

Подписной индекс: 91824 в каталоге «Пресса России»

Группы научных специальностей, по которым ведется прием статей в научный журнал «Электротехнические и информационные комплексы и системы»:

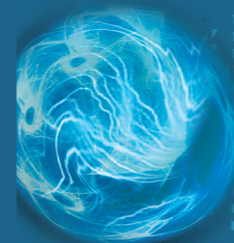
05.09.00 Электротехника

05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

05.12.00 Радиотехника и связь

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.27.00 Электроника



# Электротехнические и информационные комплексы и системы

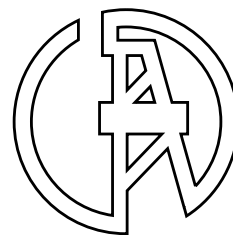
№ 4, т. 14, 2018

## Electrical and data processing facilities and systems

№ 4, т. 14, 2018



# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УГНТУ

№ 4, т. 14, 2018

Журнал основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год.

## Учредитель

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Международный стандартный серийный номер ISSN 1999-5458.

## Редакционная коллегия:

### Главный редактор:

С.В. Шапиро — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)

### Зам. главного редактора:

Ш.З. Валиев — канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)

### Члены редакционной коллегии:

В.М. Артюшенко — д-р техн. наук, проф. ГБОУ ВО МО «Технологический университет» (г. Москва, Российская Федерация)



П.С. Серенков — д-р техн. наук, проф. Белорусского национального технического университета (г. Минск, Белоруссия)



Б.М. Горшков — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса» (г. Тольятти, Российская Федерация)



М.А. Ураксеев — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



М.Ю. Доломатов — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



Н.А. Феоктистов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет дизайна и технологии» (г. Москва, Российская Федерация)



В.Г. Крымский — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



Ф.Ф. Хизбуллин — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



В.Г. Кушнир — д-р техн. наук, проф. Костанайского государственного университета им. Ахмета Байтурсынова (г. Костанай, Казахстан)



В.А. Шабанов — канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



С.В. Павлов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



Р.Б. Яруллин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



Р.Р. Сафин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



И. Зицмане — д-р техн. наук, профессор Рижского технического университета, эксперт научного совета Латвийской академии наук (г. Рига, Латвия)



Б. Брудник — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Тель-Авивского университета (г. Тель-Авив, Израиль)



Г.Д. Георгиев — д-р техн. наук, преподаватель Технического университета (г. Варна, Болгария)



А.Ф. Романченко — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)



И.В. Пентегов — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина)



**Ответственный секретарь:** А. А. Мухамадиев

**Технический редактор:** С.В. Халитова

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ и подписка на электронную версию журнала — на сайте [www.ugnet.ru](http://www.ugnet.ru)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-67387 от 05.10.2016 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

© Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018.

Адрес редакции и издательства: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Тел.: (347) 243-16-19, [ies.rusoil.net](mailto:ies.rusoil.net)

Цена свободная. 12+

Подписано в печать 27.06.2018 г. Формат 60×84/8. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14.3.

Тираж 1 000 экз. Заказ № 230.

Адрес типографии: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Электротехнические и информационные комплексы и системы», допускается только с письменного разрешения редакции.

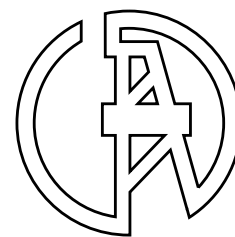
Материалы приводятся в авторской редакции.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Отпечатано в типографии издательства УГНТУ с готовых электронных файлов.

# ELECTRICAL AND DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY



USPTU

№ 4, v. 14, 2018

The journal was founded in 2005. Issued 4 times a year.

## Founder

Federal State-Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» (USPTU)

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications, which should be published basic scientific results of theses on competition of a scientific degree of candidate of Sciences, on competition of a scientific degree of the doctor of Sciences».

International standard serial number ISSN 1999-5458.

## Editorial board:

### Editor-in-chief:

S.V. Shapiro — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)

### Deputy editor-in-chief:

Sh.Z. Valiev — Cand. Sci.Tech., Dr. Sci. Econ., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)

### Members of an editorial board:

V.M. Artyushenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of SBEI HE MR «University of Technology»  
(Moscow, Russian Federation)



B.M. Gorshkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Volga Region State University of Service»  
(Tolyatti, Russian Federation)



M.Yu. Dolomatov — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



V.G. Krymsky — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



V.G. Kushnir — Dr. Sci.Tech., Prof. of Kostanaysky State University of Ahmet Baytursynov  
(Kostanay, Kazakhstan)



S.V. Pavlov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University»  
(Ufa, Russian Federation)



R.R. Safin — D. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



B. Brudnik — Dr. Sci.Tech., Leading Researcher of Tel Aviv University (Tel Aviv, Israel)



A.F. Romanchenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



P.S. Serenkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of Byelorussian National Technical University»  
(Minsk, Byelorussia)



M.A. Urakseev — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University»  
(Ufa, Russian Federation)



