приёма пищи (Марко, 2014) и аутизма (Смит, 2014–2015) не принесли однозначно положительных результатов [24].

Но не только в психотерапии используют VR-технологии, намного чаще они применяются при обучении будущих специалистов.

Наиболее известный общественности случай использования технологий виртуальной реальности в этой сфере – это операция, проведённая Шафи Ахмедом в апреле 2014 г. в Королевском Госпитале, Лондон. С помощью технологии Google Glass, пока за прямой трансляцией операции наблюдало тысячи студентов, врач удалял раковую опухоль из пациента, попутно отвечая на вопросы, задаваемые в своеобразном «чате» в углу линзы.

Это был первый случай, когда зрители наблюдали операцию от первого лица – причём не только с телефона или компьютера, можно было подключить так же очки виртуальной реальности.

Но этот метод обучения не идеален: несмотря на то, что зритель может свободно рассматривать интересующие его детали, он всё равно остаётся пассивным наблюдателем – для практики полученных навыков создаются специальные VR-системы, реалистично симулирующие ситуацию. В созданном пространстве можно практиковать осмотр пациентов и их лечение [25].

Примером такой системы может служить комплекс Саманта, разработанный фирмой Medical Simulation. С помощью Саманты студенты-кардиологи могут свободно исследовать человеческое сердце. Программное обеспечение воссоздаёт полноразмерный макет человеческого тела, позволяет контролировать ввод контрастного вещества, а также предоставляет широкий спектр инструментов для различных операций, проводимых с сердцем. На мониторе же будут отображаться последствия действий пользователя VR-системы – Саманта снимает телеметрию и реалистично реагирует на действия врача. Дополнительно могут вводиться усложняющие операцию условия, такие как особенности здоровья пациентов или же нестандартные реакции на лекарства.

Также есть стандартизированные обучающие VR-системы для обучения медицинского персонала разных направлений. Например, компания HumanSim, используя технологии трёхмерных движков, выпускает разнообразные программы: основные принципы коммуникации с пациентами, оказания первой помощи. К тому же можно создавать собственные медицинские симуляции на движке от HumanSim, подходящие к ещё более специфичным направлениям медицины [26].

Ещё одно применение VR нашли в реабилитации пациентов.

Реабилитация – один из самых важных этапов на пути к полному выздоровлению или адаптации. Яркий пример – возникновение фантомных болей у потерявших конечность из-за несчастного случая или неудачной операции пациента. Фантомная боль может по-разному себя проявлять: жжением, зудом или покалыванием. До недавнего времени не было придумано эффективного метода избавления от них, пока в Технологическом университете Чалмерса (Гётеборг) не сделали следующий эксперимент: пациенту на место ампутированной руки прикрепили датчики, которые считывали импульсы сокращающихся мышц – компьютер же их перерабатывал в движения виртуально созданной руки, что отображалось в VR-очках.

Притом виртуальная конечность не просто шевелилась; ею можно было управлять автомобилем в виртуальной среде – таким образом, виртуальная среда «обманывала» мозг, показывая картинку того, что рука вполне себе существует, ей можно двигать и совершать некие действия.

После эксперимента пациент поделился своими ощущениями – по его словам, фантомные боли ослабли и начали появляться намного реже, чем до этого.

Ещё один способ использования VR технологий – лечение нейрофизиологических нарушений.

К примеру, система MindMaze, как заявляют разработчики, помогает мозгу восстанавливать и перестраивать нарушенные нейронные связи. Движения, совершаемые пациентами, отслеживаются этой системой, и они отображаются на экране. Программа предполагает выполнение пациентом задач разной сложности и, таким образом, происходит медленно лечение нейрофизиологических нарушений.

Зачастую, обезболивающие лекарства не до конца избавляют от сильных болей, которые испытывают люди, получившие обширные ожоги тела.

Для таких случаев создана VR-игра SnowWorld. Её сюжет разворачивается в снежном мире, пользователь должен атаковать снежными орудиями снеговиков и пингвинов. Отвлекаясь при помощи этой игры, пострадавшие от ожогов тратят намного меньше времени на мысли о боли, по данным исследований компании – 22 % вместо 76 %.

Говоря о инновациях виртуальной реальности в медицине, нужно упомянуть о более глобальном достижении информационных технологий в данном направлении – о медицинских системах [7, 8].

Сегодня компьютеры – неотделимая часть любого медицинского учреждения.

Фактически ещё в 1990 г. началась унификация вычислительной техники в здравоохранении.

На фоне появления новых болезней и лекарств и в связи с растущим притоком пациентов становится очевидно, что автоматизация медицины – это неизбежный и необходимый процесс для более эффективной работы здравоохранительной системы.

Автоматизированная обработка с электронным хранением данных становится необходимостью, поскольку ожидается строгая отчётность больших объёмов информации и её стандартизация.

Удобной обработки, хранения и использования конфиденциальной информации можно добиться с помощью электронного документооборота. Большинство больниц, клиник и других лечебных заведений перешло на него, а остальные – планируют как можно скорее его ввести [9, 10].

Прежде всего, благодаря информатизации медицины появляется возможность ввода оптимальной для учреждения базы

пациентов, хранения их личной информации, данных об оказанных услугах, диагнозах и болезнях, которые вводятся в электронную карту.

Такой формат данных упрощает врачу поиск и ориентацию в базе пациентов; ему значительно легче диагностировать болезни и составлять план последующего лечения и мониторинга. Пропадает нужда в «бумажной» работе, что упрощает работу не только врачам, но и всему медперсоналу учреждения.

Больше не потребуются повторные обследования, ведь возможность потери информации в медицинской системе стремится к нулю. К примеру, в учреждениях, в которых не был введён электронный формат данных, врачи в 11 % процентах случаев должны делать повторные исследования из-за утери бумажных свидетельств.

При помощи медицинской информационной системы осуществляется запись пациентов на приём к нужному врачу, причём в наименее загруженный филиал клиники, учитывая время работы специалистов.

Через МИС производится запись пациентов к нужным врачам и распределение пациентов по филиалам с учётом расписания смен сотрудников; формируется стабильная работа колл-центра, где обрабатываются обращения потенциальных пациентов.

МИС позволяет эффективно следить за состоянием склада, оперативно получая актуальную информацию о наличии или отсутствии препаратов или средств, затратах и полученных поставках, распределяет запасы по нуждам разных филиалов учреждения.

К МИС можно подключить кассовое оборудование, открывая тем самым возможность для произведения расчёта по услугам, также система предоставляет обширное поле взаимодействий со страховой организацией.

МИС позволяет собирать статистические данные, которые выявляют, каков уровень спроса на различные услуги, каких врачей предпочитают пациенты, какие филиалы более популярны и в какие часы наблюдается наибольший приток пациентов.

При помощи МИС составляется прейскурант на всевозможные виды услуг или программ, предоставляемых медицинским учреждением. Возможно внесение изменений в прейскурант, автоматизированная система учёта скидок, акций и личных бонусов пациентов. МИС сохраняет полную историю цен.

На основе МИС происходит контроль за сотрудниками учреждения, оценка успехов их деятельности, заполнение рабочего гра-

фика, основываясь на котором МИС ведёт вычисление заработной платы, принимая во внимание статус финансовых отношений с сотрудниками. Сервисные же ресурсы МИС дают разделять данные по уровню доступа – для сотрудников учреждения и руководителей.

Учитывая все вышеперечисленные достоинства медицинской информационной системы, становится очевидно, что с её помощью можно значительно повысить эффективность системы здравоохранения по всему миру.

Заключение

Каких же инноваций информационных технологий в медицине можно ожидать в ближайшем будущем? Прежде всего – повсеместное внедрение систем электронного документооборота.

Медицинские информационные системы, это можно уверенно сказать в связи с их доказанной высокой эффективностью, ожидается распространение по всем медицинским учреждениям. В дальнейшей перспективе можно предположить, что на стыке МИС и технологий искусственного интеллекта появится система, способная сама регулировать работу предприятия – в том числе выполнять такие задачи, как увольнение или прием сотрудников, снижение или повышение зарплаты, закупка или продажа лекарственных препаратов и так далее.

В перспективе технологии виртуальной реальности могут сделать психологические и реабилитационные услуги более доступными для людей, например, с ограниченными возможностями передвижения и жителей труднодоступных регионов: в данный момент единственная доступная для них квалифицированная психологическая помощь оказывается посредством беседы по Скайпу.

Но также нельзя не сказать о довольно неоднозначной перспективе развития терапии виртуальной реальности: своеобразная стандартизация терапевтических VR-сессий при работе с пациентами, поскольку результат сессии станет более предсказуемым, а терапия может стать менее персонализированной из-за чрезмерной регуляции симуляции.

VR-методы обучения будущих врачей, ввиду их крайней востребованности, расширяют спектр предоставляемого программного обеспечения, предоставляя новые системы обучения для ещё большего количества систем из сферы медицины.

Ещё одна вполне возможная перспектива развития VR-технологий в обучении специалистов – это её синтез с технологией

искусственного интеллекта. Таким образом, у системы появится способность анализировать ситуации и давать подсказки врачу, минимизируя врачебные ошибки.

Список литературы

1. Иванько А.Ф., Винокур А.И., Иванько М.А. Архитектура информационных мультимедиа систем: учебное пособие. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland (Германия), 2018. 210 p.
2. Ivanko A.F., Ivanko M.A., Kulikova E.V. Moscow Polytechnic University, Moscow, Security of information data. European journal of natural history. 2018. № 4. P. 118–120.
3. Иванько А.Ф., Иванько М.А., Бурцева М.Б. Дополненная и виртуальная реальность в образовании // Young Scientist. September. 2018. № 37(223). С. 11–16.
4. Фейламазова С.А. Информационные технологии в медицине: учебное пособие для медицинских колледжей. Махачкала: ДБМК, 2016. 163 с.
5. Christiane Eichenberg. Application of «Virtual Reality» in Psychotherapy: Possibilities, Limitations and Effectiveness. Virtual Reality. 2011. P. 469–484. DOI: 10.5772/12914.
6. Суворов К.А. Системы виртуальной реальности и их применение // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. 2013. № 9. С. 140–143.
7. Кузнецов П.П., Чеботаев К.Ю., Узденов Б.И. Медицина и виртуальная реальность 21 века: создание синтетических сред, тренды, инновации // Врач и информационные технологии. 2014. № 3. С. 72–80.
8. Виртуальная реальность в медицине [Электронный ресурс]. URL: <http://valkiriarf.livejournal.com/769462.html> (дата обращения: 24.12.2018).
9. Зинченко Ю.П., Меньшикова Г.Я., Баяковский Ю.М., Черноризов А.М., Войсунский А.Е. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы // Национальный психологический журнал. 2010. Т. 2. № 4. С. 64–71.
10. Устинова К.И., Черникова Л.А. Виртуальная реальность в нейрореабилитации // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2008. Т. 2. № 4. С. 34–39.
11. Мухин Ю.Ю., Лебедев Г.С. Классификация медицинских информационных систем // Транспортное дело России. 2012. № 6–2. С. 98–105.
12. Мухин Ю.Ю. Мониторинг качества и эффективности медицинской помощи // Информационные технологии в медицине: материалы XX Российского национального конгресса «Человек и лекарство» в Научно-исследовательском институте ревматологии РАМН (Москва, 17 апреля 2013). М.: ООО «Консэф», 2015. 16 с.
13. Зарубина Т.В. Направление информатизации здравоохранения России на современном этапе // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 10. С. 4–8.
14. Тимофеева А.В., Чернакова С.Э., Литвинова М.В., Аничков А.Д., Полонский Ю.З., Козаченко А.В. Медицинские аспекты разработки систем человекомашинного взаимодействия с использованием моделей виртуальной реальности для нейрохирургии. Тр. СПИИРАН. 2008. № 6. С. 184–196.
15. Кузнецов П.П., Чеботаев К.Ю., Узденов Б.И. Медицина и виртуальная реальность 21 века: создание синтетических сред, тренды, инновации // Врач и информационные технологии. 2014. № 3. С. 72–80.
16. Тимофеев М.Е., Шаповальянц С.Г., Полушкин В.Г., Валиев А.А., Валеев Л.Н., Гайнутдинов Р.Т., Андрияшин В.А., Зайнуллин Р.Х. Медицинские симуляторы: история развития, классификация, результаты применения, организация симуляционного образования // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2015. № 2. С. 53–59.

17. Мареев Г.О., Мареев О.В., Данилова Т.В., Алайцев И.К. Обзор систем виртуальной реальности для обучения хирургическим навыкам в области лица и шеи // Мир науки, культуры, образования. 2015. № 6. С. 92–96.
18. Гольдштейн С.Л., Печеркин С.С., Гольдштейн М.Л. О системах виртуальной дополненной реальности и их применении в медицине // Системная интеграция в здравоохранении. 2011. № 1. С. 5–16.
19. Войскунский А.Е., Меньшикова Г.Я. О применении систем виртуальной реальности в психологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2008. № 1. С. 22–36.
20. Недбаева С.В., Недбаев Д.Н. Виртуальная психологическая практика: реалии и ресурсы // The educational and social sciences in the 21 century. Bratislava, 2013. С. 187–190.
21. Кузьмина А.С. Анализ зарубежных исследований опыта человека в среде виртуальной реальности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. С. 102–112.
22. Антюшин А.О. Использование технологий виртуальной реальности для определения профессиональной пригодности и подготовки кадров опасных профессий // Виртуальная и дополненная реальность 2016: состояние и перспективы: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции (Москва, 28–29 апреля 2016). М.: Московский государственный образовательный комплекс, 2016. С. 34–36.
23. Глыбочко П., Аляев Ю., Дзеранов Н., Хохлачев С., Фиев Д., Петровский Н., Сирота Е. Виртуальные технологии в современной хирургии // Российские медицинские вести. 2014. № 1. С. 4–16.
24. Горюнова В.В., Горюнова Т.И., Кухтевич И.И. Основные тенденции в развитии медицинских информационных систем // Фундаментальные исследования. 2015. № 5–1. С. 58–62.
25. Гусев А.В. Медицинские информационные системы: состояние, уровень использования и тенденции // Врач и информационные технологии. 2011. № 3. С. 6–14.
26. Гулиева И.Ф., Рюмина Е.В., Гулиев Я.И. Вопросы эффективности информационных технологий в медицине // Врач и информационные технологии. 2011. № 5. С. 6–18.

УДК 681.58

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ДАТЧИКОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

Статья посвящена обзору традиционных и современных, наиболее передовых, методов измерения и анализа сигналов датчиков частоты вращения роторов различных промышленных установок. Рассмотрены основы и принципы организации новых систем диагностики, обрабатывающих базы данных по полученным сигналам, их составные части, используемое в них оборудование и математическое обеспечение. Проведённый анализ позволил предложить новый метод технической диагностики с использованием передовых разработок на основе создания моделей (паттернов) предсказательной аналитики. Показана и доказана важность, актуальность и перспективность данного направления разработок, так как новые принципы организации систем измерения частоты вращения и обработки полученных данных позволяют добиться качественного повышения показателей переходных процессов, быстродействия систем регулирования и в конечном итоге существенного повышения надёжности самих роторных машин. Также важным следствием замены традиционных систем измерения и обработки сигналов с датчиков частоты вращения на новые, является повышение надёжности обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией, а также улучшение протекания технологических процессов производства различных видов продукции. Таким образом, возможно решить важные народнохозяйственные задачи, являющиеся одними из наиболее приоритетных в нашей стране. В результате проведённого анализа развития современной науки, в частности предложенных методов предиктивной аналитики, предложен план проведения дальнейших исследований и создания изобретений в отраслях создания и эксплуатации роторных машин.

Ключевые слова: измерение частоты вращения, роторная машина, предсказательная аналитика, система автоматического регулирования, экспертная диагностика

USE OF METHODS OF PREDICTIVE ANALYTICS FOR PROCESSING OF SIGNALS FROM SENSORS OF FREQUENCY OF ROTATION OF ROTOR MACHINES

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

Article is devoted to the review traditional and modern, most front lines, methods of measurement and the analysis of signals of sensors of frequency of rotation of rotors of various plants. Basics and the principles of the organization of the new systems of diagnostics processing databases on the received signals, their components, the equipment used in them and software are covered. The carried-out analysis allowed to offer a new method of technical diagnostics with use of the advanced developments on the basis of creation of models (patterns) of predictive analytics. Importance, relevance and prospects of this direction of developments as the new principles of the organization of systems of measurement of frequency of rotation and processing of the obtained data allow to achieve high-quality increase in indicators of transition processes, speed of systems of regulation and finally significant increase in reliability of rotor machines is shown and proved. Also important consequence of replacement of traditional systems of measurement and processing of signals from rotation frequency sensors on new, is increase in reliability of providing industrial and household consumers with the electric power and also improvement of course of technological processes of production of different types of products. Thus, it is possible to solve the important economic problems which are some of the most priority in our country. As a result of the carried-out analysis of development of modern science, in particular the offered methods of predictive analytics, the plan of carrying out further researches and creation of inventions in the industries of creation and operation of rotor machines is offered.

Keywords: measurement of frequency of rotation, rotor machine, predictive analytics, system of automatic control, expert diagnostics

В настоящее время в различных отраслях техники применяется огромное множество различных роторных машин. Во многих из этих машин частота вращения ротора является основным регулируемым параметром. Это, например, турбомашины, приводы автомобилей, шпиндели прецизионных станков и т.п. [1].

Основной задачей регулирования частоты является как можно более точное поддержание определённой частоты вращения (например, в энергетических машинах это

связано с необходимостью обеспечения заданного значения частоты электрического тока, вырабатываемого генератором). Также часто не допускается резкое и сильное превышение (заброс) частоты вращения ротора над номинальным значением даже на непродолжительное время, так как это может привести к поломке элементов ротора, на которые в этом случае будут действовать большие центробежные силы, величина которых пропорциональна квадрату частоты вращения.

Во многих непрерывных технологических процессах используются несколько последовательно связанных электродвигателей, где не допускается даже небольшое изменение частоты вращения одного из двигателей. Строгое согласование частот вращения индивидуальных электрических приводов требуется, например, для машин, производящих намотку материалов в рулоны, бухты, барабаны, а также при непрерывной прокатке металлических листов, так как рассогласование скоростей может привести к недопустимым напряжениям, деформациям и даже обрывам материала.

Цель исследования: выбор наиболее совершенного при современном уровне развития науки и техники принципа обработки сигналов от датчиков, обеспечивающих наибольшее быстродействие системы автоматического регулирования роторной машины, а также наивысшее качество регулирования и возможность своевременного предсказания появления недопустимых дефектов роторной системы.

Материалы и методы исследования

Для разработки плана достижения цели данного исследования необходимо вначале произвести краткий обзор существующих на данный момент средств и методов измерения частоты вращения роторов.

Для измерения частоты вращения роторов долгое время использовались центробежные датчики, подающие непрерывно изменяющийся (аналоговый) сигнал – силовое воздействие на систему регулирования, однако в последнее время они применяются всё реже. Сейчас появились более совершенные конструкции датчиков частоты вращения, обеспечивающих большее быстродействие и точность регулирования. К тому же появилась необходимость обработки дискретных сигналов от датчиков с помощью электронно-вычислительных систем с целью выработки управляющих воздействий на регулирующие устройства.

В современном машиностроении датчики частоты вращения, являющиеся первичными измерительными преобразователями в системе регулирования, вырабатывают дискретные сигналы и выполняются следующих типов [2]:

1) тахогенераторы (индукционные датчики), вырабатывающие аналоговое синусоидальное напряжение, из которого затем формируются дискретные прямоугольные импульсы;

2) фотоэлектрические датчики, в которых световой поток направляется от излучателя на фотоприёмник (фотоэлемент, фотосопротивление, фотодиод, фототранзистор)

через прерыватель светового потока, например через диск с отверстиями;

Существует два принципа построения дискретных систем измерения скорости на основе перечисленных датчиков:

1) подсчёт числа импульсов за фиксированный промежуток времени;

2) подсчёт импульсов фиксированной частоты, вырабатываемых кварцевым генератором за промежуток времени между импульсами, выдаваемыми тахогенератором. При этом способе с повышением величины измеряемой скорости точность измерения падает.

По указанным соображениям более распространённым является первый способ.

Для обработки дискретных сигналов наиболее широко используются цифровые измерительные приборы и средства обработки получаемой информации, которые обладают следующими преимуществами по сравнению с аналоговыми:

– удобство отсчёта и регистрации измерений;

– высокая точность измерений при полной автоматизации процесса;

– возможности сочетания с микропроцессорными обрабатывающими устройствами;

– возможности дистанционной передачи и усиления измерительных сигналов.

Из проведённого обзора можно сделать следующий вывод: на данный момент для обработки полученной с датчиков информации наиболее целесообразно использование цифровых измерительных и обрабатывающих устройств. Однако рассмотренные способы измерений обладают одним существенным недостатком – ограниченным быстродействием, что в большинстве случаев не позволяет производить диагностику предполагаемых неполадок в работе роторных машин в режиме реального времени. Данные неполадки лишь констатируются постфактум, что может привести к разрушению деталей роторных машин, либо к существенному нарушению протекания выполняемых ими технологических операций и к появлению брака продукции.

Для исключения рассмотренного недостатка предлагается использовать другой принцип построения дискретной системы измерения скорости на основе аналогового тахогенератора: не выполнять преобразование полученного с датчика сигнала в прямоугольную форму, а обрабатывать сигнал непосредственно в аналоговой форме (естественно, предварительно оцифровав его с помощью АЦП – аналого-цифрового преобразователя). При анализе сигнала предлагается использовать современные средства

компьютерной экспертной диагностики, а в частности предиктивного анализа (предсказательной аналитики), которые позволяют более быстро отслеживать изменение числа оборотов роторных машин, а главное, выполнять диагностику роторного оборудования в режиме реального времени.

Предсказательная аналитика использует методы статистического и интеллектуального анализа данных, анализируя текущие и исторические показания датчиков для составления предсказаний о будущих значениях параметров. Из исторических данных формируются типичные зависимости – паттерны, описывающие поведение системы в тех или иных ситуациях.

В настоящее время экспертные системы используются для решения различных типов задач в самых разнообразных проблемных областях, таких как финансы, нефтяная и газовая промышленность, энергетика, транспорт, фармацевтическое производство, космос, химия, образование, телекоммуникации и связь и др.

Методы предиктивного анализа достаточно давно используются в биржевой и рыночной аналитике, для предсказания дальнейшего движения курсов, цен и т.п.

В промышленности экспертные методы используются для составления планов производственных процессов, например основного производственного плана-графика (детализированного оперативного производственного плана, на основе которого осуществляется планирование и управление заказами на закупку и производство), для принятия оптимальных решений по развитию производства, формирования программы сбыта (уточнённая и утверждённая программа сбыта является основой плана производства, интеграция данных этих планов существенно облегчает процесс производственного планирования и обеспечивает их неразрывную связь), осуществления финансового планирования и бюджетирования.

Предсказательная аналитика развивается вместе с «Наукой о данных» [3] – разделом информатики, изучающим проблемы анализа, обработки и представления данных в цифровой форме. Данный раздел информатики явился развитием таких разделов высшей математики, как статистика, теория вероятностей, теория игр и пр. Наука о данных объединяет методы по обработке данных в условиях больших объёмов и высокого уровня параллелизма, статистические методы, методы интеллектуального анализа данных (например, метод нейросетевого программирования) и приложения искусственного интеллекта для работы

с данными, а также методы проектирования и разработки баз данных.

Для прогнозирования используются различные методы машинного обучения, анализа данных, деревья решений, регрессионный анализ, нейронные сети и глубокое обучение.

Для обработки сигналов с датчиков применение данного метода пока не нашло распространения, однако используются более простые методы экспертных оценок по накопленным данным измерений за время эксплуатации существующих машин. Например, существуют системы технической диагностики состояния роторных машин на основе измеренных значений вибрации на подшипниках, опорах и фундаменте. Эти системы позволяют только констатировать текущее техническое состояние машины и не могут обрабатывать сигналы в реальном времени.

Применение паттернов предсказательной аналитики при измерении частоты вращения представляется возможным не для всех роторных машин, а только для тех, у которых существуют исследованные и доказанные закономерности в изменении данного параметра при возникновении различных отслеживаемых ситуаций.

Средства предиктивного анализа рекомендуется применять, например, к электродвигателям, насосам, компрессорам, нагрузкам которых изменяется в зависимости от протекания достаточно полно исследованных технологических процессов. В случае измерения частоты вращения энергетической турбинной установки этот метод не будет применим, так как нагрузка электрогенератора изменяется хаотично вследствие того, что к нему подключено огромное количество различных потребителей энергии. В соответствии с хаотичным изменением нагрузки, скорость вращения ротора турбогенератора будет изменяться также непредсказуемым образом.

В случаях, где это возможно, предиктивная аналитика показаний датчиков частоты вращения поможет выявить изменения в поведении роторных систем заранее, до срабатывания традиционных механизмов сигнализации, что позволяет получить больше времени на анализ и проведение корректирующих мероприятий. Инструменты предиктивной аналитики изучают историю неполадок и аппаратных сбоев и сравнивают эти случаи с текущими данными, получаемыми с датчиков оборудования для выявления закономерностей до возникновения аварии.

Простейшим хорошо изученным приёмом предсказания изменения какого-либо параметра является выявление неста-

ционарности данного параметра. Данный приём используется в теории статистики и состоит в следующем: при появлении нестационарности изменения параметра статистические характеристики, вычисленные в коротких одинаковых интервалах времени, начинают существенно изменяться [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Описанные в данной статье идеи являются подготовительной стадией усовершенствования методов измерения частоты вращения роторов машин, а главное, обработки полученных данных [5].

Для дальнейшего исследования практической применимости предложения, озвученного в данной статье, необходимо выявление характерных паттернов изменения частоты вращения конкретной роторной системы, чего можно добиться при исследовании большого количества статистического материала. В настоящее время существует достаточное количество компьютерных программ, позволяющих осуществить такой анализ.

Предлагаются следующие этапы дальнейшего проведения исследований по данной теме:

1. Выбор программы, наиболее удобной для статистической обработки данных по частоте вращения роторных систем.

2. Сбор статистической информации по изменению частоты вращения конкретной роторной системы при разных характерных для неё событиях: например, изменение нагрузки приводного механизма, появление неисправности подшипника, повреждение элемента ротора и т.п.

3. Обработка собранной информации и исключение помех, имеющих место в любой измерительной системе. При этом можно использовать, например, методику, описанную в статье [6].

4. Выявление паттернов, характерных для каждого события. При этом каждый выявленный паттерн должен являться предметом отдельного исследования, так как может принести пользу при его использовании для исследования подобной роторной системы.

К методам предсказательной аналитики, из которых необходимо подобрать наилучшие для решения указанных задач, относятся:

1. Регрессионные методы: линейная регрессия, логистическая и множественная логистическая регрессия, пробит-регрессия, временные ряды; классификации и регрессионные деревья; многомерные адаптивные регрессионные сплайны;

2. Методы машинного обучения: искусственные нейронные сети, многослойный перцептрон, радиальные базисные функции, метод опорных векторов, наивный байесовский классификатор, метод k ближайших соседей, геопространственное предсказательное моделирование, генетический алгоритм.

Предложенную методику можно использовать также и для анализа других параметров работы роторных систем, а также для выявления следующих их дефектов [7]:

- неуравновешенность роторов;
- дефекты соединения роторов в валопроводе;
- дефекты в центровке проточной части;
- неравножесткость сечений роторов;
- дефекты шеек роторов и дефекты вкладышей;
- неконсервативные силы в подшипниках и уплотнениях;
- внезапные динамические воздействия на роторы.

Попутно можно отметить ещё одну задачу для предиктивных алгоритмов [8] – это техническое обслуживание и ремонт оборудования. В основном предприятия используют базовые механизмы контроля, предоставленные производителями оборудования. Но потенциал этих средств ограничен, поскольку они не позволяют проанализировать дополнительные факторы, влияющие на состояние оборудования, и заранее спрогнозировать критическую ситуацию. Таким образом, сотрудники отдела технического обслуживания получают множество данных, но не знают, как эти данные связаны между собой. В итоге реакция от ремонтных служб следует только после отказа оборудования, что ведет за собой простои и, следовательно, дополнительные расходы. Прогнозная аналитика средствами машинного обучения и искусственного интеллекта проводит непрерывный анализ больших данных, выполняет визуализацию данных о состоянии оборудования на текущий момент и прогнозирует сценарии возникновения отказов оборудования. В результате сокращаются внеплановые простои, оптимизируются работы, уменьшается время техобслуживания, а управляющий персонал получает углубленный анализ причин отказов оборудования.

Современное развитие науки и техники показывает, что в дальнейшем будут развиваться продвинутые системы предиктивного анализа, которые будут самостоятельно обучаться, извлекать знания, предсказывать, адаптироваться и, возможно, работать автономно [3].

Заключение

Таким образом, цель данной работы была выполнена – произведён обзор и анализ наиболее современных и даже, возможно, революционных принципов организации систем измерения частоты вращения роторов машин и обработки полученных данных. Выработан ряд рекомендаций по дальнейшему развитию и отработке данного метода на практике.

Список литературы

1. Ушаков В.Я. Электрические системы и сети: учебное пособие для СПО. М.: Издательство Юрайт, 2018. 446 с.
2. Пена Д.В., Цыпин Б.В., Ляшенко А.В. Способ обработки сигналов в системе аварийной защиты с индукционных датчиков частоты вращения // Надёжность и качество – 2011: труды Международного 120 симпозиума: в 2-х т. Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. Т. 2. С. 432–433.
3. Ржажинский А. База знаний. Предсказательная аналитика от SAP [Электронный ресурс]. URL: <https://sapland.ru/kb/articles/stats/predskazatelinyaya-analitika-ot-sap.html> (дата обращения: 24.01.2019).
4. Ахлюстин С.Б., Нарушев И.Р., Мальцев С.А. Формирование комплексного показателя качества объектов со слабоформализуемыми признаками // Цифровизация агропромышленного комплекса: материалы I Международной научно-практической конференции (г. Тамбов, 10–12 октября 2018 г.). Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2018. С. 185–187.
5. Лебедев С.А. Курс лекций по философии науки: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 318 с.
6. Дмитриенко А.Г., Ляшенко А.В., Цыпин Б.В. Вторичный преобразователь информационно-измерительной системы с повышенной помехоустойчивостью для измерения частоты вращения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 1. С. 31–36.
7. Абрамов И.Л. Вибродиагностика энергетического оборудования: учебное пособие по дисциплине «Диагностика в теплоэнергетике». Кемерово: КузГТУ, 2011. 81 с.
8. Эрик Сигель. Просчитать будущее: Кто кликнет, купит, сойдёт или умрёт = Predictive Analytics. М.: Альпина Паблишер, 2014. 374 с.

УДК 681.51

ДОСТАТОЧНОЕ УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОДНОТИПНЫМИ ПОДСИСТЕМАМИ

Ильясов Б.Г., Сaitова Г.А., Халикова Е.А.

ФГОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,
e-mail: khalikova_elena@mail.ru

В статье рассматривается решение задачи определения абсолютной устойчивости однотипных многосвязных систем автоматического управления, которые содержат в каждом канале управления идентичную нелинейность. Известна постановка и решение задачи абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной одномерной системы с одним входом и одним выходом, у которой нелинейность расположена в заданном угле. Решение данной задачи осуществляется на основе частотного критерия В.М. Попова, но данный критерий не подходит для определения абсолютной устойчивости многосвязных систем автоматического управления. Поэтому в статье предлагается формулировка и пример применения частотного критерия, позволяющего определить достаточное условие абсолютной устойчивости нелинейной многосвязной системы управления, основанного на системном описании многосвязных систем автоматического управления через характеристики подсистем и многомерные элементы связи между ними. В качестве индивидуальной характеристики отдельной подсистемы рассматривается ее передаточная функция в режиме управления, когда подсистема функционирует в изолированном от других подсистем состоянии, сложность представляет наличие внутренних нелинейных связей и взаимозависимость подсистем. Эффективность предложенного критерия подтверждается путем имитационного моделирования с использованием интерактивного инструмента для моделирования, имитации и анализа динамических систем Simulink.

Ключевые слова: нелинейная система управления, абсолютная устойчивость, достаточное условие, показатели качества управления

SUFFICIENT CONDITION OF STABILITY OF NONLINEAR MULTIVARIABLE CONTROL SYSTEMS WITH IDENTICAL SUBSYSTEMS

Ilyasov B.G., Saitova G.A., Khalikova E.A.

Federal State Educational Institution of Higher Education Ufa State Aviation Technical University, Ufa,
e-mail: khalikova_elena@mail.ru

The article deals with the solution of the problem of determining the absolute stability of the same type of multi-connected control systems, which contain an identical nonlinearity in each control channel. Known formulation and solution of the problem of absolute stability of the equilibrium position of a nonlinear system with one input and one output, in which the nonlinearity is located at a given angle. The solution of this problem is based on the frequency criterion of V. M. Popov., but this criterion is not suitable for determining the absolute stability of multi-connected systems. Therefore, the article proposes a frequency criterion that allows to determine a sufficient condition for the absolute stability of a nonlinear multi-connected control system based on the system description of the MSAU through the characteristics of connections and characteristics of subsystems. As an individual characteristic of a separate subsystem, its transfer function is considered in the control mode, when the subsystem operates in an isolated condition from other subsystems. The effectiveness of the proposed criterion is confirmed by modeling with Simulink.

Keywords: nonlinear control system, absolute stability, sufficient condition, control quality indicators

Рассматривается классическая задача анализа устойчивости положения равновесия нелинейных гомогенных многосвязных систем, которые в каждом канале содержат нелинейность, расположенную в заданном угле.

Известна постановка и решение задачи [1] абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной системы с одним входом и одним выходом, у которой нелинейность расположена в заданном угле. Решение данной задачи осуществляется на основе подхода к проектированию сложных систем на основе описания МСАУ через характеристики подсистем и многомерные элементы связи между ними [2–4].

В данной статье рассматривается решение данной задачи для класса нелинейных

гомогенных многосвязных систем автоматического управления.

Цель исследования: определить достаточное условие абсолютной устойчивости нелинейной многосвязной системы управления, основанное на системном описании МСАУ через характеристики связей и характеристики подсистем

Для описания системы используются методы теории управления, а именно: частотные методы; методы теории функций действительного и комплексного переменного и функционального анализа; методы системного анализа; основы матричного исчисления; методы теории множеств; методы линейной алгебры; методы имитационного и математического моделирования.

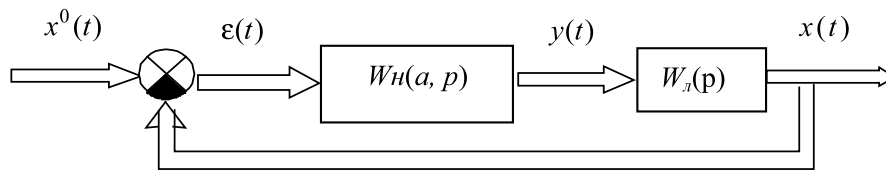


Рис. 1. Структурная схема нелинейной МСАУ

Пусть имеется нелинейная гомогенная многосвязная система (рис. 1) с несвязными регуляторами, при условии, что $x^0(t) = 0$, описываемая следующими операторными уравнениями:

$$X(p) = W_n(a, p)W_n(p)E(p), \quad (1)$$

где p – оператор дифференцирования.

Идентичные нелинейности находятся только в прямых каналах связи, а перекрестные связи между подсистемами являются голономными. Нелинейности (рис. 2) представляют собой однозначные статические характеристики произвольного вида, удовлетворяющие условию $0 \leq \frac{F(\varepsilon)}{\varepsilon} \leq k$.

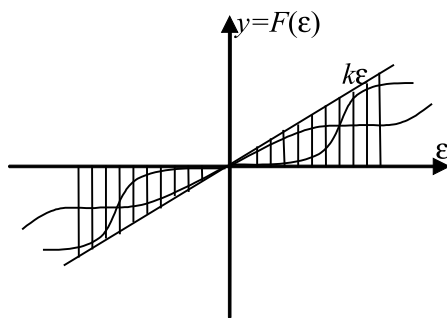


Рис. 2. Характеристики нелинейностей МСАУ

Все линейные звенья подсистем в разомкнутом состоянии объединены в линейную часть с передаточной функцией $W_n(p)$. Будем также предполагать, что линейные части подсистем устойчивы и порядок их астатизма не превышает двух.

Введем следующие обозначения:

$$\Phi_i(a, p) = \frac{W_{ni}[a, p] W_{nii}(p)}{1 + W_{ni}[a, p] W_{nii}(p)}, \quad (2)$$

$\Phi_i(a, p)$ – передаточная функция i -й сепаратной подсистемы в режиме управления.

Для гомогенных систем динамические характеристики локальных подсистем идентичны:

$$\Phi_1[a, p] = \Phi_2[a, p] = \dots = \Phi[a, p].$$

Характеристическое уравнение нелинейной гомогенной МСАУ:

$$1 + h_2 \Phi^2[a, p] + h_3 \Phi^3[a, p] + \dots + h_n \Phi^n[a, p] = 0, \quad (3)$$

где характеристика многомерной связи h_i равна

$$h_m(p) = \sum_{\substack{i, j, \dots, k=1 \\ m}}^n H_{ij, \dots, k}(p),$$

$$H_{i, k}(p) = \frac{\det[W_{ij}(p) \gamma_{ij}]_{k \times k}}{\det[W_{ij}(p) \delta_{ij}]_{k \times k}}, \quad k = \overline{2, n},$$

$$\text{где } \gamma_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j, \\ 1, & i \neq j, \end{cases} \quad k = \overline{2, n},$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad k = \overline{2, n}.$$

Рассмотрим следующую задачу: требуется определить условия абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной гомогенной многосвязной системы.

Анализ абсолютной устойчивости

С учетом (3) введем в рассмотрение алгебраическое уравнение связи относительно переменной x следующего вида:

$$1 + h_2 x^2 + h_3 x^3 + \dots + h_n x^n = 0, \quad (4)$$

где $\Phi[a, p] = x$, а $\{x_i\}$ – множество корней уравнения связи, где $i = 1, 2 \dots n$.

Условием наличия в нелинейной многосвязной системе периодических движений является прохождение локальной амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФХ) $\Phi(a, j\omega)$ подсистемы через одно из значений множества корней $\{x_i\}$ уравнения (4), играющих роль критических точек [5, 6].

В этом случае справедливо равенство

$$\Phi_i(a, j\omega) = \frac{W_{ni}(a) W_{nii}(j\omega)}{1 + W_{ni}(a) W_{nii}(j\omega)} = x_i, \quad (5)$$

где $x_i = \alpha_i \pm j\beta$, $i = 1, 2 \dots n$.

Выделим линейные и нелинейные характеристики разомкнутой подсистемы из уравнения (5):

$$W_n(a)W_n(j\omega) = \frac{\Phi(a, j\omega)}{1 - \Phi(a, j\omega)}, \quad (6)$$

где $W_n(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$, а коэффициент передачи нелинейного элемента возьмем предельным из диапазона $0 \leq \frac{F(\epsilon)}{\epsilon} \leq k$, т.е. $W_n(a) = k$.

Подставляя x_i вместо $\Phi(a, j\omega)$ в уравнение (6), получим

$$W_n(a)W_n(j\omega) = \frac{x_i}{1 - x_i} = c_i + jd_i$$

или

$$kW_n(j\omega) = \frac{x_i}{1 - x_i} = c_i + jd_i.$$

Откуда получаем условие, при котором нелинейная многосвязная система находится на границе устойчивости

$$W_n(j\omega) = \frac{x_i}{(1 - x_i)} \cdot \frac{1}{k} = \frac{c_i + jd_i}{k} = x_i^*,$$

$$i = 1, 2 \dots n, \quad (7)$$

где x_i^* – назовем модифицированным корнем.

Следовательно, корректна формулировка критерия абсолютной устойчивости МСАУ в следующем виде.

Если гомогенная многосвязная система состоит из подсистем, устойчивых или нейтральных в разомкнутом состоянии и содержащих нелинейные элементы с характеристиками $y = F(\epsilon)$, лежащими в диапазоне $0 \leq \frac{F(\epsilon)}{\epsilon} \leq k$, то для абсолютной

устойчивости положения равновесия этой системы достаточно, чтобы АФХ $W_n(j\omega)$ не охватывала ни один из модифицированных корней x_i^* , $i = 1, 2 \dots n$ (рис. 3).

Таким образом, анализ абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной гомогенной многосвязной системы состоит из следующих этапов:

1) определение линейных характеристик разомкнутых подсистем $W_n(j\omega)$;

2) определение диапазона нелинейных характеристик $0 \leq \frac{F(\epsilon)}{\epsilon} \leq k$;

3) нахождение корней характеристического уравнения связи x_i ;

4) вычисление модифицированных корней x_i^* , $i = 1, 2 \dots n$;

5) построение на комплексной плоскости годографа $W_n(j\omega)$ и модифицированных корней x_i^* , $i = 1, 2 \dots n$;

6) оценка абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной гомогенной многосвязной системы по частотному критерию.

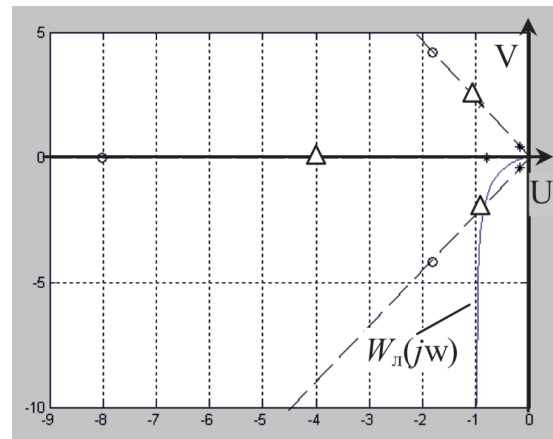


Рис. 3. Расположение относительно годографа модифицированных корней: $\circ$ – устойчивой системы; $*$ – неустойчивой системы; Δ – на границе устойчивости

Зная АФХ $W_n(j\omega)$ подсистем, из соотношения (7) можно получить предельное значение k для диапазона, в котором могут располагаться нелинейные характеристики произвольной формы:

$$k \frac{x_i}{(1 - x_i)} \cdot \frac{1}{W_n(j\omega)} = \frac{c_i + jd_i}{W_n(j\omega)}, i = 1, 2 \dots n. \quad (8)$$

Это можно сделать в следующем порядке:

- определить линейные характеристики разомкнутых подсистем $W_n(j\omega)$;

- построить на комплексной плоскости относительно параметра k кривые D -разбиения для каждого модифицированного корня, при $i = 1, 2 \dots n$.

- определить устойчивую область по k и вещественные значения k , при которых нелинейная гомогенная многосвязная система будет устойчива.

Пример анализа влияния параметров системы управления на абсолютную устойчивость

Определить предельное значение k для диапазона, в котором могут располагаться нелинейные характеристики, при которых у трехсвязной системы (рис. 1) будет абсолютно устойчивое положение равновесия.

Передаточная функция объекта имеет вид

$$W_{ij} = \frac{1}{s(s+1)} \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & -4,5 & 1 \end{bmatrix}.$$

1. Передаточные функции $\Phi_i(a, p)$, $i = 1, 2, 3$ сепаратных каналов в режиме управления

$$\Phi_i(a, p) = \frac{W_{ii}(a) W(p)}{1 + W_{ii} W(p)} = \frac{k}{s^2 + s + k}, \quad (9)$$

где $W_{ii}(a) = k$, $i = 1, 2, 3$.

2. Находим корни характеристического уравнения связи x_i . Характеристическое уравнение имеет вид

$$1 + h_2 \Phi^2[a, p] + h_3 \Phi^3[a, p] = 0,$$

где $h_2 = 4$, $h_3 = 1$.

Корни характеристического уравнения связи $1 + 4x_2 + x_3 = 0$ равны $x_1 = -4,06$, $x_{2,3} = 0,03 \pm j0,5$.

3. Выделим линейные и нелинейные характеристики разомкнутой подсистемы из уравнения (9) и вычислим значения $K_i(j\omega)$ для каждого корня характеристического уравнения:

$$W_{ii}(j\omega) = \frac{1}{(s+1)s} = \frac{1}{(j\omega)^2 + j\omega};$$

$$K_1(j\omega) = \frac{x_1}{1 - x_1} \cdot \frac{1}{W_{ii}(j\omega)} = \frac{-0,8}{W_{ii}(j\omega)},$$

$$K_2(j\omega) = \frac{x_2}{1 - x_2} \cdot \frac{1}{W_{ii}(j\omega)} = \frac{-0,18 + 0,42j}{W_{ii}(j\omega)},$$

$$K_3(j\omega) = \frac{x_3}{1 - x_3} \cdot \frac{1}{W_{ii}(j\omega)} = \frac{-0,18 - 0,42j}{W_{ii}(j\omega)}.$$

4. Построим кривые D -разбиения $K_i(j\omega)$, $i = 1, 2, 3$ на комплексной плоскости (рис. 4). Важными являются только вещественные значения k . Значения k при различных корнях характеристического уравнения будут располагаться в следующем диапазоне:

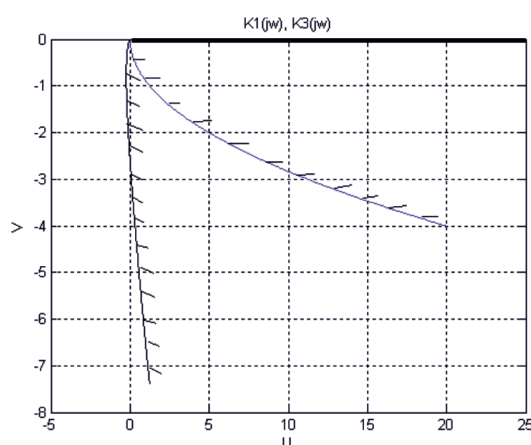
$$0 \leq k_1 \leq +\infty; 0 \leq k_2 \leq 0,22; 0 \leq k_3 \leq +\infty.$$

Из всех полученных значений выбирается минимальная область вещественных значений $0 \leq k \leq 0,22$. Это значения k , при которых нелинейная трехсвязная система с нелинейными характеристиками произвольного вида, лежащими в диапазоне

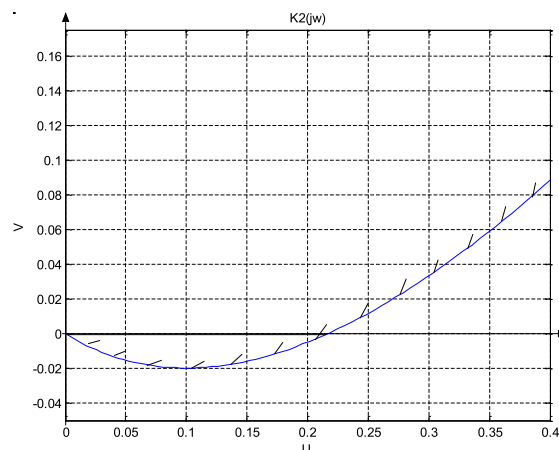
$$0 \leq \frac{F(\varepsilon)}{\varepsilon} \leq 0,22 \text{ будет устойчивой.}$$

Пусть нелинейная характеристика находится в диапазоне $0 \leq \frac{F(\varepsilon)}{\varepsilon} \leq 1$, т.е. $k = 1$ лежит за пределами диапазона $0 \leq k \leq 0,22$. В этом случае положение равновесия системы неустойчивое (рис. 5).

Если нелинейная характеристика находится в диапазоне $0 \leq \frac{F(\varepsilon)}{\varepsilon} \leq 0,1$, т.е. $k = 0,1$ лежит в диапазоне $0 \leq k \leq 0,22$, то положение равновесия системы устойчивое, что подтверждается результатами моделирования (рис. 6).



а)



б)

Рис. 4. Значения k при различных корнях характеристического уравнения:
а) $0 \leq k \leq +\infty$; б) $0 \leq k \leq 0,22$

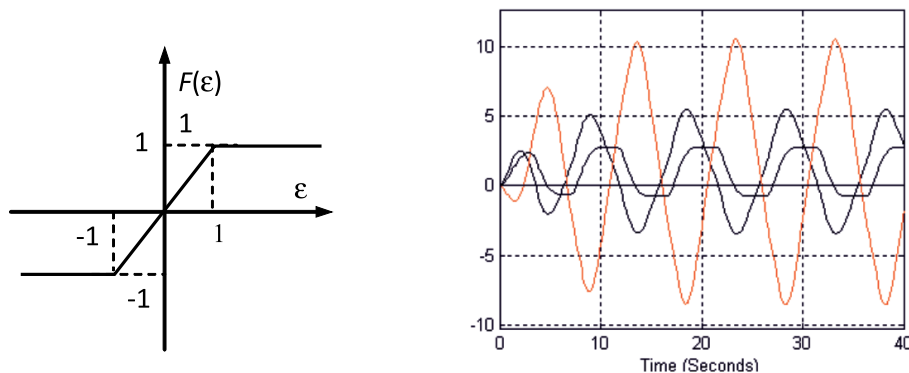


Рис. 5. Вид нелинейности и переходные процессы при $k = 1$

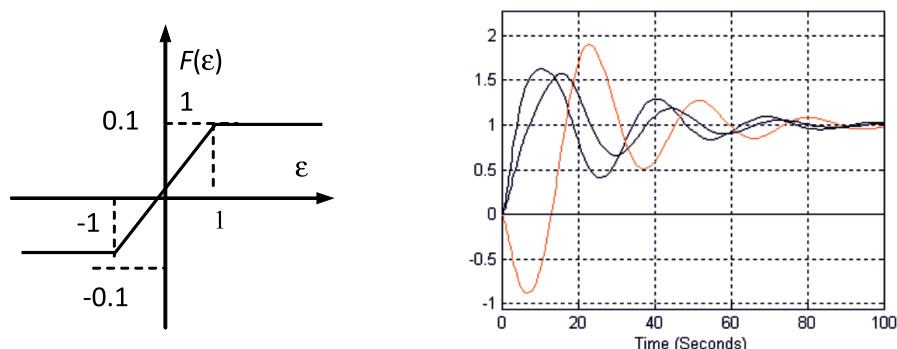


Рис. 6. Вид нелинейности и переходные процессы при $k = 0,1$

Заключение

Таким образом, предложенный частотный критерий дает достаточное условие абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной гомогенной многосвязной системы автоматического управления.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 18-08-00702 А «Развитие методов анализа устойчивости многосвязных динамических систем управления сложными техническими объектами», № 18-08-01299 А «Проектирование интеллектуальных многосвязных систем управления статически неустойчивыми автономными подвижными объектами на основе методов нелинейной динамики, машинного обучения и искусственных нейронных сетей».

Список литературы

1. Кудинов Ю.И., Пашенко Ф.Ф. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB – SIMULINK) / 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2018. 312 с.

2. Петров Б.Н., Черкасов Б.А., Куликов Г.Г. Частотный метод анализа и синтеза многомерных систем автоматического регулирования // Доклады АН СССР. 1979. Т. 247. № 2. С. 304–307.

3. Мунасыпов Р.А., Муслимов Т.З. Групповое управление беспилотными летательными аппаратами на основе метода пространства относительных состояний // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 2. С. 120–125.

4. Муслимов Т.З., Мунасыпов Р.А. Проблемы поддержки принятия решений при групповом управлении БПЛА // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды II Всероссийской конференции. Уфа, 2014. С. 196–199.

5. Ильясов Б.Г., Сайтова Г.А. Анализ устойчивости динамических систем, представленных в полиномиальной векторно-матричной форме // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2018. № 2. С. 3–10.

6. Ильясов Б.Г., Сайтова Г.А., Халикова Е.А. Интеллектуальный анализ данных при проектировании многосвязных систем автоматического управления // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды VI Всероссийской конференции (Уфа, 28–31 мая). Уфа, 2018. Т. 3. С. 17–20.

УДК 621.314.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-ДУГОВОЙ СВАРКИ С ПОДОГРЕВОМ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ ТОКОМ ПАУЗЫ

¹Крампит М.А., ²Крампит А.Г.¹ФГАОУ ВО «Юргинский технологический институт» (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, Юрга, e-mail: savage_jawa@mail.ru;²АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина», Фрязино, e-mail: akrampit@mail.ru

В статье рассмотрены особенности проектирования устройства для импульсно-дуговой сварки и наплавки в среде защитных газов плавящимся электродом с подогревом электродной проволоки током паузы. Предложена схема с двумя силовыми ключами, направляющими ток на два контактных наконечника. Для подогрева проволоки и формирования тока паузы использована схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа. Показано влияние обратного диода на гашение всплесков обратного напряжения, способного вывести из строя диоды сварочного выпрямителя. Рассчитана рациональная частота широтно-импульсной модуляции для формирования тока паузы, позволяющая избавиться от звуковых эффектов на дуге, добиться минимальных размеров дросселя без необходимости применения специализированных дорогостоящих силовых ключей. Показан расчет параметров защитных цепей. Также не забыта и безопасность: между силовой и управляющей частью имеется гальваническая развязка. Приведены результаты испытания спроектированного устройства: осциллограммы, макрошлифы. Устройство показало высокую стабильность процесса сварки, который проходил на длинной дуге без коротких замыканий. Полученные наплавленные валики распиливались, протравливались и обрабатывались с помощью программы «КОМПАС-3D». Замеры подтверждали повышение соотношения наплавленного металла к общему объему металла и снижение тепловложения в изделие путем уменьшения зоны термического влияния.

Ключевые слова: импульсно-дуговая сварка, проектирование устройств, испытание, осциллограммы

DESIGNING A DEVICE FOR PULSE-ARC WELDING WITH HEATING ELECTRODE WIRING PAUSE CURRENT

¹Krampit M.A., ²Krampit A.G.¹Yurga Institute of Technology, TPU affiliate Russia, Yurga, e-mail: savage_jawa@mail.ru;²Joint-Stok company «Research and production Corporation “Istok” named after A.I. Shokin», Fryazino, e-mail: akrampit@mail.ru

The article deals with the design features of the device for pulsed arc welding and surfacing in a shielding gas melting electrode heated electrode wire current pause. A scheme with two power switches directing current to two contact tips is proposed. For heating the wire and the formation of the pause current, the scheme of the pulse serial stabilizer of the step-down type is used. The effect of the reverse diode on the damping of the reverse voltage bursts capable of disabling the diodes of the welding rectifier is shown. The rational frequency of pulse-width modulation is calculated for the formation of the pause current, which allows to get rid of the sound effects on the arc, to achieve the minimum size of the throttle without the need for specialized expensive power switches. Calculation of parameters of protective circuits is shown. Also, safety is not forgotten: between the power and control part there is a galvanic isolation. The results of testing designed devices: waveform, macrosections. The device showed high stability of the welding process, which took place on a long arc without short circuits. Received the weld rollers has been divided, etching and processed using the program «COMPASS-3D». Measurements confirmed an increase in the ratio of the deposited metal to the total metal volume and a decrease in heat input into the product by reducing the heat affected zone.

Keywords: pulse arc welding, device design, testing, waveforms

Практически все современные процессы для импульсно-дуговой сварки направлены на сварку и не могут решить проблемы, связанные с увеличением производительности наплавки и снижением перемешивания наплавленного слоя с основным металлом. Это приводит к тому, что при наплавке поверхностей с особыми свойствами приходится наплавлять до пяти слоев для получения наплавленного слоя с низкой долей включения основного металла.

Для решения данной проблемы предложено внедрить дополнительный кон-

тактный наконечник для предварительного нагрева электродной проволоки током паузы, что позволяет снизить энергию, необходимую для ее расплавления. Доля включения основного металла в наплавленном слое не превышает 10 % при повышенном коэффициенте расплавления (до 42 г/А·ч) [1].

Цель исследования: спроектировать устройство, реализующее процесс импульсно-дуговой сварки и наплавки с предварительным нагревом электродной проволоки током паузы.

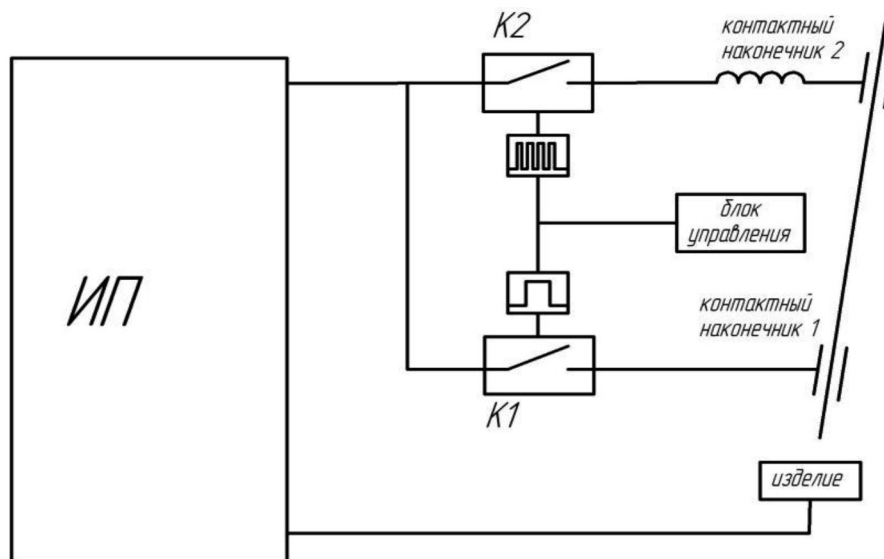


Рис. 1. Схема устройства, реализующего процесс импульсно-дуговой сварки и наплавки с подогревом электродной проволоки: ИП – источник питания, K1 – ключ 1, K2 – ключ 2

Результаты исследования и их обсуждение

Упрощенная схема устройства, реализующего данный процесс, приведена на рис. 1.

В основе схемы модулятора лежат два ключа K1 и K2, которые соединяют источник питания с двумя контактными наконечниками. На ключ K1 подаются одиночные импульсы длительностью несколько миллисекунд, открывающие ключ для протекания тока импульса через контактный наконечник 1. На ключ K2 подается ШИМ-сигнал с заданной частотой, лежащей в пределах от 3 до 20 кГц. Изменяя скважность ШИМ-сигнала, происходит и регулирование тока паузы, протекающего через контактный наконечник 2. Для сглаживания силового ШИМ-сигнала в постоянное значение тока используется дроссель.

В качестве силовых элементов можно применять реле, тиристор, транзистор.

Реле в качестве ключевого элемента при больших значениях силы тока не используют. При этом реле имеют большие размеры и затрачивают большую мощность при включении. Также реле имеют низкое быстродействие, а их контакты подвержены износу [2].

Тиристор позволяет коммутировать большие токи и имеет компактные размеры. Но тиристор целесообразно применять при импульсном токе, так как при постоянном токе усложняется схема, которая нужна для закрытия тиристора [3].

Транзистор лишен вышеперечисленных недостатков. Для использования транзистора в виде ключевого элемента выбор стоит между МДП транзистором и биполярным транзистором с изолированным затвором.

МДП транзисторы имеют большее сопротивление в открытом состоянии и не стойки к повышенным напряжениям. Так что для модулятора примем в качестве ключа биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT транзистор).

Начнем с проектирования цепи тока паузы. Возьмем схему импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа (рис. 2) [4].

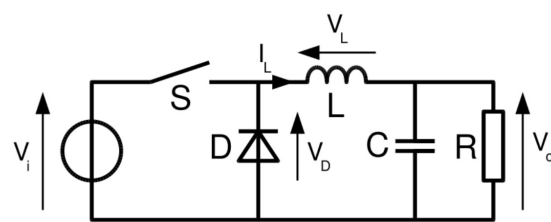
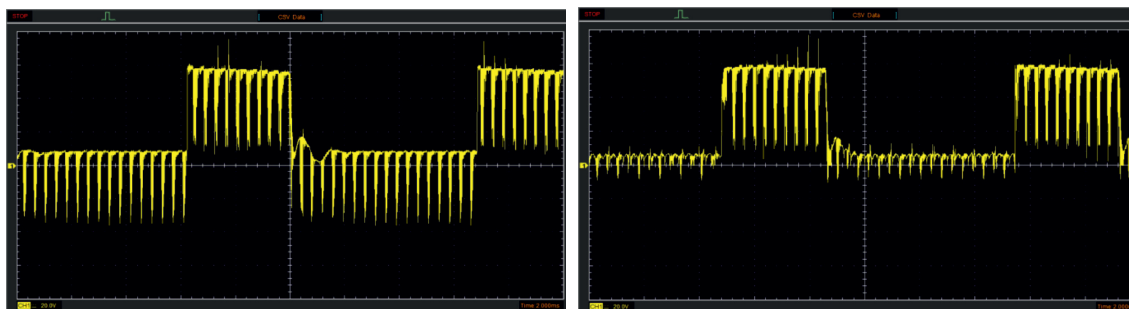


Рис. 2. Схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа:

S – ключ, D – обратный диод,
L – дроссель, C – конденсатор, R – нагрузка,
 V_i – напряжение источника питания,
 V_o – напряжение на нагрузке

Основными элементами схемы являются ключ S, дроссель L и конденсатор C, образующие LC фильтр и обратный диод D.



а)

б)

Рис. 3. Осциллограммы напряжения испытания устройства (20 В/дел, 2 мс/дел):
а) без обратного диода; б) с обратным диодом

Для защиты от импульсов обратного напряжения, возникающих на индуктивности при переходных процессах, служит обратный диод D. Работу с обратным диодом и без него можно увидеть на рис. 3.

При сборке схемы появляется паразитная индуктивность проводов. Каждые 10 см провода имеют индуктивность 50 нГн. При монтаже схемы коллектор транзистора будет подключен к входной клемме проводом 15 см. Сам модулятор будет подключен к источнику питания проводом 50 см (в среднем необходимым для его нормальной установки). Итого на входе получается провод длиной 65 см и индуктивностью 325 нГн. Эта индуктивность находится в цепи коллектора и не имеет цепи разряда.

Расчет емкости снабберного конденсатора производится по следующей методике [4]. Для начала определяется величина данного всплеска напряжения.

Время закрытия транзистора составляет 40 нсек. Сила тока в импульсе при ряде режимов может достигать 400 А. При этом паразитный всплеск напряжения находится по формуле

$$U_{\text{пар}} = L_{\text{пар}} \frac{di}{dt},$$

где $U_{\text{пар}}$ – величина всплеска напряжения паразитной индуктивности, $L_{\text{пар}}$ – паразитная индуктивность контура, $\frac{di}{dt}$ – скорость изменения силы тока при коммутации.

Подставив значения, получим паразитный всплеск напряжения равный 325 В. Так как при закрытии транзистора ток начинает течь через обратный диод, получается, что эмиттер транзистора становится подключен к минусовой клемме источника питания. Значит эти 325 В суммируются с напряже-

нием схемы, составляющем порядка 40 В. Итого, к транзистору прикладывается напряжение в 365 В.

Для того, чтобы снизить это напряжение до 80 В (напряжение х.х. источника питания), необходимо погасить следующую энергию:

$$Q_{\text{пар}} = \frac{L_{\text{пар}} i^2}{2},$$

где $Q_{\text{пар}}$ – энергия всплеска паразитной индуктивности, i – сила тока в цепи до начала процесса коммутации.

Эта энергия должна быть поглощена конденсатором следующей емкости:

$$\frac{C \Delta U^2}{2} = \frac{L_{\text{пар}} i^2}{2},$$

откуда

$$C = \frac{L_{\text{пар}} i^2}{\Delta U^2},$$

где C – емкость конденсатора снаббера; U – разность между рабочим напряжением и напряжением всплеска.

Подставляя значения, получаем емкость конденсатора, равную 8 мкФ. Расчетное значение емкости снабберного конденсатора не стоит превышать, так как возрастают потери, а также снижается стабильность процесса сварки.

В качестве микроконтроллера применяется платформа Espruino на базе контроллеров ARM STM32F4, обладающего частотой чипа 168 МГц, и встроенным интерпретатором JavaScript, который поддерживает параллельные операции и облегчает отладку с компьютера.

Микроконтроллер выдает напряжение 5 вольт и ток 20 мА. Для нормальной работы транзистора в ключевом режиме же-

лательно подать двуполярное напряжение +15/–15 В. Также необходима гальваническая развязка, так как минус управления подключается к эмиттеру транзистора. Для гальванической развязки применяются оптодрайверы, а для получения двуполярного напряжения – DC-DC конверторы. Но зачастую силовые ключи выходят из строя из-за повреждения силового затвора. Пробой цепи затвора может произойти от статического разряда, из-за возникновения генерации в контуре, образованном индуктивностью цепи управления и емкостями затвора, а также перенапряжения, наведенного со стороны схемы управления или силовых цепей вследствие емкостной или индуктивной связей. Для защиты от превышения напряжения затвор-эмиттер применяются два стабилитрона, включенные встречно [5].

На практике, для того, чтобы получить малые пульсации на выходе модулятора, необходимо иметь дроссель достаточно большой индуктивности. Для стабильного горения дуги сила тока на дуге не должна опускаться ниже 10 А. При минимальной силе тока паузы 30 А индуктивность дросселя должна составлять 8 мГн. Такой дроссель будет очень громоздкий, тяжелый и относительно дорогой. Повышение частоты тоже не даст значительного эффекта, так как при высоких частотах возрастают потери в сердечнике, он сильнее нагревается. Дроссели на пластинах из расплавленного железа не применяются на частотах выше 4 кГц.

Также, при небольшой индуктивности, велики пульсации тока, что вызывает звуковой эффект как самой дуги из-за колебаний ширины столба дуги, так и дросселя из-за явления магнитострикции.

Выходом из сложившейся ситуации служит увеличение частоты ШИМ до 20 кГц. Повышение частоты свыше 20 кГц не имеет смысла, так как значительно возрастает стоимость самих IGBT-модулей. Также высокочастотные токи имеют скин-эффект, что приводит к необходимости изменения сечения проводника на ленту или трубку.

При повышении частоты возрастают потери на переключение. В среднем модули при коммутации 100 А на один цикл переключения тратят энергию 20 мДж. На частоте 20 кГц эта энергия будет равняться 400 Дж/с или 400 Вт.

Рассчитаем схему модулятора для регулирования тока паузы в пределах 30–70 А при напряжении паузы 16 В. Напряжение на входе примем от 30 до 40 В. Рассчитаем сначала для тока в 30 А.

Для расчета воспользуемся бесплатным приложением от компании Texas Instruments Power Stage Designer Tool. Выберем в нем схему понижающего конвертора. Падение напряжения на обратном диоде возьмем из характеристики чоппера МТКИД-100-12К, равное 1,65 В. Это необходимо для расчета потерь на обратном диоде.

Коэффициент пульсаций тока для стабильного горения примем равным 10%.

Необходимая величина индуктивности дросселя равна 170 мкГн. Для снижения пульсаций величина дросселя была принята равной 200 мкГн. Величина пульсаций для тока 30 А составляет 1,96 А, чего более чем достаточно для стабильного горения дуги. Потери мощности на обратном диоде составляют 23 Вт, что составляет 4,6% от входной мощности.

Само устройство было апробировано на лабораторной установке, в состав которой входит:

- сварочный источник питания с жесткой внешней характеристикой ВДУ-504У3 с уменьшенной индуктивностью;
- сварочная горелка ГСП-2;
- источник импульсов сварочного тока – модулятор;
- блок управления сварочными процессами БАРС-2В с пультом управления;
- осциллограф Agilent 1000 Series с шунтом.

Устройство показало высокую стабильность процесса (рис. 4). Процесс сварки происходил без коротких замыканий. Сниженные по амплитуде импульсы не вызывали резких изменений длины дуги.

Производилась наплавка валика на образцы, имеющие размер 300x150, толщиной 5 мм. Марка стали Ст3. В качестве защитного газа применялся CO₂. Проволока марки Св-08Г2С, диаметром 1,2 мм.

После наплавки проводилась визуальная оценка швов на наличие видимых дефектов. Далее образцы распиливали на ленточной пиле, шлифовали и проводили травление в спиртовом растворе азотной кислоты.

Шлифы фотографировали при помощи макросъемки. Замеры производились по фотографии в программе КОМПАС 3D. Макрошлиф наплавленного валика представлен на рис. 5.

Таким образом, проведенные исследования показали, что спроектированное устройство позволяет добиться стабильности процесса импульсно-дуговой сварки и наплавки с подогревом электродной проволоки и увеличить долю наплавленного металла в общем объеме шва.

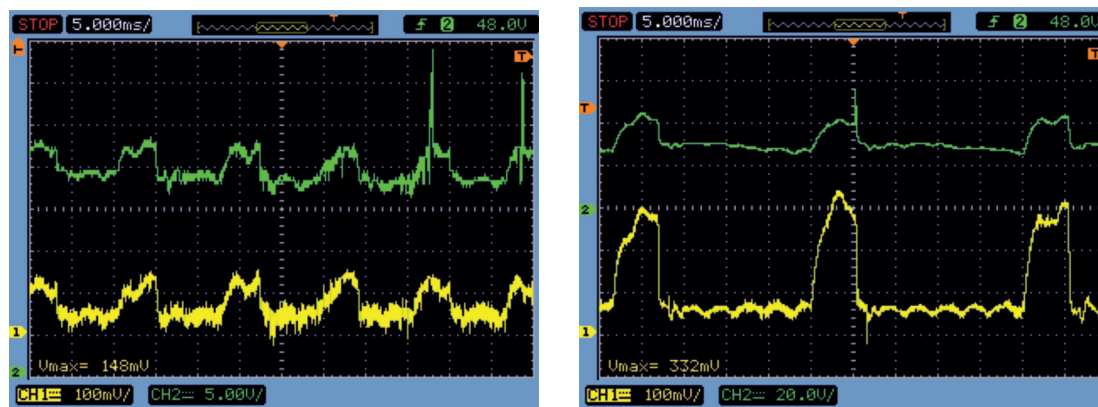


Рис. 4. Осциллограммы тока (желтая линия) и напряжения (зеленая линия) процесса сварки с подогревом электродной проволоки

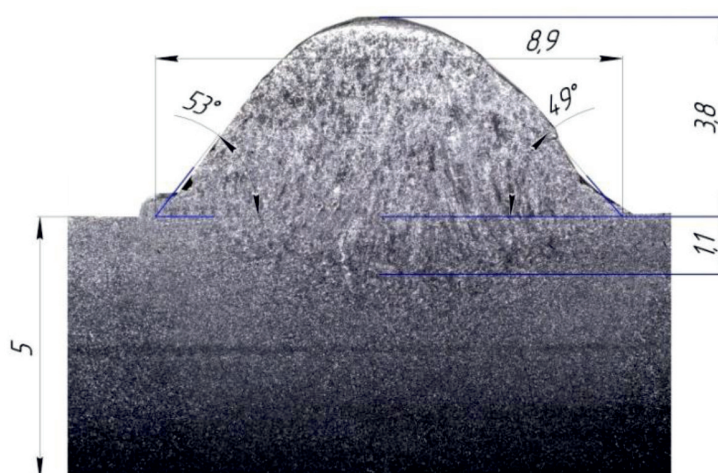


Рис. 5. Макрошлиф наплавленного валика

Выводы

1. При проектировании схемы необходимо учитывать индуктивность сварочного контура, так как даже индуктивности меньше 0,5 мкГн при высоких скоростях коммутации приводят к большим всплескам напряжения. Необходимо рассчитывать и включать в цепь безындуктивные конденсаторы емкостью, достаточной для погашения энергии этого всплеска.

2. Для защиты источника питания от всплесков обратной полярности необходима установка обратно включенного высокоскоростного диода, который перенаправляет обратный всплеск напряжения.

3. Для сглаживания ШИМ-сигнала в постоянный ток паузы необходимо применение дросселя.

4. Для защиты цепи управления необходимо использование оптодрайвера, обеспечивающего гальваническую развязку. Также необходима развязка управляющих цепей на разные контактные наконечники.

Проект реализуется при поддержке Фонда содействия инновациям.

Список литературы

1. Крампит Н.Ю., Крампит М.А. Импульсно-дуговая сварка с подогревом вылета электрода в паузе // Сварочное производство. 2014. № 3. С. 8–10.
2. Гуревич В.И. Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. М.: Солон-Пресс, 2011. 688 с.
3. Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Основы полупроводниковой электроники. М.: Физматлит, 2012. 312 с.
4. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника. От простого к сложному. М.: Солон-Пресс, 2015. 416 с.
5. Колпаков А.И. IGBT: инструкция по эксплуатации, или об уважительном отношении к силовой электронике // Силовая электроника. 2007. № 1. С. 17–28.

УДК 551.46.09

РАЗРАБОТКА ГЛУБОКОВОДНЫХ БУКСИРУЕМЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОЙ ОБЛАСТИ ОКЕАНА

¹Лискин В.А., ¹Зарецкий А.В., ^{1,2}Римский-Корсаков Н.А.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: liskin@ocean.ru;

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва,
e-mail: nrk@ocean.ru (mailto: nrk@ocean.ru)

В составе подводных технических средств исследования и освоения Мирового океана большое место занимают глубоководные буксируемые комплексы (подводные робототехнические системы – ПРТС), работающие на глубинах свыше 2000 м. С их помощью можно проводить исследования и работы в придонной области океана. Визуальный осмотр больших площадей океанского дна с помощью видеосистем, измерения аномалий геомагнитного поля, проведение гидролокационного профилирования морского дна, проведение разрезов на больших площадях в толще воды с целью измерения океанографических параметров, взятие проб грунта, разведку и разработку подводных месторождений полезных ископаемых. По существу, буксируемый комплекс представляет собой систему двух тел с гибкой связью – буксирным тросом. Причем управляющие силы приложены к одному из тел – судну, а другое тело – буксируемый аппарат – должно двигаться по заданной траектории. Управление движением механической системы такого типа представляет собой довольно сложный процесс. При проектировании и создании подводных робототехнических систем ПРТС и в связи с необходимостью проведения дорогостоящих натурных экспериментов, существенное значение приобретает компьютерное моделирование поведения исследуемого объекта. Компьютерное моделирование при наличии адекватных натуре математических моделей позволяет в значительной мере сократить сроки и стоимость разработки. При составлении уравнений движения и их решении для простейшего случая (известная задача двух тел с гибкой связью) возникают существенные затруднения. Имеется возможность упростить задачу путем сведения неголономных связей к голономным, что позволит широко применить аппарат аналитической динамики системы твердых тел.

Ключевые слова: глубоководные буксируемые комплексы, математическая модель, механическая система

DEEP TOWED SYSTEMS DEVELOPMENT FOR NEAR BOTTOM OCEAN SPACE STUDY

¹Liskin V.A., ¹Zaretskiy A.V., ^{1,2}Rimskiy-Korsakov N.A.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: liskin@ocean.ru;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru (mailto: nrk@ocean.ru)

Among the underwater technical means of exploration and development of the World Ocean, a great place is occupied by deep-sea towed systems (underwater robotic systems – UWRS) operating at depths over 2000 m. With their help, a number of studies and works can be carried out. Large areas of the ocean floor survey with the help of video systems, geomagnetic field anomalies measurements, sonar sea bottom surface profiling and investigation, conducting routes on large areas in the water column to measure oceanographic parameters, taking soil samples, exploration and development of underwater mineral deposits. In essence, the towed complex is a system of two bodies with a flexible connection – a tow line. Moreover, the control forces are attached to one of the bodies – the ship, and the other body – the towed vehicle – must move along a given trajectory. The control of the motion of a mechanical system of this type is a rather complex process. In the design and construction of deep-sea towed systems (underwater robotic systems- UWRS) and in connection with the need for costly in-situ experiments, computer simulation of the behavior of the object under study becomes essential. Computer modeling in the presence of adequate mathematical models in nature can significantly reduce the time and cost of development. In the formulation of the equations of motion and their solution for the simplest case (the known problem of two bodies with a flexible connection), significant difficulties arise. It is possible to simplify the problem by reducing non-holonomic connections to holonomic ones, which will make it possible to widely apply the apparatus of analytic dynamics of a system of solids.

Keywords: deep-sea towed complexes, mathematical model, mechanical system

В комплексе подводных технических средств исследования и освоения Мирового океана большое место занимают глубоководные буксируемые комплексы (подводные робототехнические системы – ПРТС), работающие на глубинах свыше 2000 м. С их помощью можно проводить следующие работы:

– осмотр больших площадей океанского дна с помощью видеосистем;

– проведение гидроакустического профилирования морского дна;

– проведение разрезов в толще воды с целью измерения океанографических параметров;

– измерение аномалий геомагнитного поля;

– разведка и разработка подводных месторождений полезных ископаемых;

– взятие проб грунта.

Опыт использования глубоководных буксируемых аппаратов в ряде операций, связанных с поиском затонувших объектов, определением проявлений признаков подводных залежей углеводородов и залежей железо-марганцевых конкреций, картографированием океанского дна и др. показывает их эффективность и надежность. Основными достоинствами глубоководных буксируемых аппаратов являются длительный срок работы под водой, относительно невысокая стоимость, надежность и долговечность. К недостаткам следует отнести сложность управления движением буксируемого аппарата при детальном исследовании подводных объектов.

Основные группы буксируемых аппаратов по областям применения

Первая группа, включающая в себя узкофункциональные аппараты, достаточно многочисленна и предназначена для геофизической съемки больших площадей океанского дна. Аппараты этой группы конструктивно просты и оснащены оборудованием одного типа. Такими приборами являются либо акустические средства картирования дна, либо магнитометры, либо теле-видео-системы. Информация от аппаратуры буксируемого аппарата передается по кабелю на борт обеспечивающего судна, где регистрируется, обрабатывается и хранится. На основе этой информации составляются различные геофизические, геологические, батиметрические и т.п. карты и разрезы.

Для проведения поиска объектов на дне применяются аппараты второй группы – многофункциональные поисковые буксируемые системы. Бортовое оборудование включает теле-видео-системы, фото-системы, гидролокаторы бокового обзора, акустические профилографы, вниз направленные гидролокаторы, эхолоты, магнитометры, гидрофизические датчики, отборники планктона и др. Комплексный состав оборудования позволяет проводить поисковые операции одновременно различными средствами. Аппараты этой группы часто используют и в научных целях для сбора и регистрации океанографических данных. Отличительным признаком поисковых буксируемых комплексов является сложная система управления движением с использованием судовых компьютерных комплексов и бортовых микрокомпьютеров.

При геофизических и поисковых работах возникает необходимость в проведении буксируемого аппарата по некоторой пространственной траектории, либо в удержании его на некотором отстоянии от дна. Буксировка на больших глубинах связана

с применением длинной буксирной линии. Значительная масса троса и возникающие на нем силы гидродинамического сопротивления приблизительно на порядок превышают массу и на несколько порядков сопротивление самого аппарата. Перемещения аппарата в среде в основном определяются поведением буксирной линии. Управление движением пассивных аппаратов осуществляется изменением параметров движения судна (курса, скорости), а также длиной вытравленного кабель-троса. Таким образом, при таком способе управления глубину хода аппарата регулируют с помощью изменения длины троса, а перемещения в горизонтальной плоскости – маневрированием судна.

На малых скоростях буксировки, гидродинамические поверхности для изменения движения аппарата малоэффективны. Но в ряде разработок предпринимались попытки создать буксируемые системы с гидродинамическими дистанционно управляемыми рулями для изменения глубины хода и углов вращения буксируемого аппарата. Совместно с первым способом управления, применение гидродинамических активных рулей позволяет более точно проводить поисковые операции в сравнении с предыдущим способом.

Наиболее эффективное управление обеспечивает третий способ управления, при котором буксируемый аппарат обладает активными движителями и имеет возможность перемещаться независимо от движения буксируемой линии. Такие глубоководные системы сочетают в себе достоинства буксируемых и телеуправляемых по кабелю аппаратов. Известно несколько систем такого типа, состоящих из пассивного буксируемого тела, которое несет на себе телеуправляемый аппарат, связанный с буксируемым носителем тонким кабелем. При входе в требуемую зону буксируемый носитель ложится на грунт, а телеуправляемый аппарат обследует интересующий объект [1–3].

Способы управления движением и математические модели

По существу, буксируемый комплекс представляет собой систему двух тел с гибкой связью – буксирным тросом. Причем управляющие силы приложены к одному из тел – судну, а другое тело – буксируемый аппарат – должно двигаться по заданной траектории. Управление движением механической системы такого типа представляет собой довольно сложный процесс.

В основу управления движением глубоководных буксируемых аппаратов, разрабатываемых в ИО РАН, заложен прямой метод управления. Прямой метод управления

целесообразно применять для таких маршрутов буксировки, в которых динамика системы судно – кабель – аппарат априорно известна, например таких, как разворот буксируемого аппарата при выходе в заданную точку, движение параллельными галсами, по спирали, по циклоиде и др. В каждом выбранном варианте движения буксируемой системы выделяется ряд стационарных и квазистационарных типовых режимов буксировки:

- движение с постоянной скоростью по прямой с постоянной длиной троса;
- движение с постоянной скоростью по прямой с изменяющейся длиной троса;
- движение по прямой с постоянной длиной троса с замедлением или ускорением;
- движение по прямой с переменной длиной троса с замедлением или ускорением;
- движение на циркуляции с постоянной скоростью при постоянной длине троса;
- движение на циркуляции с постоянной скоростью при переменной длине троса.

В начале и конце каждого режима буксировки трос заметно изменяет свою конфигурацию. Считая движение буксируемого троса происходящим в однородном поле жидкости, можно решить задачу об изменении формы троса на всей выбранной траектории движения буксируемой системы. После расчленения траектории буксируемого аппарата на ряд типовых траекторий, производится расчет траектории судна отдельно на каждом из квазистационарных режимов, и полученные траектории судна состыкуются друг с другом с учетом начальных и конечных переходных процессов. Динамическая задача при этом распадается, при практической буксировке, на серию статических и квазистатических задач – стереотипов, которые можно хранить в памяти компьютера, либо проводить расчеты в реальном времени по мере продвижения буксируемого аппарата по заданной траектории движения. Очевидно, что такое упрощенное описание динамического поведения буксируемого троса в жидкости может быть справедливо лишь для определенных диапазонов изменения параметров движения (эволюционного движения) и характеристик буксируемой системы. Высший, стратегический уровень управления обеспечивает выбор соответствующего маршрута буксировки, исходя из поставленной задачи и состояния окружающей среды. Компьютерная программа строит необходимую траекторию и рассчитывает процесс движения по ней, используя библиотеку стандартных траекторий. В основе компьютерных программ расчета траекторий судна для любого типового квазистационарного режима

буксировки лежит математическая модель системы судно – кабель – аппарат. Наиболее сложным элементом модели является динамическое поведение троса в жидкости при маневрировании судна-буксировщика, при этом динамика кабель-троса описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Для расчета управляющих параметров принимается дискретная трехмерная математическая модель динамики буксируемой системы, включающая в себя судно, пассивный буксируемый аппарат, кабель-трос, один или несколько заглубителей. Кабель-трос в модели заменяется шарнирно-сочлененным многозвенником с идеальными сферическими шарнирами.

Численное моделирование показало, что для типовых режимов буксировки форма и натяжение троса вполне определенны, вследствие чего в таких режимах имеется однозначное соответствие между параметрами движения аппарата и судна. Таким образом, рассматривая эволюционное движение буксируемой системы как последовательность статических и квазистатических состояний, можно с достаточной для практических задач степенью точности производить прокладку траектории судна по заданному движению буксируемого аппарата и осуществлять тем самым прямое управление движением судна. Следует отметить, что математическая модель исследуемого объекта является одной из основных компонент компьютерной модели. Математическую модель подводной робототехнической системы – ПРТС можно разделить:

- на динамическую модель (модель внешнего состояния);
- диагностическую модель (модель внутреннего состояния).

Общий подход к созданию моделей ПРТС различного класса на основе единых уравнений динамики, позволяет создавать автоматизированные системы проектирования подводных технических средств [4, 5].

Структура и состав модулей ПРТС

Подводные ПРТС можно разделить на простейшие, с одним исполнительным модулем (подводным аппаратом), и составные, с двумя и более модулями.

Простейшими ПРТС являются системы типа носитель – подводный аппарат, например:

- судно → самовсплывающий модуль;
- судно → автономный необитаемый подводный аппарат;
- обитаемый подводный аппарат (ОПА) → автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА);

судно → трос → опускаемый манипулятор;
судно → трос → буксируемый управляемый модуль;

судно → трос → подводный телеуправляемый аппарат (ПТА);

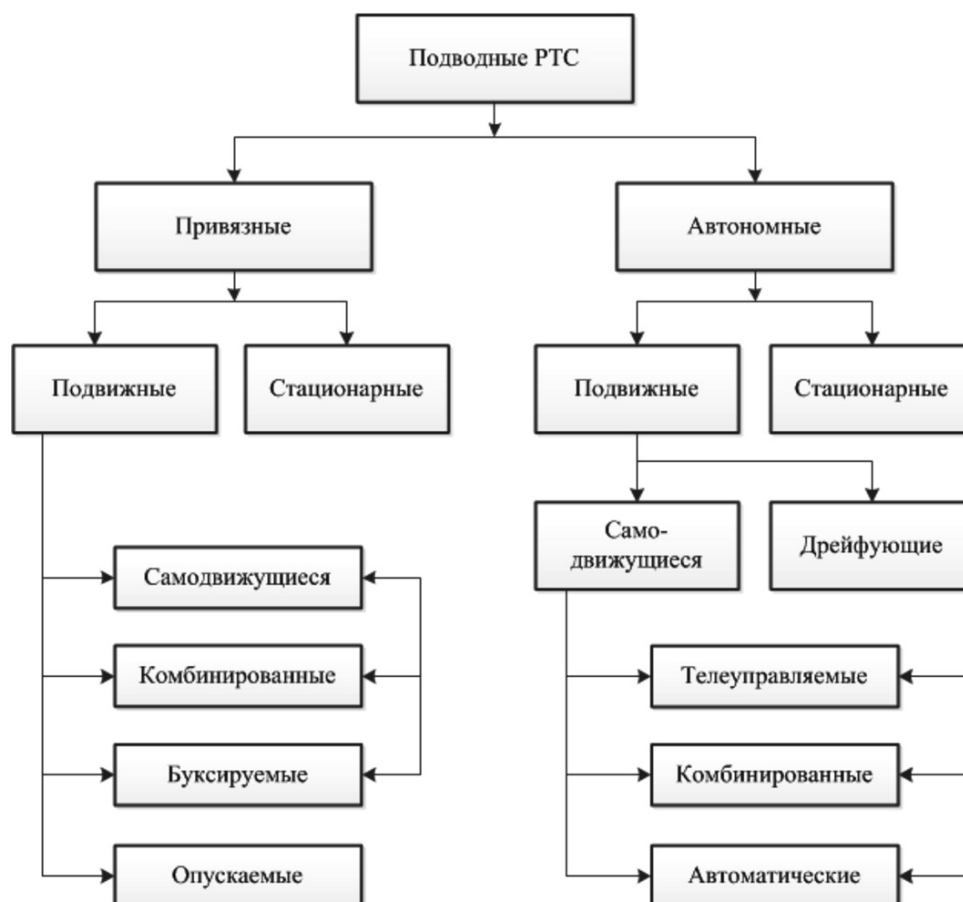
обитаемый подводный аппарат (ОПА) → трос → подводный телеуправляемый аппарат (ПТА);

автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) → трос → подводный телеуправляемый аппарат (ПТА);

Основным структурным элементом ПРТС является система «гибкая связь + твердое тело». Каждую ПРТС можно разложить на основные структурные элементы. В случае несовпадения количества твердых тел (I) и гибких связей (J) в неполной системе ($I \neq J$) её можно, при необходимости, довести до полной ($I = J$) путем добавления тел с нулевыми массогабаритными характеристиками, если $I < J$; и гибкими связями с нулевой длиной, если $I > J$. Количество основных структурных элементов в системе может колебаться от одного (заякоренный буйреп или буксируемое

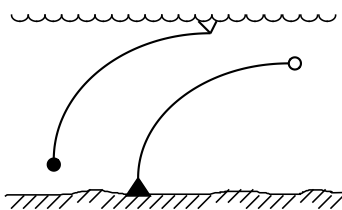
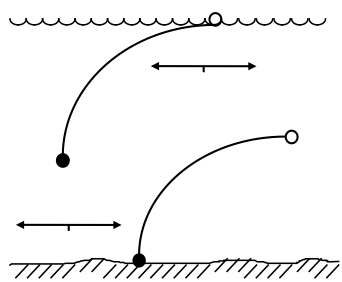
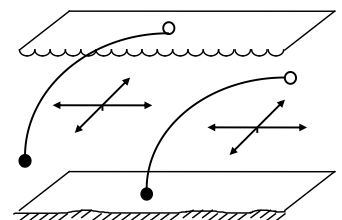
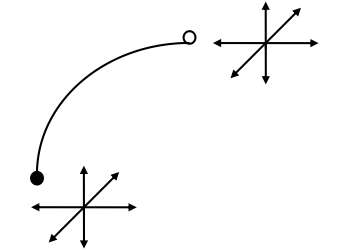
тело) до нескольких десятков (составные буйковые станции). Общая классификация простейших подводных ПРТС приведена на рисунке.

Связи в системе могут быть внутренними и внешними. Внутренние связи объединяют твердые тела в систему. Внешние связи накладывают ограничения на движение системы относительно некоторой системы координат в соответствии с накладываемыми граничными условиям. Соответственно, система, обладающая только внутренними связями, является свободной. Система, в которой имеются и внешние связи, будет несвободной или связанной. Примером свободной системы могут являться автономные подводные аппараты. Несвободными являются телеуправляемые по кабелю системы, донные ПРТС и др. Анализ применяемых в практике ПРТС позволил выделить несколько типов внешних связей, реализующих задаваемые граничные условия. Классификация, условные изображения и физическая реализация внешних связей приведены в таблице.



Общая классификация ПРТС

Внешние связи

№	Число степеней свободы	Условное изображение внешней связи	Реализация внешней связи
1	$\alpha = 0$		Неподвижное плавучее основание (судно с системой динамического позиционирования, плавсредство на якорь, стационарная платформа и т.п.). Груз или якорь, неподвижно лежащие на дне
2	$\alpha = 1$		Надводное средство, перемещающееся по прямой, например канатная дорога, или судно, идущее прямым галсом. Донное транспортное средство, перемещающееся по прямой линии, например по рельсовому пути, или подводное устройство перемещающееся вдоль трубопровода
3	$\alpha = 2$		Надводное плавсредство. Транспортное средство, перемещающееся по дну
4	$\alpha = 3$		Подводный аппарат или подводная лодка. Тело нейтральной плавучести. Свободный конец гибкой связи

В зависимости от характера граничных условий, несвободные ПРТС могут быть разделены на три большие группы: ПРТС, связанные с дном, ПРТС, связанные с поверхностью воды, и комбинированные (в том числе и с освобождающимися связями) системы. В свою очередь связанные с дном делятся на подгруппы заякоренных (с числом степеней свободы конца гибкой связи $\alpha = 0$) и перемещающихся по дну ($\alpha = 1$ и $\alpha = 2$) системы. Связанные с поверхностью воды ПРТС также делятся на опускаемые с плавучих оснований ($\alpha = 0$) и буксируемые (или дрейфующие) системы с $\alpha = 1$ и $\alpha = 2$. Комбинированные системы объединяют в себе признаки первых двух групп. Комбинированные системы, в свою очередь, делятся на стационарные (неподвижно соединенные с дном $\alpha_1 = 0$

и поверхностью воды $\alpha_2 = 0$) и подвижные ($\alpha_1 = 1$ и $\alpha_1 = 2$; $\alpha_2 = 1$ и $\alpha_2 = 2$). В каждую подгруппу могут входить плоские (располагающиеся в вертикальной плоскости) и пространственные системы. Разделение на плоские и пространственные системы достаточно условно, поскольку при воздействии пространственного поля течений на плоские системы последние могут принимать пространственную конфигурацию. ПРТС можно разделить на системы с независимыми и зависимыми граничными условиями, а также на системы с постоянными и переменными граничными условиями. Кроме того, между граничными условиями может существовать дополнительная связь.

Рассмотрим структурные особенности ПРТС. Робототехнические системы могут иметь разомкнутую, замкнутую и комби-

нированную структуры. Простейшей системой с разомкнутой структурой является линейная кинематическая цепь, более сложной – система со структурой дерева. В системах с замкнутой структурой имеются замкнутые (кольцевые) кинематические цепи. Причем замкнутые кинематические цепи могут быть внутренними и внешними. Внутренние замкнутые кинематические цепи состоят только из внутренних связей. В структурах с внешними замкнутыми кинематическими цепями кинематические цепи замыкаются с помощью внешних связей. Комбинированные структуры состоят из замкнутых и разомкнутых кинематических цепей. ПРТС могут являться системами с однородными связями (например, только с гибкими), тогда структуру такой системы можно назвать однородной, и с неоднородными связями (например, наряду со связями имеются шарнирные соединения или связи других конструктивных реализаций) – в неоднородных структурах. Следует использовать понятие систем с открытыми и закрытыми структурами. Открытые структуры обладают свободными от связей кинематическими цепями. В закрытых структурах все цепи являются замкнутыми. Кроме того, ПРТС можно подразделить на простые системы, имеющие в своей структуре один основной структурный элемент, и сложные. Как указывалось выше, ПРТС делятся на системы с постоянными и переменными структурами.

В механической системе могут иметь место два типа связей – конструктивные и формальные (аналитические). Конструктивными связями являются гибкие связи. Формальные связи могут быть заданы в аналитической форме и реализовываться путем приложения к системе управляющих сил. В этом случае система будет совершать управляемое движение в соответствии с содержанием формальных связей [6–8].

Заключение

Как указывалось ранее, основным структурным элементом ПРТС является система «гибкая связь + твердое тело». Осуществив голономизацию гибкой связи основного структурного элемента, можно получить голономную реономную систему твердых тел. Рассмотренный способ по-

строения математических моделей подводных механических систем с голономными связями позволяет создавать компьютерные инструментальные среды для проектирования ПРТС, а также создает предпосылки для разработки средств и методов аналитического конструирования подводных неуправляемых и управляемых многосвязных объектов. Представленные в статье модели могут быть использованы для отработки интеллектуальных систем управления движением, а также для наполнения баз данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект № 17-05-41041 «РГО-а» и проект № 18-05-60070 «Арктика»).

Список литературы

1. Филатов А.М., Зарецкий А.В. Автономные подводные роботы. Аналитический обзор. Деп. в ВИНТИ. 1994. № 1168-В94. С. 39.
2. Артюхов М.Ю., Кропотов А.Н., Макашов А.А. Опыт создания системы локальной видеонавигации для подводных аппаратов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2010: труды научно-технической конференции-семинара. М., 2011. С. 230–242.
3. Колосов К.В. Комбинированные гидроакустические приборы подводных аппаратов // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». М., 2013. Т. 1. С. 369–372.
4. Блинцов А.В. Математическое моделирование динамики движения кабель-троса привязной подводной системы // Инновации в судостроении и океанотехнике: материалы Международной научно-технической конференции. Николаев, 2012. С. 529–532.
5. Нерсесов Б.А., Афанасьев М.С. Метод определения оптимальной длины троса буксируемого магнитометра // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». М., 2013. Т. 2. С. 68–70.
6. Купенко А.С., Егоров С.А., Молчанов А.В., Черненко К.В., Пелипенко И.И., Иноземцев В.В. Программный комплекс для управления телеуправляемым подводным аппаратом // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». М., 2013. Т. 2. С. 277–280.
7. Молчанов А.В. Особенности синтеза алгоритмов локальных контуров управления движением подводных аппаратов // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». М., 2011. Т. 2. С. 55–57.
8. Купенко А.С., Егоров С.А. Обзор средств автономной синхронизации времени для АНПА // Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». М., 2013. Т. 2. С. 273–276.

УДК 004.4

ПРОБЛЕМЫ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ БИБЛИОТЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Осокин А.С., Прасолова Е.А.

*ФГБОУ ВО «Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск,
e-mail: prasolova.liza@yandex.ru*

В статье рассматривается ИТ-инфраструктура в целом и ее организация на примере МБУК ЦБС г. Белорецка. В настоящее время выбранная тема считается актуальной, ввиду того, что в нынешних условиях развитие бизнеса в любом случае происходит только с условием использования информационных технологий и систем различного назначения. Перспективные направления совершенствования средств информатизации направлены на интегрированные системы управления бизнес-процессами, которые способны обеспечить гибкую структуру, способную реформировать бизнес-процессы в режиме реального времени их реализации на основе ИТ-инфраструктур. ИТ-инфраструктура организации имеет особо важное значение для ее успешной деятельности. Это утверждение одинаково применимо к бизнесу всех размеров независимо от организационно-правых форм во всех отраслях экономики. Техническая инфраструктура организации приобретает все большее значение, представляя собой значительную часть инвестиций в информационные технологии. В настоящее время организации тратят значительные средства и время на создание ИТ-инфраструктуры. Однако большинство компаний не получают ожидаемой отдачи от своих инвестиций в ИТ. Главная причина состоит в том, что компании не способны адекватно сопоставлять свои потребности, возможности с предлагаемыми структурами. Тем не менее следует осознавать, что современные технологии, такие как ИТ, не приносят конкурентных преимуществ сами по себе.

Ключевые слова: ИТ-инфраструктура, библиотека, техническое обеспечение, программное обеспечение, эффективность

PROBLEMS OF THE IT INFRASTRUCTURE LIBRARY SYSTEM

Osokin A.S., Prasolova E.A.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: prasolova.liza@yandex.ru

The article deals with the it infrastructure as a whole and its organization on the example of MBUK CBS Beloretsk. Currently, the selected topic is considered relevant, due to the fact that in the current environment, business development in any case occurs only with the use of information technology and systems for various purposes. Promising areas of improvement of Informatization tools are aimed at integrated business process management systems, which are able to provide a flexible structure capable of reforming business processes in real time of their implementation on the basis of it infrastructure. The organization's it infrastructure is critical to its success. This statement is equally applicable to businesses of all sizes, regardless of organizational and legal forms in all sectors of the economy. The technical infrastructure of the organization is becoming increasingly important, representing a significant part of the investment in information technology. Currently, organizations spend considerable time and money on the creation of it infrastructure. However, most companies do not get the expected return on their it investments. The main reason is that companies are not able to adequately compare their needs and opportunities with the proposed structures. However, you should be aware that modern technologies such as it do not bring competitive advantages on their own.

Keywords: IT-infrastructure, library, hardware, software, efficiency

В настоящее время успех и доход бизнеса, эффективность работы организации, ее преимущества перед конкурентами во многом зависят именно от уровня развития, стабильности и безопасности ИТ-инфраструктуры, которая является одним из важнейших активов организации. Главный аспект – соответствие ИТ-инфраструктуры потребностям и особенностям конкретного бизнеса [1].

ИТ-инфраструктура представляет собой совокупность программных, аппаратных и технических средств, которые обеспечивают бесперебойное и исправное функционирование организации и выполнение сотрудниками поставленных перед ними задач с помощью этих средств [2].

Цель исследования: для обеспечения эффективной работы компонентов ИТ-

инфраструктуры необходимо организовать качественную техническую поддержку, обучение персонала и регулярное проведение ИТ-аудита [3]. Это позволит обеспечить:

- доступ сотрудников организации к необходимым данным вне зависимости от их местонахождения;
- разделение прав доступа к информации разного уровня, соответствующее существующей политике безопасности;
- доступ к единому информационному пространству организации с помощью рабочих станций и мобильных устройств сотрудников;
- непрерывное функционирование аппаратного, технического и программного оборудования; [4].
- минимизация расходов на поддержание ИТ-инфраструктуры;

– непрерывность бизнес-процессов организации;

– возможность развития организации и увеличения прибыли за счет использования информационных технологий и эффективной автоматизации бизнес-процессов [5].

Материалы и методы исследования

Библиотека, деятельность которой заключается в выполнении информационных процессов и предоставлении информационных услуг, должна характеризоваться оптимально

организованной ИТ-инфраструктурой, благодаря которой выполняются процессы предоставления упорядоченных знаний [6, 7].

Инфраструктура взаимодействия подразделений Муниципального библиотечного учреждения культуры «Централизованная библиотечная система» г. Белоречка схематично изображена на рис. 1.

ИТ-инфраструктуру рассмотрим в конкретном филиале центральной библиотеки. Состав ИТ-инфраструктуры представлен в табл. 1 [8].

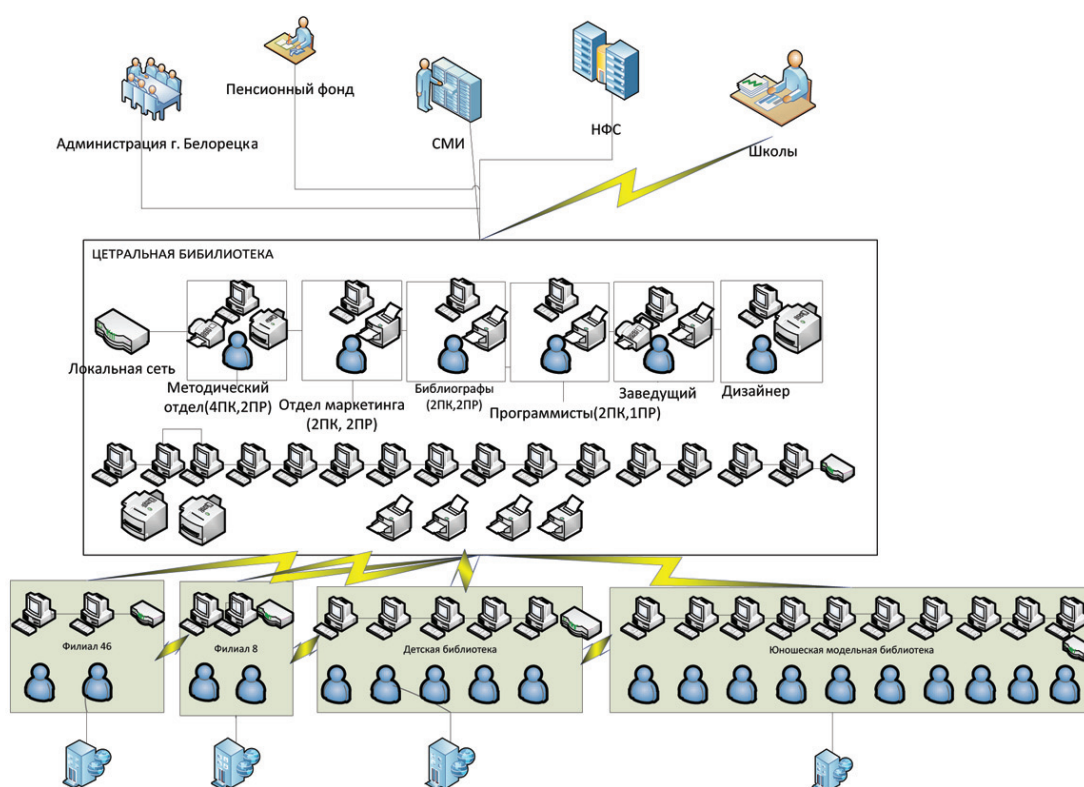


Рис. 1. Инфраструктура взаимодействия подразделений компании

Таблица 1

Характеристика ИТ-инфраструктуры

Параметры	Описание	Количество
Компьютеры		27
Конфигурация компьютера 1–15 (компьютеры свободного пользования)	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 504 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.

Продолжение табл. 1		
Параметры	Описание	Количество
Компьютеры		27
Конфигурация компьютера 16–19 (методический отдел)	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Конфигурация компьютера 20–21	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Конфигурация компьютера 22–23	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Конфигурация компьютера 24–25	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Конфигурация компьютера 26	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Конфигурация компьютера 27	Системный блок: – Процессор: Intel Core i3-8300, 3700MHz; – ОЗУ: 2048 Mb; – Винчестер: Western Digital WD Black 500 GB (WD5000LPLX) – Дисководы: LG DH18NS61, – гибкий диск; Монитор: 21", Viewsonic VA1903a; Клавиатура: HP M7P30AA C2710 White USB; Мышь: оптическая – HP M7P30AA C2710 White USB	1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт. 1 шт.
Периферийные устройства	Принтер: Brother HL-1112R; МФУ: Canon PIXMA MG2540S Факс: Brother FAX-T104	5 шт. 5 шт. 1 шт.

Окончание табл. 1		
Параметры	Описание	Количество
Компьютеры		27
Программное обеспечение	Операционная система – Microsoft Windows 7 Microsoft Windows XP Microsoft Office 2010	на 25 ПК на 2 ПК на 27 ПК
	Foxit Reader 9.3.0.10826 Антивирус: Avast Архиватор 7Zip Система мгновенного общения – What's Up Браузер – YandexБраузер; Стандартные программы	на 3 ПК на 3 ПК 1 шт.
Сеть	Локальная сеть – между 16 компьютерами библиотеки. Выход в интернет осуществляется через местного провайдера	

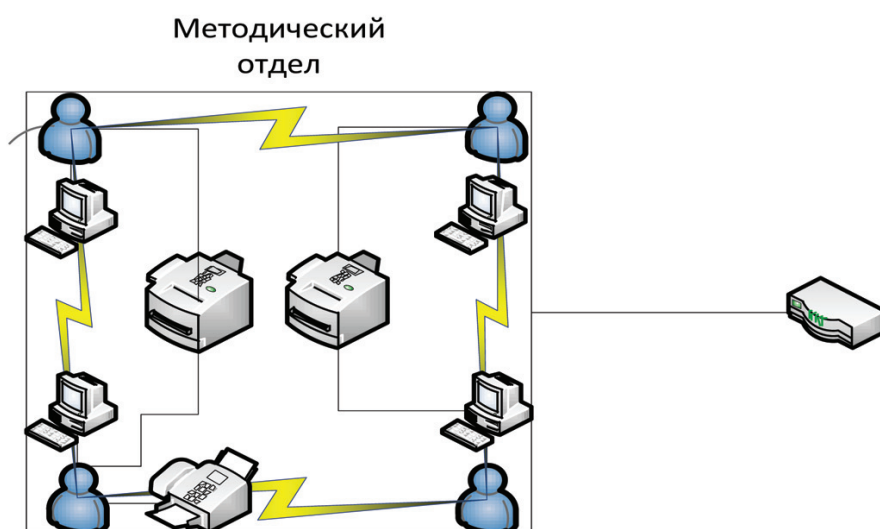


Рис. 2. Взаимосвязь элементов ИТ-инфраструктуры центральной библиотеки

Взаимосвязь элементов технической инфраструктуры методического отдела МБУК ЦБС представлена на рис. 2.

Каждый сотрудник библиотеки имеет свое автоматизированное рабочее место. Все компьютеры объединены в одну локальную сеть. К АРМ1, АРМ2, АРМ3, АРМ4 подключены МФУ, АРМ1 и АРМ2 осуществляет печать на одном из принтеров через сеть. АРМ3 и АРМ4 осуществляет печать на другом из принтеров через сеть [9].

Техническое и информационное оснащение автоматизированных рабочих мест сотрудников методического отдела представлено в табл. 2.

Существующие проблемы информационной инфраструктуры МБУК ЦБС представлены в табл. 3.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время техническое оснащение рабочих мест центрального филиала не соответствует корпоративным требованиям [10].

Для оптимизации ИТ-инфраструктуры МБУК ЦБС необходимо внедрить приложение, которое ориентировано не только на учет книговыдачи, но и на осуществление мгновенной связи между сотрудниками, формирования отчетности и других внутренних процессов организации.

Таблица 2

Характеристика автоматизированных рабочих мест сотрудников методического отдела

Номер АРМа	Характеристика АРМа
АРМ 1 руководителя методического отдела	Состав: – Рабочий компьютерный стол; – ПК (табл. 1); – Факс (один на весь отдел) ПО: – Система: Microsoft Windows 7 – Microsoft Office 2007 – Foxit Reader 9.3.0.10826 – Антивирус: Avast – Архиватор 7Zip – Система мгновенного общения – What's Up
АРМ 2 сотрудника методического отдела	Состав: – Рабочий компьютерный стол; – ПК (табл. 1); ПО: – Система: Microsoft Windows 7 – Microsoft Office 2007 – Foxit Reader 9.3.0.10826 – Антивирус: Avast – Архиватор 7Zip – Система мгновенного общения – What's Up
АРМ 3 сотрудника методического отдела	Состав: – Рабочий компьютерный стол; – ПК (табл. 1); ПО: – Система: Microsoft Windows XP – Microsoft Office 2007 – Foxit Reader 9.3.0.10826 – Антивирус: AvastАрхиватор 7Zip – Система мгновенного общения – What's Up
АРМ 4 сотрудника методического отдела	Состав: – Рабочий компьютерный стол; – ПК (табл. 1); ПО: – Система: Microsoft Windows XP – Microsoft Office 2007 – Foxit Reader 9.3.0.10826 – Антивирус: AvastАрхиватор 7Zip – Система мгновенного общения – What's Up

Таблица 3

Проблемы ИТ-инфраструктуры ЦБС и их решение

Проблемы	Решение
– отсутствие взаимосвязи персонала МБУК ЦБС посредством использования автоматизированных информационных каналов	– внедрение корпоративной почты; – использование систем мгновенной передачи сообщений; – использование IP-телефонии
– ПК сотрудников некоторых филиалов МБУК ЦБС оснащены старыми версиями программного обеспечения	– регулярное обновление программного обеспечения до последних версий; – своевременная оплата лицензий для своевременного получения свежих версий ПО
– использование нелицензионного программного обеспечения	– покупка и установка только лицензионного программного обеспечения
– отсутствие единого хранилища данных	– организация единого структурированного хранения данных с возможностью разграничения прав доступа: ● использование облачных хранилищ; ● использование корпоративных систем хранения данных

Окончание табл. 3

Проблемы	Решение
– имеющееся программное обеспечение не покрывает выполнение всех бизнес-процессов ЦБС	– покупка программного обеспечения, соответствующего нуждам ЦБС при выполнении бизнес-процессов; – отказ от приобретения программного обеспечения, не соответствующего нуждам организации
– устаревшее техническое обеспечение	– выполнение регулярной инвентаризации; – своевременная замена устаревшего технического обеспечения
– отсутствие централизованной закупки программного и технического обеспечения	– составление списка необходимого к покупке технического и программного обеспечения, составленного ИТ-отделом после проведения планового аудита ИТ-инфраструктуры
– отсутствие системы принятия электронных заявок ИТ-отделом	– внедрение HelpDesk

Заключение

Вместе с преимуществами и новыми возможностями ИТ-инфраструктура для организации – это и определенные риски. Рисками принято считать все негативные последствия, вызванные различными угрозами. Прежде всего, к ним относятся вирусные и хакерские атаки, всевозможные способы кражи и/или преднамеренной порчи оборудования или данных.

Следует отметить, что чем более совершенна ИТ-инфраструктура, т.е. исключены ошибки на этапе проектирования, внедрения и обслуживания, тем меньше риски для бизнеса. Качественное проектирование, внедрение и обслуживание позволяет свести риски организации практически до нуля.

Список литературы

1. Гаврилова И.В. Свободное программное обеспечение для управления бизнес-процессами // Теория и практика применения свободного программного обеспечения: сборник трудов участников Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы. Магнитогорск, 2011. С. 144–147.
2. Гаврилова И.В. Выбор системы Service Desk для негосударственного пенсионного фонда // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1–1 (45). С. 169–172.
3. Гаврилова И.В. Теоретические аспекты развития корпоративных информационных систем // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы 3-й

Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. С. 267–268.

4. Гаврилова И.В. Подходы к интеграции автоматизированных информационных систем ФГБОУ ВПО МаГУ // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции. 2014. С. 49–52.

5. Гаврилова И.В. Подходы к проектированию архитектуры корпоративной информационной системы негосударственного пенсионного фонда // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. С. 267–268.

6. Гаврилова И.В. Применение технологии открытых систем для построения эффективных автоматизированных информационных систем // Управление информационными ресурсами образовательных, научных и производственных организаций: сборник материалов Всероссийской научной школы для молодежи. Под общ. ред.: В.П. Семенова, З.М. Уметбаева, Г.Н. Чусавитиной, Л.З. Давлеткиреевой. Магнитогорск, 2009. С. 137–138.

7. Чернова Е.В., Гаврилова И.В., Доколин А.С., Романова М.В. Информационные технологии в управлении непрерывностью бизнеса // Научное обозрение. Экономические науки. 2017. № 5. С. 46–50.

8. Гаврилова И.В., Махмутова М.В., Белоусова И.Д., Агдавлетова А.М. Методы построения информационной модели ARIS // Успехи современной науки. 2016. Т. 3. № 4. С. 36–38.

9. Попова И.В., Зленко И.В., Попова Е.В. Информационная система «Наука в МаГУ»: опыт разработки // Теория и практика применения свободного программного обеспечения: сборник трудов участников Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы. Магнитогорск, 2011. С. 27–32.

10. Попова И.В., Субочев А.В. Разработка обучаемой специализированной информационно-поисковой системы // Программные продукты и системы. 2011. № 3. С. 22.

УДК 004.08

НЕЛОКАЛЬНЫЕ ПРЕДМЕТНЫЕ ОБЛАСТИ**Попов С.В.***ООО «Научно-внедренческая фирма БП+», Москва, e-mail: s-v-popov@yandex.ru*

В связи с интересом к решению переборных задач, с одной стороны, возникает интерес к построению областей, в которых переборные задачи решаются просто (т.е. не более чем за полином от сложности декларативного описания предметной области), а с другой – областей, в которых число различных практически важных объектов много, и поэтому поиск искомого объекта представляется трудоемким. Известно, что так называемые локальные области, определяемые, например, на логическом языке, просты для разрешения. Такие области характеризуются сложными описаниями своих объектов, и для них просто решаются задачи построения искомого объекта в силу ограничения перебора большим числом условий. С другой стороны, существуют так называемые нелокальные области, которые обладают большим числом разнообразных объектов, и для них нахождение искомого объекта связано с большим перебором, который невозможно снизить без потери общности решения. В статье приводится описание класса нелокальных областей, которые характеризуются достаточно коротким декларативным описанием, но перечисление возможных объектов сложное в силу их большого разнообразия. Число упомянутых объектов представляется экспонентой от длины декларативного описания. Для задания нелокальных областей используется булевский язык, который предоставляет все необходимые средства. Если рассматривать такое описание как логическую функцию, то ее нелокальность обозначает большое число подфункций, которые можно получить, означивая аргументы. С другой стороны, представление этих же областей на графовом языке позволяет представить в виде графов, в которых объектами служат пустые подграфы. Каждому пустому подграфу соответствует объект предметной области. В результате удается показать, что все максимальные пустые подграфы имеют равномерное распределение, т.е. обладают одинаковыми сложностями, и их число выражается экспонентой от числа узлов исходного графа.

Ключевые слова: логические функции, логические матрицы, графы ортогональности, пустые подграфы, единичное означивание, предметная область, объекты предметной области

NOT A LOCAL SUBJECT AREA**Popov S.V.***LLC «Nauchno-vnedrencheskaya firma BP+», Moscow, e-mail: s-v-popov@yandex.ru*

In connection with the interest in solving enumerated problems, on the one hand, there is an interest in constructing regions in which the enumeration problems are solved simply (that is, no more than a polynomial from the complexity of the declarative description of the subject domain), and on the other hand, in which the number of various practically important objects is large, and therefore the search for the desired object seems to be time consuming. It is known that the so-called. local domains defined, for example, in a logical language, are easy to resolve. Such areas are characterized by complex descriptions of their objects, and for them the problems of constructing the desired object are simply solved due to the restriction of enumeration by a large number of conditions. On the other hand, there are so-called. non-local areas that have a large number of different objects, and for them finding the desired object is associated with a large search that cannot be reduced without loss of generality of the solution. The article provides a description of the class of non-local areas, which are characterized by a rather short declarative description, but the enumeration of possible objects is difficult because of their great diversity. The number of the mentioned objects is represented as an exponent of the length of the declarative description. To specify non-local areas, Boolean language is used, which provides all the necessary tools. If we consider such a description as a logical function, then its nonlocality denotes a large number of subfunctions that can be obtained, meaning arguments. On the other hand, the representation of these regions in the graph language allows us to be represented as graphs in which the objects are empty subgraphs. Each empty subgraph corresponds to an object domain. As a result, it is possible to show that all maximal empty subgraphs have a uniform distribution, i.e. have the same complexity, and their number is expressed by the exponent of the number of nodes of the original graph.

Keywords: logical functions, logical matrices, orthogonality graphs, empty subgraphs, unit value, subject area, domain objects

В связи с интересом к решению переборных задач ([1, 2]), с одной стороны, возникает интерес к построению конкретных предметных областей (ПО), в которых такие задачи решаются просто (не более чем за полином от сложности декларативного описания ПО), а с другой – ПО, в которых число различных объектов много, и их перебор представляется трудоемким. В первом случае просто разрешимые ПО имеют сугубо прикладное значение, так как при их анализе удастся экономить вычислительные

ресурсы. Второй класс ПО со сложной разрешимостью имеет скорее теоретическое значение, демонстрируя, какие условия определяют их сложность.

Известно, что так называемые локальные ПО, определяемые, например, на логическом языке, просты для разрешения. Такие ПО характеризуются длинными описаниями своих объектов, и для них просто решаются задачи построения искомого объекта в силу ограничения вариантов поиска большим числом условий. Например,

такие ПО описываются реляционными базами данных, в которых ответ на запрос (конечно, если он составлен рационально) не требует большого числа ресурсов. С другой стороны, существуют так называемые нелокальные ПО, которые обладают большим числом разнообразных объектов, и для них нахождение искомого объекта связано с большим перебором, который невозможно снизить без потери общности решения. Например, к таким задачам относятся задачи, формулируемые на графах, большое число комбинаторных задач и т.п. Исследование свойств локальности и нелокальности предметных областей приведено в [3], где эти свойства описаны на языке так называемых логических матриц.

Логические матрицы суть представления КНФ логических функций и определяются следующим образом. Пусть $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ есть множество дизъюнктов, зависящих от переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$. Множество D представляется матрицей M_D , столбцы которой занумерованы от 1 до m , а строки – от 1 до n . Ее элемент $a_{ij} = 1$, если переменная x_i входит в дизъюнкт D_j , $a_{ij} = 0$, если в D_j входит литера x_i и a_{ij} есть символ подчеркивания « $_$ », если ни переменная x_i ни ее отрицание не входят в D_j . Символы 0 и 1 суть значащие, символ « $_$ » – незначащий.

В работе представлены нелокальные логические матрицы, для которых число подфункций, получаемых различными означиваниями переменных, велико. Сопоставляя матрицам определенные графовые конструкции, удается построить графы, в которых велико число пустых подграфов. Тем самым, если граф полагать декларативным описанием ПО, то ее фактическое описание в виде перечисления пустых подграфов сложное.

Цель статьи состоит в описании так называемых нелокальных ПО, которые позволяют задавать декларативно просто описываемые ПО, обладающие большим числом принадлежащих им объектов.

Логические уравнения, матрицы и графы, определяемые уравнениями

Пусть $\Sigma: \Sigma_i = \sigma_i, i = 1, 2, \dots, m, m > 1, \sigma_i \in \{0, 1\}$, есть система булевских линейных уравнений от n переменных $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, Σ_i представляет собой сумму по модулю два в точности $k_i \leq k$ различных положительных переменных из множества $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, и каждая переменная входит в точности в два уравнения.

Верны следующие утверждения:

1. Система Σ уравнений имеет решение тогда и только тогда, когда выполняется равенство $\sigma_1 \oplus \sigma_2 \oplus \dots \oplus \sigma_m = 0$.

2. В системе Σ уравнений каждая переменная существенная.

Поставим в соответствие системе Σ уравнений граф G_Σ , содержащий m узлов, каждый его узел N_i помечен меткой σ_i и ему соответствует уравнение $\Sigma_i = \sigma_i, i = 1, 2, \dots, m$. Узлы N_i и N_j соединены ребром с меткой $x \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, если x есть общая переменная уравнений $\Sigma_i = \sigma_i$ и $\Sigma_j = \sigma_j$. В графе G_Σ метки всех ребер различные, и они покрывают все множество $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ переменных.

Понятно, что при различных распределениях меток узлов графа G_Σ решения системы Σ различны.

Поставим в соответствие системе Σ уравнений логическую матрицу M_Σ приведением каждой суммы Σ_i в уравнении $\Sigma_i = 1$ к КНФ и представлением каждого ее дизъюнкта в виде столбцов. Аналогично к КНФ приводится выражение $\neg \Sigma_i$, если в Σ имеется уравнение $\Sigma_i = 0, i = 1, 2, \dots, m$. Если в уравнении $\Sigma_i = \sigma_i, \sigma_i \in \{0, 1\}$ имеются m_i переменных, то в матрице M_Σ соответствующей КНФ, содержится m_i строк и 2^{m_i-1} столбцов. При $\sigma_i = 1$ в каждом столбце матрицы M_i четное число нулей, а при $\sigma_i = 0$ – нечетное. Матрицу M_i превращаем в матрицу, содержащую n строк (n – число различных переменных в уравнениях системы Σ), за счет добавления строк, соответствующих отсутствующим переменным, каждая такая строка имеет лишь незначащие символы « $_$ ». Матрица M_Σ получается из всех таких матриц $M_i, i = 1, 2, \dots, m$ конкатенацией столбцов. Очевидно, что две матрицы M_i и M_j имеют общую строку, содержащую значимые символы в столбцах, соответствующих обоим матрицам, тогда и только тогда, когда уравнения $\Sigma_i = \sigma_i$ и $\Sigma_j = \sigma_j$ имеют общую переменную, и эта строка соответствует этой переменной.

По матрице M_Σ построим граф ортогональности G_{Ort} , в котором число узлов совпадает с числом столбцов матрицы M_Σ , каждому столбцу соответствует в точности один узел (потому считаем, что имена узлов совпадают с номерами столбцов) и каждому узлу приписан вектор, полученный транспонированием столбца. Два узла графа G_{Ort} смежны тогда и только тогда, когда соответствующие столбцы матрицы, определяемые различными уравнениями, ортогональные. Тем самым при построении графа ортогональности не учитывается ортогональность узлов, определяемых любой, но одной матрицей M_i . Поэтому всякая матрица M_i в графе G_{Ort} определяет пустой подграф G_i , узлы которого помечены ее столбцами.

Тогда каждая пара матриц M_i и M_j таких, что соответствующие уравнения $\Sigma_i = \sigma_i$

и $\Sigma_j = \sigma_j$ имеют общую переменную x , в графе G_{Ort} определяет двудольный подграф (G_i, G_j) с долями G_i и G_j , который обладает следующим свойством: половина узлов подграфа G_i смежных с узлами подграфа G_j характеризуются нулевым значением переменной x , а половина – наоборот, единичным значением. Аналогично для подграфа G_j – половина узлов с нулевыми компонентами, соответствующими переменной x , а половина – с единичными. В результате в подграфе (G_i, G_j) выделяются два пустых подграфа, один из них характеризуется нулевым значением компонентов, соответствующих переменной x , а другой – единичным.

Отметим, что если в векторах, приписанных подграфам G_i и G_j , вычеркнуть компонент, соответствующий переменной x , то метки узлов каждого из этих подграфов образуют полное покрытие соответствующих единичных кубов. Размерности этих кубов на единицу меньше числа переменных в уравнениях, соответственно $\Sigma_i = \sigma_i$ и $\Sigma_j = \sigma_j$.

Двойственными к выделенным пустым подграфам служат два полных двудольных подграфа, которые определяются следующим образом: в графе G_i все узлы первого двудольного графа характеризуются единичным компонентом приписанных векторов и нулевым в графе G_j . Для второго – наоборот, в графе G_i все его узлы характеризуются нулевым компонентом приписанных векторов и единичным в графе G_j .

Опишем преобразование матрицы M_Σ и графов, когда переменная x , принадлежащая в точности двум уравнениям системы Σ , принимает значения $\sigma_x = 0, 1$. Пусть эта переменная входит в уравнения $x \oplus \Sigma_i' = \sigma_i$, $x \oplus \Sigma_j' = \sigma_j$, и x есть метка ребра $N_i N_j$. Если $\sigma_x = 0$, то уравнения превращаются в $\Sigma_i' = \sigma_i$ и $\Sigma_j' = \sigma_j$, в графе G_Σ ребро с меткой x стирается, и метки узлов N_i и N_j не меняются. Если $\sigma_x = 1$, то уравнения превращаются в $\Sigma_i' = 1 - \sigma_i$, $\Sigma_j' = 1 - \sigma_j$, в графе G_Σ ребро x стирается, и метки узлов N_i и N_j инвертируются. Соответствующие преобразования матрицы M_Σ следующие. Если $\sigma_x = 0$, то вычеркиваются все столбцы, имеющие на пересечении со строкой x нулевое значение, и затем сама строка x . Аналогично, при $\sigma_x = 1$, вычеркиваются все столбцы, имеющие на пересечении со строкой x единичное значение, затем вычеркивается строка x . Такие преобразования следуют из того, что матрица M_Σ представляет логическую функцию в КНФ.

Рассмотрим, как подобное преобразование отражается на графе ортогональности G_{Ort} . Если $\sigma_x = 0$, то в двудольном подграфе

(G_i, G_j) выделяется пустой подграф $G_{x=0}$, который характеризуется нулевым значением компонентов, соответствующих переменной x . Если $\sigma_x = 1$, то пустой подграф $G_{x=1}$ характеризуется единичным значением компонентов, соответствующих переменной x . Теперь, если выбросить все ребра, определяемые переменной x , то получим два графа ортогональности $G_{Ort(x=0)}$ и $G_{Ort(x=1)}$, которые связаны с системами уравнений $\Sigma_{x=0}$, $\Sigma_{x=1}$, графами $G_{x=0}$ и $G_{x=1}$, матрицами $M_{x=0}$ и $M_{x=1}$ подобно исходным.

Производя сравнение матриц и графов, полученных в результате описанных преобразований, убеждаемся в верности утверждения: означивания $\sigma_x = 0, 1$ переменной x приводят к таким изменениям в системе Σ уравнений, графе G_Σ , матрице M_Σ и графе ортогональности G_{Ort} , что результирующие системы уравнений, графы, логические матрицы и графы ортогональности связаны подобно исходным. Обозначим их соответственно Σ_{σ_x} , G_{σ_x} , M_{σ_x} и $G_{Ort\sigma_x}$.

Аналогичными обозначениями будем пользоваться, когда рассматривается означивание σ_x совокупности x переменных. Пусть x есть совокупность переменных уравнений системы Σ , $|x| = h$, выделяющая подграф G_x , ребра которого помечены переменными из x . Узлы подграфа G_x образуют множество N_x , а ребра – множество D_x , $|D_x| = h$, каждое ребро из D_x помечено переменной из x , каждый узел из N_x инцидентен по меньшей мере одному ребру из D_x . Назовем узел $N \in N_x$ внутренним, если ему инцидентны ребра только из множества D_x , в противном случае назовем узел N – граничным. Таким образом, каждый граничный узел смежный с некоторыми узлами вне N_x .

Полагаем, что число граничных узлов подграфа G_x равно k , $N_1, N_2, \dots, N_k$ суть все граничные узлы графа G_x , и $Y_1 \subseteq x$, $Y_2 \subseteq x$, ..., $Y_k \subseteq x$ суть подмножества переменных, которыми помечены ребра, инцидентные соответственно узлам $N_1, N_2, \dots, N_k$. Так как метки ребер графа G_Σ различные, то для не смежных граничных узлов эти множества различны. Пусть σ есть означивание переменных x . Сформируем по σ бинарный вектор $s = (s_1, s_2, \dots, s_k)$, где s_i есть сумма по модулю двух компонентов из σ , определяемых множеством Y_i , $i = 1, 2, \dots, k$. Назовем этот вектор ассоциированным с означиванием σ .

Совокупность x переменных выделяет в графе ортогональности G_{Ort} подграф G_{Ortx} , ребра которого определяют отношение ортогональности, задаваемое переменными x . При означивании переменных x узлы именно графа G_{Ortx} образуют интересные нас пустые подграфы. В общем случае каждое

означивание σ_x определяет пустой подграф $G_{Emp\sigma x}$, полученный вычеркиванием узлов и ребер подграфа $G_{Ort\sigma x}$, как описано выше для одной переменной. В случае, когда рассматривается совокупность x переменных, преобразования осуществляются для каждой из них. В результате каждое такое означивание σ_x порождает и новый граф ортогональности. Однако различные означивания могут приводить к одинаковым как пустым подграфам, так и результирующим графам ортогональности. Поэтому оценим их число по логической матрице M_Σ .

Верно следующее свойство ассоциированных векторов.

Лемма 1. Два означивания σ_1 и σ_2 переменных x определяют различные логические функции, соответствующие логические матрицы, графы и графы ортогональности, тогда и только тогда, когда σ_1 и σ_2 обладают различными ассоциированными векторами.

Доказательство. 1. Из определения ассоциированного вектора $(s_1, s_2, \dots, s_k)$ следует, что если $s_i = 1$, то соответствующее означивание σ переменных x приводит к инвертированию метки граничного узла N_i . Если же $s_i = 0$, то инвертирования нет. Отметим, что различные инвертирования приводят к различным логическим функциям. Таким образом, различные ассоциированные векторы соответствуют различным логическим функциям. Несовпадение логических матриц, графов и графов ортогональности вытекает из несовпадения логических функций.

2. Пусть означивания σ_1 и σ_2 переменных x определяют различные логические функции, но обладают одинаковыми ассоциированными векторами. Из определения ассоциативного вектора следует, что эти два означивания приводят к одному подграфу, в котором вычеркнуты все ребра с метками из множества x и все узлы, которым не инцидентно ни одно ребро. Следовательно, эти означивания определяют одну логическую функцию. Противоречие.

Лемма доказана.

Говорим, что означивания σ_1 и σ_2 переменных x эквивалентны, если они определяют одну логическую функцию.

Из способа формирования графов G_x и $G_{Ort\sigma x}$ получаем такое утверждение.

Следствие. Эквивалентные означивания σ_1 и σ_2 переменных x определяют одинаковые подграфы G_x и $G_{Ort\sigma x}$.

Получаем, что признаком эквивалентности наборов, означивающих переменные x , является вид ассоциированного вектора. Поэтому представляет интерес количество различных классов эквивалентности в зависимости от числа компонентов ассоци-

ированного вектора. Оценка снизу число различных классов эквивалентности означиваний переменных x приведена в [3]: все означивания переменных x разбиваются не

менее чем на $2^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}$ различных классов эквивалентности.

Такое разбиение означиваний переменных x позволяет установить количество различных соответствующих матриц, подграфов и графов ортогональности. Верно такое утверждение: все означивания переменных x определяют не менее $2^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}$ различных логических функций, матриц, подграфов и графов ортогональности.

В данной статье нас интересует число различных пустых подграфов, которые можно выделить в исходном графе ортогональности. Исходим из того, что каждое означивание σ_x переменных x в графе ортогональности G_{Ort} определяет пустой подграф, и неэквивалентные означивания определяют различные пустые подграфы. Из этого вытекает, что в исходном графе ортогональ-

ности G_{Ort} имеется не менее $2^{\lfloor \frac{k}{2} \rfloor}$ различных пустых подграфов, число узлов в каждом из которых не менее $|G_x|$

Нелокальные области

Пусть степень вершин графа G_Σ ограничена некоторой константой, и для него существуют константы $0 < c_1, c_2 < 1$ такие, что любой подграф, обладающий $c_1 n$ ребрами, имеет $c_2 n$ граничных узлов. Такие графы называются расширителями [4]. Из указанного свойства расширителя и Следствия 1 вытекает

Теорема 2. Существуют матрицы с n строками, для которых мощность фактормножеств означиваний части ее переменных не менее 2^{cn} , где c – некоторая положительная константа.

Проблема нахождения пустых подграфов в произвольных графах имеет немалое прикладное значение [5]. В связи с этим интерес представляет такое утверждение.

Следствие. Существует граф ортогональности с n узлами, в котором имеется не менее 2^{cn} пустых подграфов, где c – некоторая положительная константа.

Распределение пустых подграфов графа ортогональности

Каждому объекту построенной ПО можно поставить в соответствие частоту, с которой он определяется посредством означиваний переменных. Это позволяет определить энтропию ПО в зависимости от различных описаний объектов. Известно, что классы

эквивалентности означиваний переменных x обладают одинаковыми долями независимо от порядка означивания переменных [3]. Каждому классу эквивалентности означиваний соответствует уникальный пустой подграф, выделяемый переменными x . Из последнего утверждения следует, что каждый такой пустой подграф определяется одинаковым числом означиваний переменных x . Следовательно, все объекты ПО обладают одинаковым распределением, а сама ПО – большой энтропией.

Заключение

В работе описано семейство логических матриц, для которых число классов эквивалентности, получаемых различными означиваниями переменных, ограничено снизу экспонентой от числа строк матрицы. Это позволяет построить графы, число пустых подграфов в которых ограничено снизу экспонентой от числа узлов. В результате опи-

сывается предметная область, для которой декларативное описание в виде графа – простое, но она содержит объекты, число которых не менее экспоненты от числа узлов. Тем самым построена декларативно просто описываемая ПО, в которой все объекты обладают одинаковыми совокупностями признаков, т.е. ПО, обладающая большой энтропией.

Список литературы

1. Асанов М.О., Баранский В.А., Расин В.В. Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 368 с.
2. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Дискретная математика. М.: Физматлит, 2014. 496 с.
3. Попов С.В., Брошкова Н.Л. Прикладная логика. М.: Физматлит, 2011. 212 с.
4. Введение в криптографию / Под ред. В.В. Яценко. М.: МЦНМО, 2012. 342 с.
5. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: Вузовская книга, 2010. 664 с.

УДК 004.81

**ТЕОРИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ****Шарафеев И.Ш.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ», Казань, e-mail: sh_ilgizar_sh@mail.ru*

Становление информационных технологий, продиктованное запросами машиностроения (в том числе), происходит в своеобразной зависимости от специфики производства и уровня его развития. Например, опыт разработки и внедрения (на ряде авиационных предприятий) системы автоматизированного проектирования норм труда САПР НТ «NORMA» позволил систематизировать некоторые информационные технологии и сформулировать некоторую теоретическую базу, подкреплённую практическим приложением, которая и представлена в данной статье. Данная теория рассматривается в контексте теории познания, где особое внимание сконцентрировано на понятийных, функциональных и структурных особенностях «данных», «информации», «знаний» и «интерфейсов», и их отображении на базах знаний. Центральное место занимают преобразование «представлений». Практическое приложение теории подкреплено использованием табличного алгоритмического языка (ТАЯ) собственной разработки. В статье показаны структура «информации» и структура «знаний», являющиеся основой для структуризации баз знаний. Рассматривается способ расчёта количества информации в знаниях. Представленные в статье понятийные, функциональные и структурные концепты – это теоретическая составляющая теории представлений, а табличный алгоритмический язык ТАЯ – практическая составляющая. Базой для отработки рассматриваемых в статье концептов явилась система автоматизированного проектирования норм труда САПР НТ «NORMA». В исторической хронологии разработчиком этой системы (конец 1960-х гг.) является Казанский филиал НИАТ (ныне КНИАТ), преемником – в настоящее время – КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева.

Ключевые слова: данные, информация, знания, базы знаний, познание, структура знаний, объём знаний, преобразования информации, формализм принятия решений

**THEORY OF PERCEPTIONS IN SYSTEMS OF AUTOMATION
OF TECHNOLOGICAL PURPOSE****Sharafiev I.Sh.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research
Technical University named after A.N. Tupolev – KAI», Kazan, e-mail: sh_ilgizar_sh@mail.ru*

Formation of information technologies, dictated by engineering industry requirements (including), occurs in of some dependence on the specifics of production and its level of development. For example, experience of development and introduction on number of aviation enterprises, computer aided design of labor intensity, contributed to the formation of some theory, which was named the theory of perceptions. This theory is considered in the context of the theory of knowledge, with emphasis on the conceptual, functional and structural characteristics of such concepts as «data», «information», «knowledge», and is their displaying on the bases of knowledge. The central place is occupied a transformation of «perception». On the basis of this theory was de-veloped knowledge base. The article shows the structure of information and knowledge, which are the basis for the structuring of knowledge bases. Showed algorithmic language used in the knowledge base. In article shows a method of calculating the amount of information in the knowledge. The conceptual, functional and structural concepts presented in the article are a theoretical component of the theory of representations, and the table algorithmic language (TAL) is a practical component. The basis for working out the concepts considered in the article was the system of automated design of the labor standards of the CAD «NT» NORMA «. In historical chronology, the developer of this system (the end of the 1960s) is the Kazan branch of NIAT (now KNIAT), the receiver – now – KNITU-KAI them. A.N. Tupolev.

Keywords: data, information, knowledge, knowledge base, perception, structure of knowledge, amount of knowledge, information transformation, and formalism of decision-making

Авторским началом исследований в этой области можно считать начало 1980-х гг. Основным концептом этих исследований явился анализ принципа «структура определяет знания». Причиной поиска этого принципа явился осязаемый динамизм в сфере информационных технологий. А выражалось это принципиальной и частой сменой поколений технических средств: ЭВМ второго поколения (серии «Минск-22 (32)»); ЭВМ третьего поколения (серии ЕС); IBM совместимые компьютеры (в среде MS DOS,

в среде MS Windows). Профессиональные неудобства от этого, безусловно, положительного эффекта научно-технического прогресса ощутили те разработчики, которые занимались проектированием различных систем автоматизации в конце 1960-х – начале 1970-х гг. Это явилось причиной вынужденного выполнения больших объёмов работ, связанных с перепрограммированием разработанных средств автоматизации, что явилось причиной осязаемых издержек, например, по времени – 3 с лишним года;

по трудоёмкости – порядка 50 человеко-лет. На основании анализа полученных результатов и затрат было принято решение о необходимости повышения производительности труда разработчиков. В результате был разработан язык ТАЯ (табличный алгоритмический язык) [1]. Дальнейшие теоретические и практические наработки, их анализ и переосмысливание способствовали формированию данной теории представлений.

Цель исследования: обобщение накопленного теоретического и практического опыта разработки средств автоматизации технологического назначения в виде «Теории представлений», включающей понятийные, функциональные, структурные концепты и алгоритмический язык представления знаний.

Понятийные, функциональные и структурные концепты формируют теоретическую составляющую теории представлений, а табличный алгоритмический язык ТАЯ – практическую.

Цель разработки своего алгоритмического языка продиктована необходимостью повышения производительности труда разработчиков программных средств в критические моменты времени (при смене технического и программного обеспечения) в условиях ограниченного времени и людских ресурсов. Идея заключается в том, что все знания о предметной области должны быть написаны на своём языке – не зависящем от алгоритмических языков, имеющих на рынке товаров и услуг. В этом случае при переходе на новые алгоритмические языки перепрограммировать необходимо только программу обработки таблиц знаний, что существенно сокращает время разработки новой версии программных средств.

Исходная база. Базой для отработки рассматриваемых в статье концептов явилась система автоматизированного проектирования норм труда САПР НТ «NORMA». В исторической хронологии разработчиком этой системы (конец 1960-х гг.) является Казанский филиал НИАТ (ныне КНИАТ), преемником – в настоящее время – КНИТУ – КАИ им. А.Н. Туполева.

Общие положения. Под представлениями, положенными в основу данной теории, подразумеваются определённые ассоциации, сформировавшиеся у субъекта в результате его взаимодействия с окружающей действительностью. В представлениях, если опираться на теорию категорий (как особый математический способ описания объектов через их соответствия (морфизмы) между собой [2, с. 43]), следует выде-

лить четыре информационно-когнитивные категории (ИКК): данные, информацию, знания, интерфейсы. *Данные, информация, знания* являются структурными единицами (константами) теории. Доминантой *интерфейсов*, помимо того, что они тоже являются структурными единицами, является формирование понятийной и функциональной среды, определяющей условия существования «представлений» и разновидности их преобразований.

Теория представлений – это точка зрения понятийно-функционально-структурного характера, рассматривающая: общность и различия информационно-когнитивных категорий представлений (данных, информации, знаний, интерфейсов); их преобразования в процессе познания (и принятия решений); их структуризация.

Потребность в развёртывании этой теории возникла в результате того, что, несмотря на широкое использование этих понятий в различных приложениях теории и практики, методологически – в части анализа их общности и различий – они отработаны не окончательно. Методологическая незавершённость затрагивает как понятийный и функциональный аппараты, так и аппарат их структуризации.

Несовершенство понятийного аппарата проявляется в том, что существующие в литературных источниках определения (для данных, информации и знаний) переопределяются друг через друга. Встречаются определения, когда данные трактуются как некая информация; информация как данные и знания; знания как совокупность данных и сведений; и т.п. [3–6].

Несовершенство функционального аппарата подтверждается отсутствием вариаций преобразования данных, информации и знаний; отсутствием определения роли интерфейсов в этих преобразованиях и их классификации.

Несовершенство аппарата структуризации сводится к тому, что, несмотря на глубокие проработки «Баз данных» (которые с позиции теории представлений следовало бы называть «Базами информации») и «Баз знаний», нигде не анализируется ни структура информации, ни структура знаний. В таких условиях трудно обеспечить оптимальную вложенность этих ИКК в электронные базы, что может быть достигнуто только тождественностью их структур. Поэтому одной из задач теории представлений является структуризация ИКК и, как следствие, вторая задача – структуризация электронных информационных баз. Для демонстрации решения этих задач в статье показаны примеры структуризации и обобщённой модели процедуры

принятия решений. Эта модель может быть классифицирована как информационно-когнитивная модель искусственного интеллекта (ИКМ ИИ).

Понятийный аппарат

В работе [7] в качестве объединяющего понятия для ИКК был предложен термин «представления». В связи с этим данные, информацию и знания следует рассматривать как некоторые модели представлений, обладающие различной потенцией и степенью достоверности, предназначенные для формирования образа окружающей действительности. Интерфейсы – это тоже определённые знания, но предназначенные для преобразования представлений и формирования новых представлений. Для субъекта-исследователя данные, информация и знания – это опорные точки идентификации окружающих процессов и явлений, а интерфейсы – его творческий потенциал. В этом контексте: данные – это неосознанные представления (которые, однако, имеют потенцию стать информацией); информация – это осознанные представления (характеризующие определённый атрибут объект или субъект, или некоторого процесса, выполняемого с их участием); знания – это руководство к действию (представляющее некоторую цепочку причинно-следственных связей с использованием некоторого множества информации).

Данные, ввиду их неосознанности, не имеют внутренней структуры, по этой причине они не могут быть систематизированы и классифицированы – они могут только конкатенироваться (в памяти субъекта-исследователя (естественного интеллекта) или в виртуальной памяти искусственного интеллекта). Только в результате совершенствования конкретного интерфейса, «данные» могут быть трансформированы в «информацию».

Информация имеет фактографический характер. Типовыми представителями информации (или базы информации) следует считать справочники, словари, каталоги. Ввиду своей осознанности информация может быть классифицирована, например: факты, сравнения, утверждения, отождест-

вления. Более подробная классификация будет показана ниже – в аппарате структуризации.

Знания имеют директивный характер и представляют собой некий алгоритм принятия решений или достижения некоторых целей. То есть, если информация – это статическая модель «представлений», то знания – это динамическая модель. Если информация – осведомлённость, то знания – это умения. Если информация – это потенциальные возможности для принятия решений, то знания – это конкретный способ принятия решений.

Интерфейсы характеризуются творческим потенциалом: распознавания, преобразования или синтеза ИКК.

Объединяющим началом ИКК является субъективность природы их возникновения. Они существуют только в реальном или виртуальном (в виде компьютерных программ) сознании человека.

Различия ИКК заключаются в их потенциальных возможностях. Данные не имеют потенции – это некий неосознанный балласт, который, однако, имеет перспективу преобразования в информацию, при соответствующем усовершенствовании нужного интерфейса. Информация – это исходная посылка для формирования знаний. Никакая информация, никакое множество информации (в чистом виде) не могут сформировать принятие решения. Для принятия решений необходимы знания, формализующие переход от одной совокупности информации к новой информации или к новым знаниям.

Функциональный аппарат и аппарат структуризации

Рассматривать эти аппараты будем на примере процедуры познания, разворачивающейся во время взаимодействия некоторого «интеллекта» и «окружающей действительности» под воздействием общественных отношений. Для этого введём константы: D , I , K , Int (данные, информация, знания и интерфейсы, соответственно).

Аксиома 1. Существует четыре информационно-когнитивные категории представлений, p (от англ. *perception* – восприятие): $p = D \cup I \cup K \cup Int$;

$$D = \{d_a : a = \overline{1, A}\}; I = \{i_b : b = \overline{1, B}\}; K = \{k_c : c = \overline{1, C}\}; Int = \{Int_j : j = \overline{1, 8}\}.$$

Аксиома 2. Существует восемь категорий интерфейсов

$$Int_j \supseteq (Int_a \cup Int_I \cup Int_{II(1)} \cup Int_{II(2)} \cup Int_{III(1)} \cup Int_{III(2)} \cup Int_z \cup Int_m),$$

где Int_a – интерфейс начального порядка, отвечающий за концентрацию внимания на определённых атрибутах предмета исследования (на уровне естественного интеллекта (ЕИ) – это желания, цели; на уровне искусственного интеллекта (ИИ) – постановка задачи);

Int_I – интерфейс первого порядка, предназначенный для восприятия атрибутов предмета исследования, попавших в поле зрения исследователя, формирующий определённые данные (для ЕИ – органы чувств и восприятия; для ИИ – программы считывания, например, геометрического образа объекта), являющийся *инструментом простого созерцания*;

$Int_{II(1)}$ – интерфейс второго порядка первого рода, преобразующий данные в информацию нечёткую (для ЕИ – осознание созерцаемого, например, осознание того, что рассматриваемый предмет большой и тяжёлый), являющийся *инструментом субъективно осознанного созерцания*;

$Int_{II(2)}$ – интерфейс второго порядка второго рода, преобразующий информацию нечёткую в информацию чёткую (для ЕИ – доведение субъективно осознанного созерцания до объективно осознанного созерцания, например, «рассматриваемый предмет имеет габариты 200×300×125 мм и весит 21 кг»), являющийся *инструментом объективно осознанного созерцания* (например, средствами метрологии и стандартизации);

$Int_{III(1)}$ – интерфейс третьего порядка первого рода, преобразующий информацию чёткую в знания потенциальные (знания субъекта исследователя, пока не прошедшие практическую апробацию, для ЕИ – формирование целенаправленной цепочки причинно-следственных связей между разрозненными множествами информации), являющийся *инструментом формирования теоретических знаний*;

$Int_{III(2)}$ – интерфейс третьего порядка второго рода, преобразующий знания потенциальные в знания реальные (для ЕИ – это знания, сформировавшиеся на практике, например, теоретические знания, подтверждённые экспериментом; подтверждённые в результате апробирования производственного процесса в некоторых организационно-технических условиях), являющийся *инструментом формирования практических знаний*;

Int_z – интерфейс завершающего порядка, отвечающий за формирование принятия решений (для ЕИ – убеждённость в эффективности использования потенциальных знаний (в случае невозможности их практической апробации) или реальных знаний (проверенных практикой), для достижения поставленной цели), являющийся *инструментом практического принятия решений*;

Int_m – метаинтерфейс, совершенствующий все остальные интерфейсы (для ЕИ – учёба или самообучение, как *инструмент повышения квалификации*, для ИИ – корректировка (расширение) информационной базы

или базы знаний, как инструмент *совершенствования программной модели*), являющийся *инструментом развития*.

Аксиома 3. Преобразование представлений осуществляется посредством соответствующих интерфейсов:

$$A_{s,r} \xrightarrow{Int_I} \tilde{A}_{s,r}; \tilde{A}_{s,r} \xrightarrow{Int_I} \{d_a\}; \{d_a\} \xrightarrow{Int_{II}} \{i_b\};$$

$$\{i_b\} \xrightarrow{Int_{III}} \{k_c\}; \{k_c\} \xrightarrow{Int_z} R,$$

где $A_{s,r}$ – атрибуты окружающей действительности; $\tilde{A}_{s,r}$ – атрибуты окружающей действительности, попавшие в поле зрения исследователя; R – результат принятия решения.

Аксиома 4. Существуют две группы информации – информация нечёткая $i_{n.cl_b}$, информация чёткая i_{cl_b} (см. выше, комментарии по $Int_{II(1)}$ и $Int_{II(2)}$); $i_b \supseteq (i_{n.cl_b} \cup i_{cl_b})$.

Аксиома 5. Существуют две группы знаний – знания потенциальные k_{p_c} и знания реальные k_{r_c} (см. выше, комментарии по $Int_{III(1)}$ и $Int_{III(2)}$); $k_c \supseteq (k_{p_c} \cup k_{r_c})$.

Аксиома 6. Под информацией понимается факто-утверждающая функция – одноместная в правой части: $a = b$ – утверждение; $a \neq b$ – отрицание; $(a > b) \vee (a < b)$ – сравнение; $a \in A$ – принадлежность; $a \notin A$ – отсутствие; $A \subset B$ – включение; $A \not\subset B$ – исключение; $A \cap B$ – общность (пересечение); $A \cup B$ – расширение (сложение).

Аксиома 7. Следует различать знания параметрические и процессуальные. Первые относятся к категории безальтернативных (количество альтернатив равно единице), вторые – к категории альтернативных (предлагающих как минимум два решения):

$y = kx + b$ – параметрические знания (с линейной функцией);

$y = A_i \prod_{j=1}^{j=J} x_j^{\alpha_j}$ – параметрические знания (со степенной функцией);

$y = A_i \prod_{j=1}^{j=J} \alpha_j^{x_j}$ – параметрические знания (с показательной функцией);

$(a = b) \rightarrow [y = R_m(\bar{x}_j)] \dashv [y = R_n(\bar{x}_j)]$ – процессуальные знания (в виде импликации).

Аксиома 8. Существует две группы памяти (M): экстернальная (внешняя, всеобщая), представляющая собой информацию и знания, накопленные всем сообществом исследователей – M_{ex} ; интернальная (внутренняя, личная), представляющая собой опыт конкретного субъекта исследователя – M_{in} ; $M \supseteq (M_{ex} \cup M_{in})$.

Аксиома 9. Объём знаний измеряется количеством информации, разновид-

ности которой показаны в аксиоме 6. $H_{\text{инф}} = 2H_{\text{нз.пер}} + (A_{\text{ал.реш}} - 1)$, где $H_{\text{инф}}$ – количество информации; $H_{\text{нз.пер}}$ – количество независимых переменных, участвующих в описании знания; $A_{\text{ал.реш}}$ – количество альтернативных решений.

Информационно-когнитивная модель искусственного интеллекта

Рассматривая процедуру «Познания», с учётом представленных выше аксиом, можно формализовать следующее принципиальное правило принятия решений:

$$A_{s,r} \Rightarrow A_{s,r} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M'_{ex} \\ M_{in} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(1)} \\ M_{in}^{(1)} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(2)} \\ M_{in}^{(2)} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(3)} \\ M_{in}^{(3)} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(4)} \\ M_{in}^{(4)} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(5)} \\ M_{in}^{(5)} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} M_{ex}^{(6)} \\ M_{in}^{(6)} \end{array} \right\} \Rightarrow R.$$

Читается это правило следующим образом. Предмет исследования $A_{s,r}$, попавший в поле зрения исследователя – $A_{s,r}$ (сформированный интерфейсом начального порядка Int_a), посредством интерфейса первого порядка Int_1 преобразуется в некоторое множество данных $\{d_a\}$. Это множество, совместно с подмножеством внешней памяти $M'_{ex} \subset M_{ex}$, и подмножеством внутренней памяти $M'_{in} \subset M_{in}$, посредством интерфейса второго порядка первого рода $Int_{II(1)} \subset Int_{II}$, преобразуется во множество «информации нечёткой» $\{i_{n.cl_b} : b' = 1, B'\} \subset i_b$. Это множество, с подмножеством внешней памяти $M_{ex}^{(1)} \subset M_{ex}$ и с подмножеством внутренней памяти $M_{in}^{(1)} \subset M_{in}$, посредством интерфейса второго порядка второго рода $Int_{II(2)} \subset Int_{II}$, преобразуется в «информацию чёткую» $\{i_{cl_b} : b' = 1, B'\} \subset i_b$. Это множество, с подмножеством внешней памяти $M_{ex}^{(2)} \subset M_{ex}$ и с подмножеством внутренней памяти $M_{in}^{(2)} \subset M_{in}$, посредством интерфейса третьего порядка первого рода $Int_{III(1)} \subset Int_{III}$, преобразуется в «знания потенциальные» $\{k_p : c' = 1, C'\} \subset k_c$. Это множество, с подмножеством внешней памяти $M_{ex}^{(3)} \subset M_{ex}$ и с подмножеством внутренней памяти $M_{in}^{(3)} \subset M_{in}$, посредством интерфейса третьего порядка второго рода $Int_{III(2)} \subset Int_{III}$, преобразуется во множество «знания реальные» $\{k_{r_c} : c'' = 1, C''\} \subset k_c$, которое преобразуется посредством интерфейса завершающего порядка Int_z в принимаемое решение. На некотором уровне абстракции это правило можно представить, как показано на рисунке. В рассмотренном примере можно выделить четыре разновидности преобразования представлений: функциональные $d \rightarrow i \rightarrow k$; совершенствование метаинтерфейса $(d \cup i \cup k) \rightarrow Int_M$; самосовершенствование интерфейсов $Int_M \rightarrow (Int_I \cup Int_{II} \cup Int_{III})$;

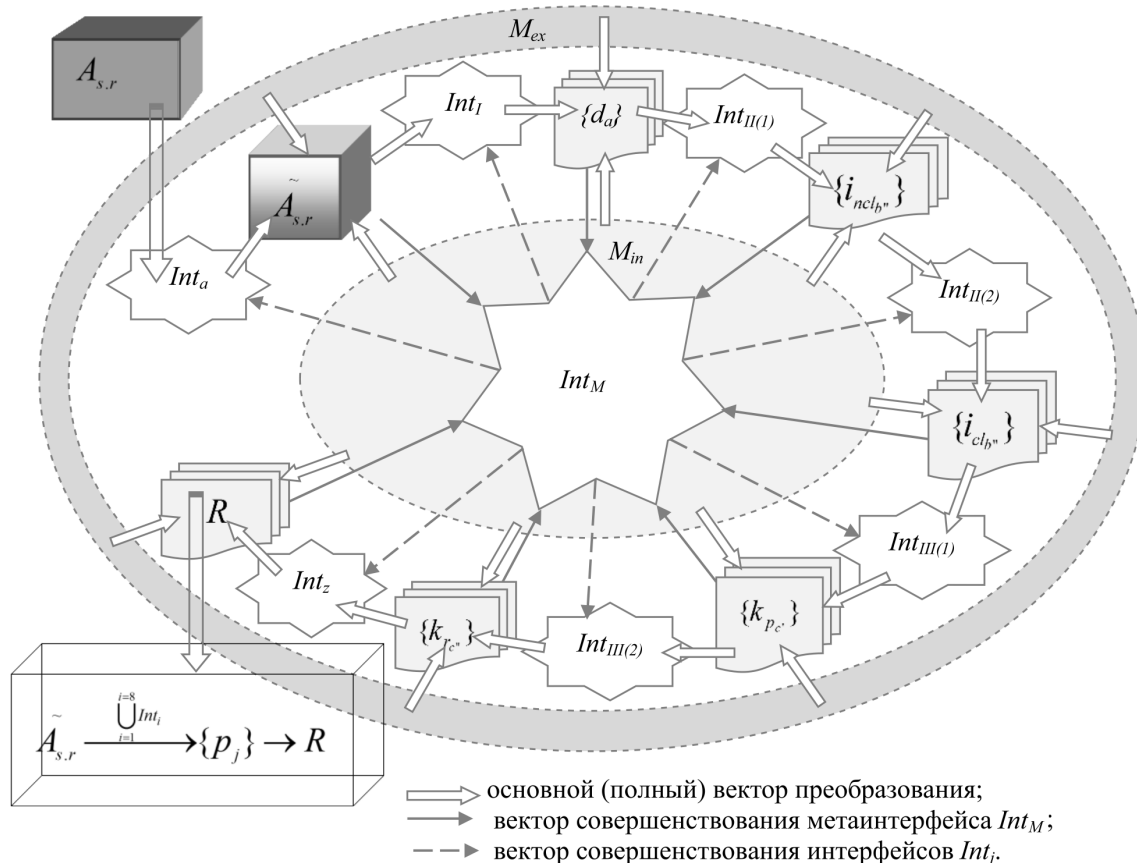
пополнение внутренней и внешней памяти $(M_{in} \cup M_{ex}) \supset (\{d_a\} \cup \{i_b\} \cup \{k_c\})$.

Результаты исследований (практическая составляющая теории представлений): структура базы знаний

Структура базы знаний показана в табл. 1, где в качестве примера приведён фрагмент записи алгоритма из табл. 2. Это таблица с двойным входом: по вертикали вход зависимый; по горизонтали – независимый. Вертикальный вход включает в себя двадцать одну переменную, где № п/п – порядковый номер записи, КСЗ – количество строк в одной записи, ТЗ – тип записи; ИП – искомая переменная. Типы записей (табл. 1) представляют собой служебные слова, например, т – тривиальная запись (простое присваивание); л – логическая запись; в – вычисления. Типы записей являются регулятором горизонтального входа.

Идентификаторы технологических параметров записываются последовательно в виде: $a\{b_i\}$, где a – буквенный символ; $\{b_i : i = 1, 4\}$ – множество буквенных или цифровых символов. Структурными единицами языка ТАЯ являются записи, располагаемые в одной или нескольких строках таблицы. Если представить «запись» в виде графа-дерева, то это маршрут, включающий по одной вершине всех иерархических уровней, вплоть до всех «дочерних» вершин предпоследнего уровня. Тип записи – это указатель функции.

К числу положительных особенностей ТАЯ можно отнести то, что вертикальный вход обеспечивает структурность, компактность, наглядность и обозримость, свойственную таблицам, а горизонтальный – гибкость алгоритмических языков. Каждая таблица оформляется в виде отдельного файла. Последовательность обработки каждой таблицы определяется множеством управляющих векторов, также оформляемых в виде отдельных файлов.



Информационно-когнитивная модель искусственного интеллекта

Таблица 1

Пример заполнения базы знаний, с использованием языка ТАЯ

Комментарии	Шифр таблицы:			Имя файла:							Маршрут файла:												
	Наименование технологической операции:										Токарно-винторезная												
	Наименование технологического перехода:										Точение												
	Входная информация										км/добр/глуб/												
	Выходная (искомая) информация										подо												
Идентификаторы			глобальные:							км/добр/глуб/													
			локальные:							к/a1/a2/c													
№ п/п	КСЗ	ТЗ	1-й параметр				Отношения				2-й параметр				ИП	Результат							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4	5			
1	1	т	км	добр	глуб		=	=	=		км	добр	глуб										
2	2	л	км				=	<=	<=	<=	1	3	5	8	к	0,9	1,0	1,1	1,4				
3	0						<=				13					1,7	2,0						
4	1	т	a1	a2	c		=	=	=		0,1	0,2	8,5										
5	1	в	добр		глуб		**	:	**	*	a1			a2	к	подо							

Примечание. В первой строке выполнено присваивание (для переменных км, добр, глуб) самим себе, с целью определения (для режима отладки программы) значений с которыми они пришли в эту таблицу.

Таблица 2

Фрагмент алгоритма расчёта подачи

Код обрабатываемого материала <i>Идентификатор: км</i>	Поправочный коэффициент к расчёту подачи режущего инструмента <i>Идентификатор: к</i>	Расчёт подачи инструмента на один оборот детали (S_o , мм/об) <i>Идентификатор: подо</i>
1	0,9	$S_o = 8,5 \frac{D_{обр}^{0,1}}{t_{0,2}} \text{ к}$
≤ 3	1,0	
≤ 5	1,1	
≤ 8	0,9	
≤ 13	1,7	
> 13	2,0	

$D_{обр}$ – диаметр обработки (*идентификатор – добр*); t – глубина резания (*идентификатор – глуб*).

Выводы

1. Сформулированы следующие определения:

представления – это некоторые ассоциации, формирующиеся у субъекта в результате его взаимодействия с окружающей действительностью, образующие информационно-когнитивные категории: данные, информация, знания, интерфейсы. Философичность определения: в окружающей действительности имеется множество «вещь в себе»; в сознании субъекта исследователя появляются «представления о вещи в себе»;

данные – это неосознанные представления, не имеющие внутренней структуры, конкатенирующиеся в сознании субъекта исследователя. Философичность определения: в окружающей действительности имеется множество «вещь в себе»; в сознании субъекта исследователя не формируется их понимание;

информация – это осознанные представления, характеризующие определённый атрибут объекта, субъекта или процесса, выполняемого с их участием, имеющие фактографический характер, категорируемые на информацию нечёткую и информацию чёткую. Философичность определения: в окружающей действительности имеется множество «вещь в себе»; в сознании субъекта исследователя формируются их некоторые атрибуты;

знания – это руководство к действию, показывающее некоторую цепочку причинно-следственных связей, имеющих директивный характер для принятия решений или достижения поставленной цели, формализующие переход от одной совокупности информации к новой информации или к новым знаниям, категорируемые на знания потенциальные и знания реальные. Философичность определения: в окружаю-

щей действительности имеется множество «вещь в себе»; в сознании субъекта исследователя формируется процесс распознавания их границ, выявления структуры и наполнения элементов структуры соответствующим содержанием; субъект-исследователь способен спроектировать модель вещи в себе; используя визуализацию модели, субъект-исследователь может принимать решения в конкретной области исследования;

интерфейсы – это творческий потенциал субъекта исследователя или его виртуальной модели, способный распознавать, преобразовывать или синтезировать представления, категорируемый на осознание, понимание, преобразование и самосовершенствование. Философичность определения: в окружающей действительности имеется множество «вещь в себе»; в сознании субъекта-исследователя формируется способ его исследования и накопления опыта для последующих исследований;

теория представлений – это точка зрения понятийно-функционально-структурного характера информационно-когнитивных категорий представлений: данных, информации, знаний, интерфейсов. Философичность определения: имеется некоторая окружающая действительность; субъект-исследователь может вступать с ней в определённые взаимоотношения (воздействовать на неё, воспринимать её воздействия), только руководствуясь собственными представлениями или представлениями, накопленными некоторым сообществом исследователей.

2. На основании теоретической составляющей теории представлений построена информационно-когнитивная модель искусственного интеллекта (рисунок), что подтверждает в некоторой мере объективность её положений;

3. На основании выявленных структур «информации» и «знаний» была спроектирована «База знаний» (табл. 1), практически апробированная в системе автоматизированного проектирования норм труда САПР ИТ «NORMA».

Список литературы

1. Шарафеев И.Ш. Развитие теоретических основ и практических приложений систем автоматизированного проектирования организации основного и вспомогательного производства: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.22. Казань, 2010. 283 с.
2. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152 с.
3. Першиков В.И., Савинков В.М. Толковый словарь по информатике. М.: Финансы и статистика, 1991. 543 с.

4. Подобед Д.Г., Подобед О.В. Основы информационных технологий (краткий словарь-справочник): учеб. пособие. СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУРП, 2010. 85 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://window.edu.ru/resource/167/76167/files/slovardlyabibl.pdf> (дата обращения: 23.01.2019).

5. Словарь-справочник по информатике (онтология информатики). Новосибирский государственный университет. Факультет информационных технологий [Электронный ресурс]. URL: http://www.nsc.ru/win/elbib/data/show_page.dhtml?77+52+35 (дата обращения: 23.01.2019).

6. Глоссарий по информатике. Информатика в сетях [Электронный ресурс]. URL: http://inphormatika.ru/lectures/glossarii_po_informatike.html (дата обращения: 23.01.2019).

7. Sharafeev I.Sh. Date, information, knowledge in information systems. P. 390–394. Proceedings of the 1st International Academic Congress «Fundamental and Applied Studies in the Pacific AND Atlantic Oceans Countries». (Japan, Tokyo, 25 October 2014). Volume II. «Tokyo University Press», 2014. 580 p.

УДК 629.05:681.13

К ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ОДНОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Щипицын А.Г.*Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
Челябинск, e-mail: ags477893@mail.ru*

Рассмотрена задача, относящаяся к одному из подходов построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем для высокоскоростных маневренных объектов. Подход основан на четырёх идеях. Первая: в качестве инерциального датчика использовано твёрдое тело, которое: А) либо является носителем нескольких вибраторов, обеспечивающих принудительные гармонические колебания подвижным элементам малой массы; Б) либо имеет принудительное вращение относительно объекта. Вторая: указанное твёрдое тело имеет произвольные массогеометрические характеристики в связанной с ним системе координат: массу, шесть компонентов тензора инерции и три координаты центра масс, которые идентифицированы с требуемой точностью. Третья: указанное твёрдое тело имеет два опорных узла, контактирующих с корпусом объекта и состоящих из нескольких работающих на сжатие датчиков сил, обеспечивающих измерение реакций опор твёрдого тела. Четвёртая: блок инерциальной информации включает в себя достаточное количество указанных инерциальных датчиков, обеспечивающих получение не только полной, но и избыточной инерциальной информации. По измерениям реакций опор твёрдого тела в каждый текущий момент времени навигации объекта определяются переменные инерциальной информации, на основе которых с привлечением априорной информации о вращении Земли и её гравитационном поле определяются переменные навигационной информации и функция управления движением объекта.

Ключевые слова: инерциальный датчик, блок инерциальной информации, бесплатформенная инерциальная навигационная система, математическое описание, алгоритм функционирования

TO A TASK OF THE ANALYSIS OF ONE APPROACH TO CONSTRUCTION OF STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATING SYSTEMS

Shchipitsyn A.G.*National research South-Ural state University, Chelyabinsk, e-mail: ags477893@mail.ru*

The task concerning one of the approaches of construction strapdown of inertial navigating systems for high-speed maneuverable objects is considered. The approach is based on four ideas. First: as the inertial gauge the firm body, which is used: A) or is the carrier of several vibrators ensuring compulsory periodic fluctuations to mobile elements of small weight, B) or has compulsory rotation concerning object. Second: the specified firm body has any parameters of geometry of weights in the system, connected to it, of coordinates: weight, six moments of inertia and three coordinates of the centre of weights, which are identified with required accuracy. Third: the specified firm body has two basic units, contacting with the case of object and consisting from several gauges, working on compression, of forces ensuring measurement of reactions of support of a firm body. Fourth: The block of the inertial information includes enough of the specified inertial gauges ensuring reception not only complete, but also superfluous inertial information. On measurements of reactions of support of a firm body at each current moment of time of navigation of object are determined of the variable inertial information, on the basis of which with attraction primary of the information on rotation of the Earth and it a gravitational field are determined of the variable navigating information and function of management of movement of object.

Keywords: the inertial gauge, block of the inertial information, strapdown inertial navigating system, mathematical description, algorithm of functioning

За основу рассматриваемого подхода к построению бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) приняты следующие четыре положения. Первое: в качестве инерциального датчика (ИЛ) БИНС использовано твёрдое тело в двух вариантах: А) установленное своими осями в два опорных узла и являющееся носителем нескольких вибраторов, обеспечивающих принудительные гармонические колебания подвижным элементам малой массы; Б) принудительно вращающееся вокруг оси, установленной на подвижном объекте в двух опорных узлах. Второе: указанное твёрдое тело имеет произвольные массогеометрические характеристики (МГХ) в связанной с ним системе координат (СК): массу, шесть компонентов тензора инерции и три координаты центра

масс, которые идентифицированы с требуемой точностью. Третье: указанное твёрдое тело имеет два опорных узла, контактирующих с корпусом объекта и состоящих из нескольких работающих на сжатие датчиков сил, обеспечивающих измерение реакций опор этого твёрдого тела с требуемой точностью. Четвёртое: блок инерциальной информации (БИИ) включает в себя достаточное количество построенных указанным образом ИД, обеспечивающих получение не только полной, но и избыточной инерциальной информации.

Задача заключается в анализе принципиальной возможности построить схемное решение БИНС на основе принятых положений, то есть показать возможность выполнить математическое описание и составить алгоритм функционирования БИНС, включа-

ющий для каждого текущего момента времени измерение первичной информации и далее определение переменных: датчиковой информации, инерциальной информации, навигационной информации и определение функции управления движением объекта.

О математическом описании

Рассматривая ИД как механическую систему с учётом первого, второго и третьего

принятых положений о ней и установленную на объекте, произвольно движущемся в инерциальном пространстве, применяя к указанной механической системе теорему об изменении главного вектора количеств движения и теорему об изменении главного момента количеств движения относительно начала связанной с объектом СК (называемого далее полюсом объекта), составляем шесть скалярных уравнений [1, 2]:

$$\sum_{j=1}^3 \left[A_{ij}^{\omega} \Omega_j + A_{ij}^{\varepsilon} \varepsilon_j + A_{ij}^w W_j + \sum_{k=1}^3 A_{ijk}^{\omega\omega} \Omega_j \Omega_k \right] = Q_i, i=1,2,3; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^3 \left[A_{ij}^{\omega} \Omega_j + A_{ij}^{\varepsilon} \varepsilon_j + A_{ij}^w W_j + A_{ij}^v V_j + \sum_{k=1}^3 (A_{ijk}^{\omega\omega} \Omega_j \Omega_k + A_{ijk}^{\omega v} \Omega_j V_k) \right] = Q_i, i=4,5,6,$$

где $\Omega_j, \varepsilon_j, W_j, V_j$ – проекции на оси, связанной с объектом СК соответственно векторов абсолютной угловой скорости, абсолютного углового ускорения, кажущегося ускорения полюса объекта, скорости полюса объекта; $A_{ij}^{\omega}, A_{ij}^{\varepsilon}, A_{ij}^w, A_{ij}^v, A_{ijk}^{\omega\omega}, A_{ijk}^{\omega v}$ – коэффициенты, зависящие от массогеометрических характеристик ИД и законов движения подвижных элементов вибраторов (для варианта А) во времени и законов движения вращающегося тела (для варианта Б). Правые части первой тройки уравнений (1) зависят от сил реакций опор твёрдого тела, правые части второй тройки этих уравнений зависят от моментов сил реакций опор твёрдого тела, а указанные силы реакций и моменты сил реакций опор зависят от параметров геометрии твёрдого тела и сил, действующих на подвижные элементы вибраторов с целью создания устойчивых вынужденных гармонических колебаний этих элементов [3] с заданными амплитудами и частотами (для варианта А) и моментов сил, приводящих во вращение твёрдое тело (для варианта Б). Можно показать, что указанные силы реакций и моменты сил реакций линейно зависят от сигналов датчиков сил, являющихся первичной информацией для БИНС. Перечислим параметры ИД и его установки на объекте, от которых зависят коэффициенты уравнений (1): углы ориентации СК, связанной с ИД (далее называемой датчиковой СК) относительно объектной СК; проекции радиусов-векторов начальных положений подвижных элементов вибраторов в датчиковой СК и их углов ориентаций в этой СК (для варианта А); массы подвижных элементов вибраторов (для варианта А); амплитуды, частоты и фазы гармонических колебаний вибраторов (для варианта А); закон изменения во времени момента, обе-

спечивающего вращение твёрдого тела (для варианта Б); МГХ твёрдого тела: масса, компоненты тензора инерции и координаты центра масс в датчиковой СК (для вариантов А и Б).

Согласно второму из принятых положений рассматриваемого подхода построения БИНС, МГХ твёрдого тела и остальные параметры ИД должны быть настолько точно идентифицированы или заданы, насколько этого требует точность переменных навигационной информации, точность которых зависит от точности переменных инерциальной информации, точность которых, в свою очередь, зависит от точности датчиковой информации: реакций опор твёрдого тела, точность определения которых зависит от точности первичной информации: сигналов датчиков сил. Другими словами, все указанные выше «точности» должны быть согласованными между собой для достижения конечной точности определения функции управления движением объекта.

Согласно четвёртому из принятых положений рассматриваемого подхода построения БИНС, в состав БИИ входят несколько ИД, математическое описание каждого из которых представлено шестью уравнениями (1), в каждое из которых в общем случае при произвольных величинах параметров ИД входит по тридцать переменных инерциальной информации вида [4]:

$$\Omega_i = x_p, \varepsilon_i = x_{3+i}, W_i = x_{6+i}, V_i = x_{9+i}, i = 1, 2, 3;$$

$$\Omega_i \Omega_j = x_{12+3(i-1)+j}, \Omega_i V_j = x_{21+3(i-1)+j}, i, j = 1, 2, 3. \quad (2)$$

Заметим, что переменные $\Omega_i, W_i, i = 1, 2, 3$ инерциальной информации из перечисленных в (2) являются основными, а остальные – избыточными, которые следует использовать для проверки правиль-

ности вычислений основных, например, путём проверки выполнения тождеств:

$$x_{12+3(i-1)+j} = x_i x_j, x_{21+3(i-1)+j} = x_i x_{9+j}, i, j = 1, 2, 3, (3)$$

то есть повышения надёжности определения указанных переменных, а значит, и повышения надёжности определения переменных навигационной информации и функции управления движением объекта. Следует отметить, что в общем случае ИД, входящие в состав БИИ, должны иметь неодинаковые параметры, перечисленные выше, для того, чтобы решения системы линейных алгебраических уравнений относительно переменных инерциальной информации:

$$\sum_{j=1}^{30} a_{ij} x_j = B_i, i=1, \dots, 30 \quad (4)$$

существовали и были единственными, где a_{ij} – коэффициенты, зависящие от времени в силу наличия заданных законов движения во времени подвижных элементов вибраторов (для варианта А) и от конструктивных параметров всех ИД, входящих в состав БИИ, B_i – правые части, зависящие от величин ре-

акций, определённых на основе измеряемых сигналов датчиков сил всех ИД. Решая систему линейных алгебраических уравнений (4) в бортовом компьютере, получаем величины переменных инерциальной информации (2), из которых переменные $\Omega_i, W_i, i = 1, 2, 3$ являются основными и необходимыми для реализации алгоритма функционирования БИНС, а остальные переменные инерциальной информации из перечня (2) являются избыточными и должны быть использованы для проверки правильности определения основных переменных инерциальной информации, то есть должны быть использованы для повышения надёжности получаемой инерциальной информации, а следовательно, и повышения надёжности определения переменных навигационной информации и функции управления движением объекта.

В бортовом компьютере БИНС должен быть реализован алгоритм её функционирования на основе вычисленных переменных инерциальной информации $\Omega_i, W_i, i = 1, 2, 3$, математическое описание для которого представляет собой систему пятнадцати обыкновенных дифференциальных уравнений [4–6]:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{ij}}{dt} &= \sum_{n,m=1}^3 [S_{nim} U_n C_{jm} + S_{nmj} \Omega_n C_{im}], C_{ij}(t_0) = C_{ij}^0, i, j = 1, 2, 3; \\ \frac{dV_i}{dt} &= g_i + \sum_{j=1}^3 C_{ij} W_j - \sum_{n,m=1}^3 [2S_{nmi} U_n V_m + U_n (D_{im} V_n - D_{in} U_m)(L_n + R_n)], V_i(t_0) = V_i^0; \\ \frac{dR_i}{dt} &= V_i - \sum_{n,m=1}^3 S_{nim} U_n R_m, R_i(t_0) = R_i^0, i = 1, 2, 3 \end{aligned} \quad (5)$$

и систему шести алгебраических уравнений, выражающих условия ортогональности и масштаба для направляющих косинусов от земной географической СК к объектной СК:

$$\sum_{k=1}^3 C_{ik} C_{jk} = D_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \quad (6)$$

где введены обозначения: S_{ijk} – символ Леви-Чивита, D_{ij} – символ Кронеккера, U_i, g_i – проекции соответственно векторов угловой скорости Земли и гравитационного ускорения полюса объекта в земной географической СК; Ω_i, W_i – проекции соответственно векторов абсолютной угловой скорости объекта и кажущегося ускорения полюса объекта в объектной СК, являющиеся основными переменными инерциальной информации; C_{ij} – направляющие косинусы от земной географической СК к объектной СК; V_i, R_i – проекции соответственно векторов скорости полюса объекта и радиуса-вектора полюса объекта (то есть координат объекта) в земной географической СК; C_{ij}^0, V_i^0, R_i^0 – значения соответственно переменных C_{ij}, V_i, R_i в начальный момент времени навигации объекта, то есть начальные условия движения объекта. Функция управления движением объекта может быть представлена в виде [7, 8]:

$$F = \sum_{i=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 (\gamma_{ij}^c |C_{ij} - C_{ij}^*|) + \gamma_i^V |V_i - V_i^*| + \gamma_i^R |R_i - R_i^*| \right], \quad (7)$$

где C_{ij}^*, V_i^*, R_i^* – программные функции времени переменных навигационной информации, соответствующие переменным C_{ij}, V_i, R_i , вычисленным в бортовом компьютере БИНС; $\gamma_{ij}^c, \gamma_i^V, \gamma_i^R$ – размерные весовые коэффициенты, определяемые зависимостями

$$\gamma_{ij}^C = \frac{\gamma_{ij}^{C0}}{C_{ij}^B}, \gamma_i^V = \frac{\gamma_i^{V0}}{V_i^B}, \gamma_i^R = \frac{\gamma_i^{R0}}{R_i^B}, i, j=1, 2, 3, \quad (8)$$

где C_{ij}^B, V_i^B, R_i^B – наибольшие значения переменных C_{ij}, V_i, R_i на интервале времени $[t_0; T]$ навигации объекта; $\gamma_{ij}^{C0}, \gamma_i^{V0}, \gamma_i^{R0}$ – безразмерные весовые коэффициенты, которыми выделяется значимость того или иного слагаемого в формуле (7), удовлетворяющие условию

$$\sum_{i=1}^3 \left[\sum_{j=1}^3 \gamma_{ij}^{C0} + \gamma_i^{V0} + \gamma_i^{R0} \right] = 1. \quad (9)$$

Заметим, что функция (7) с учётом введенных весовых коэффициентов (8) представляет собой относительную величину рассогласования между заданными программными переменными навигационной информации и определяемыми БИНС переменными навигационной информации в каждый текущий момент времени из интервала $[t_0; T]$. Далее, аналогично тому, как были введены единые обозначения для тридцати переменных инерциальной информации зависимостями (2), целесообразно ввести единые обозначения для пятнадцати переменных навигационной информации:

$$Y_{3(i-1)+j} = C_{ij} y_{9+i} = V_i y_{12+i} = R_i, i, j = 1, 2, 3, \quad (10)$$

тогда систему уравнений (5) можно записать в виде

$$\frac{dy_{3(i-1)+j}}{dt} = \sum_{n,m=1}^3 [S_{nim} U_n y_{3(j-1)+m} + S_{nmj} \Omega_n y_{3(i-1)+m}], y_{3(i-1)+j}(t_0) = C_{ij}^0, i, j=1, 2, 3;$$

$$\frac{dy_{9+i}}{dt} = g_i + \sum_{j=1}^3 y_{3(i-1)+j} W_j - \sum_{n,m=1}^3 [2S_{nmi} U_n y_{9+m} + U_n (D_{im} V_n - D_{in} U_m) (L_n + y_{12+n})],$$

$$y_{9+i}(t_0) = V_i^0, i=1, 2, 3;$$

$$\frac{dy_{12+i}}{dt} = y_{9+i} - \sum_{n,m=1}^3 S_{nim} U_n y_{12+m}, y_{12+i}(t_0) = R_i^0, i=1, 2, 3, \quad (11)$$

а уравнения (6) можно записать в виде

$$\sum_{k=1}^3 y_{3(i-1)+k} y_{3(j-1)+k} = D_{ij}, i, j=1, 2, 3, \quad (12)$$

и функцию управления (9) можно записать в виде

$$F = \sum_{k=1}^{15} \gamma_k |y_k - y_k^*|, \quad (13)$$

где введены обозначения для размерных весовых коэффициентов:

$$\gamma_k = \frac{\gamma_k^0}{y_k^B}, k=1, \dots, 15, \quad (14)$$

а также введены обозначения: y_k^* – программные функции времени переменных навигационной информации, соответствующие переменным y_k ; y_k^B – наибольшие значения переменных y_k на интервале времени $[t_0; T]$ навигации объекта, γ_k^0 – безразмерные весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию (11), которое в новых обозначениях переменных навигационной информации принимает вид

$$\sum_{k=1}^{15} \gamma_k^0 = 1. \quad (15)$$

Об алгоритме функционирования БИНС

Основу алгоритма функционирования БИНС представляет последовательность действий:

0) Задать в бортовом компьютере априорную информацию о параметрах всех ИД, входящих в состав БИИ, об угловой скорости Земли, её радиусе, её гравитационном поле, широте начала СК, связанной с Землёй, о начальных условиях движения объекта, о программных законах движения объекта, интервал времени, шаг решения по времени;

1) присвоить начальное значение времени;

2) измерить сигналы датчиков сил [9], то есть компоненты первичной информации;

3) вычислить коэффициенты уравнений

(1) для всех ИД, входящих в БИИ;

4) вычислить реакции опор всех ИД (компоненты датчиковой информации);

5) вычислить коэффициенты левых и правых частей системы (4) для всех ИД, входящих в БИИ;

6) решить систему линейных алгебраических уравнений (4), то есть определить переменные инерциальной информации;

7) проверить выполнение тождеств (3) и если они не выполняются, то перейти к пункту 12, а если выполняются, то:

8) решить систему дифференциальных уравнений (11) относительно переменных навигационной информации на шаге по времени;

9) проверить выполнение условий (12) и если они не выполняются, то перейти к пункту 13, а если выполняются, то:

10) вычислить величину функции управления движением объекта (13) на шаге решения по времени;

11) замкнуть цикл по времени, увеличив текущий момент времени на шаг и проверив полученное значение времени с его конечным значением из заданного интервала с возвратом на пункт 2 или на пункт 14;

12) если тождества (3) не выполняются, то вывести сообщение об ошибке, обусловленной невыполнением тождеств (3) и перейти к пункту 14;

13) если условия (12) не выполняются, то вывести сообщение об ошибке, обусловленной невыполнением условий (12) и перейти к пункту 14;

14) закончить.

Об имитационной модели алгоритма функционирования БИНС

Правильность алгоритма функционирования БИНС зависит от достоверности информации сигналов датчиков сил и, соответственно, от правильного вычисления реакций опорных узлов ИД, входящих в со-

став блока БИИ. Проверка указанных достоверности и правильности должна быть реализована экспериментально после изготовления конструкций опорных узлов ИД. После проведения этих процедур и получения требуемых результатов остаётся вопрос о проверке достоверности алгоритма вычисления тридцати переменных x_i , $i = 1, \dots, 30$ инерциальной информации и пятнадцати переменных y_k , $k = 1, \dots, 15$ навигационной информации. Этот вопрос может быть решён теоретически на основе построенной имитационной модели функционирования БИНС, о которой далее идёт речь. Для построения указанной имитационной модели необходимо задать информацию о кинематических характеристиках объекта, для навигации которого предполагается использовать БИНС. Эти кинематические характеристики следует задать функциями времени: для поступательного движения объекта – проекциями радиуса-вектора полюса объекта в земной географической СК, их первых и вторых производных по времени; и для углового движения объекта – углами поворотов объекта относительно земной географической СК, их первых и вторых производных по времени на интервале $[t_0; T]$. На основе этой информации путём математических преобразований методами кинематики произвольно движущегося в пространстве объекта, определяются переменные, являющиеся имитациями соответствующих переменных x_i инерциальной информации, и далее определяются переменные, являющиеся имитациями соответствующих переменных y_k навигационной информации. Далее, используя полученные функции времени – имитации для переменных инерциальной и уравнения (1), определяем имитации реакций опор ИД, после чего определяем имитации правых частей системы (4) и далее вместо системы (4) получаем соответствующую имитационную систему, решая которую получаем имитационные переменные инерциальной информации, которые сравниваем с найденными ранее соответствующими переменными из преобразований кинематических характеристик объекта. И наконец, используя имитации переменных инерциальной информации, путём решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений (11) относительно переменных навигационной информации и сравнения полученных решений с соответствующими переменными, полученными из преобразований кинематических характеристик объекта, делаем вывод о правильности или неправильности алгоритма вычисления переменных навигационной информации. В случае правиль-

ности алгоритма на его основе следует разработать программу и установить эту программу в бортовой компьютер. В противном случае следует осуществить поиск и исправление ошибок.

Особенности и частные случаи

Уравнения (1) для ИД получены при произвольных величинах его параметров и при произвольной его установке на произвольно движущийся в пространстве объект. Если принять величины параметров инерциального датчика не произвольными, а удовлетворяющими некоторым ограничениям, достигаемым специальными конструктивными разработками, а также установить его не произвольным, а частным образом на объект, который совершает не произвольное, а некоторое частное движение, то из уравнений (1) можно «удалить» некоторые слагаемые и иметь не тридцать переменных инерциальной информации, как это имеет место в общем случае, а меньше. В этих частных случаях и построение блока инерциальной информации возможно на меньшем количестве инерциальных датчиков. Другими словами, можно специальными конструктивными разработками, реализованными в соответствии с критериями параметрического синтеза, обнулить коэффициенты при некоторых слагаемых в уравнениях (1) и превратить ИД общего вида в ИД специального вида, например, в датчик угловой скорости, датчик углового ускорения, датчик кажущегося ускорения. Но следует иметь в виду, что указанные конструктивные разработки необходимо реализовывать с точностью, согласованной с требуемой точностью определения функции управления движением объекта. Поэтому возникает альтернатива: точно идентифицировать реальные параметры ИД и пользоваться общими уравнениями (1) для получения в конечном итоге переменных навигационной информации или превратить ИД общего вида в ИД специального вида путём целенаправленных конструктивных разработок с использованием технологии реализации этих разработок необходимой точности. Построение инерциального навигационного комплекса описано в работе [10], а в работах [11, 12] приведены примеры построения конкретных БИНС для этого инерциального навигационного комплекса с использованием рассматриваемого подхода.

Выводы

1. Сформулирован подход построения БИНС, основанный на указанных во введении положениях.
2. Показаны принципиальные возможности выполнения математического описа-

ния для составления алгоритма функционирования БИНС и его имитационной модели.

3. Обозначены особенности в построении математических моделей БИНС в соответствии с рассматриваемым подходом и частные случаи.

Заключение

Построенные на основе рассматриваемого подхода БИНС имеют такие основные потенциальные преимущества перед традиционными БИНС, как однотипность инерциальных датчиков, изготавливаемых по единой технологии, наличие у этих датчиков избыточной инерциальной информации, позволяющей повышать надёжность и точность БИНС. Однако необходимо дальнейшее исследование, заключающееся в обоснованном предъявлении требований к точностным характеристикам инерциальных датчиков на основе заданной точности функции управления движением объекта. При получении положительных результатов в решении указанных задач БИНС, построенные на основе рассматриваемого подхода, могут быть применены для автономной навигации высокоскоростных маневренных объектов.

Список литературы

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961. 824 с.
2. Ткачёв Л.И. Системы инерциальной ориентировки: учеб. пособие. М.: МЭИ, 1973. 215 с.
3. Брозгуль Л.И., Смирнов Е.Л. Вибрационные гироскопы. М.: Машиностроение, 1970. 214 с.
4. Щипицын А.Г. Обработка информации в инерциальных навигационных системах. Челябинск: ЧГТУ, 1995. 339 с.
5. Лукьянов Д.П., Распопов В.Я., Филатов Ю.В. Прикладная теория гироскопов. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2015. 316 с.
6. Соколов С.В., Погорелов В.А. Основы синтеза многоструктурных бесплатформенных навигационных систем. М.: Физматлит, 2009. 184 с.
7. Емельянец Г.И., Степанов А.П. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации / Под общей ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2016. 394 с.
8. Матвеев В.А., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», 2009. 279 с.
9. Гроховский С.С., Лушиков Р.И., Прохоров Н.И. Интеллектуальный датчик силы // Патент РФ 2165601 от 20.04.2001 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fReepatent.Ru/patents/2165601> (дата обращения: 24.12.2018).
10. Хмелевский А.С., Щипицын А.Г., Лысов А.Н., Коваленко В.В. Инерциальный навигационный комплекс для высокоскоростного маневренного объекта // Патент на изобретение № 2657293 от 13.06.2018 по заявке № 2016119832/28(031267) от 26.05.2016 – МПК 8 G01C 23/00.
11. Хмелевский А.С., Щипицын А.Г. Бесплатформенная инерциальная навигационная система высокоскоростного маневренного объекта // Патент на изобретение № 2674522 от 11.12.2018 по заявке № 2017133683/28(059435) от 27.09.2017 – МПК 8 G01C 23/00.
12. Хмелевский А.С., Щипицын А.Г. Бесплатформенная инерциальная навигационная система подвижного объекта // Решение о выдаче от 12.12.2018 патента на изобретение по заявке № 2017144953/28 от 20.12.2017 – МПК 8 G01C 23/00 (2006.01).