N.A. Feoktistov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Moscow State University of Design and Technology»  
(Moscow, Russian Federation)



F.F. Hizbullin — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



V.A. Shabanov — Cand. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University»  
(Ufa, Russian Federation)



R.B. Yarullin — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Bashkir State Agrarian University»  
(Ufa, Russian Federation)



I. Zicmane — Dr. Sci.Tech., Prof. of Riga Technical University, Expert the Latvian Council of Science  
(Riga, Latvia)



G.D. Georgiev — Dr. Sci.Tech., Lecturer Technical University (Varna, Bulgaria)



I.V. Pentegov — Dr. Sci.Tech., Prof., Leading Researcher the E.O.Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)



**Assistant editor:** A. A. Mukhamadiev

**Technical editor:** S. V. Khalitova

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (RISC).

Access and subscription to the electronic version of the journal is available on the website [www.ugues.ru](http://www.ugues.ru).

Mass media registration certificate ПИ № ФС 77-67387 dd. 05.10.2016 given by Federal service of supervision in the scope of communication, information technologies and mass media.

© Ufa State Petroleum Technological University, 2018.

Address of Editors office and Founder: 450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1.

Tel. (347) 243-16-19, [ies.rusoil.net](mailto:ies.rusoil.net)

Price is free. **12+**

Publishing authorized on 27.06.2018. Paper format 60×84/8. Offset printing. 14.3 publication base sheets.

Volume 1 000 copies. Order № 230.

Address of Publishing Office: 450062, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced without prior written consent of the Editors office of the «Electrical and data processing facilities and systems».

The items of this publication preserve original edition by their authors.

The Editors office do not always share an opinion of authors of the articles published.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<i>Кулиев Р.И., Шептунов С.А., Шевхужев А.О.</i> Программное обеспечение для автоматизации измерений на лабораторном стенде	5
<i>Закиров Р.И., Алиев М.И., Морозов А.И.</i> Определение кинематических характеристик дельта-робота по заданным параметрам рабочей области	11
<i>Константян В.Н., Нахушев Р.С., Шаваев А.А.</i> Взаимодействие шлема виртуальной реальности и комплекса симуляции полета	17
<i>Санников А.С., Шевхужев А.О.</i> Система имитации перегрузок при управлении мультикоптером	24
<i>Кулиев Т.И., Кулиев Р.И., Сабанчиев А.М.</i> Отслеживание динамически изменяющихся объектов робототехнических систем с помощью видеокамеры	31
<i>Закиров Р.И., Шептунов С.А., Шевхужев А.О.</i> Обзор существующих роботизированных реабилитационных комплексов	37
<i>Четвертаков А.А., Шаваев А.А., Кулиев Р.И.</i> Система управления комплексом для лечения аэрофобии	43
<i>Санников А.С., Нахушев Р.С., Глашев Р.М.</i> Программное обеспечение для автоматизации и распределения задачи формирования обучающей выборки для нейросети из видеозаписей	48
<i>Константян В.Н., Шептунов С.А., Яхутлов У.М.</i> Устройство дистанционного управления комплексом симуляции полета	54
<i>Четвертаков А.А., Санников А.С., Глашев Р.М.</i> Система ЧПУ для комплекса моделирования полета в кабине пассажирского самолета	60
<i>Кулиев Т.И., Глашев Р.М., Яхутлов У.М.</i> Автоматизация процесса измерения усилия разрушения шва для исследования характеристик различных комбинаций материалов и клеевых составов	66
<i>Глашев Р.М., Шептунов С.А., Глашев Т.Ж.</i> Использование сверточной нейронной сети для поддержки принятия решения в робот-ассистированной хирургии	73
<i>Сабанчиев А.М., Кулиев Т.И.</i> Система визуализации с использованием виртуальной реальности в комплексе симуляции полета	80
<i>Санников А.С., Шептунов С.А., Нахушев Р.С.</i> Система навигации в теле пациента для робот-ассистированного хирургического комплекса	87
<i>Шаваев А.А., Гирс Р.А., Цыганкова О.А.</i> Разработка конструкции комплекса моделирования полета	92
<i>Константян В.Н., Нахушев Р.С., Яхутлов У.М.</i> Система инерциальной навигации комплекса симуляции полета	97
<i>Куликов Г.Г., Антонов В.В., Фахруллина А.Р., Родионова Л.Е.</i> Формальная модель процессов взаимодействия компонентов программной системы на основе фрактального подхода	104
<b>Об авторах</b>	112
<b>Список статей, изданных в 2018 г.</b>	116

# CONTENT

## DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

<i>Kuliev R.I., Sheptunov S. A., Shevhuzhev A.O.</i> Software for automation of measurements on a laboratory bench	5
<i>Zakirov R.I., Aliev M.I., Morozov A.I.</i> Determination of the kinematic characteristics of a delta robot by the specified parameters of the work area	11
<i>Konstantyan V.N., Nakhushev R.C., Shavaev A.A.</i> Virtual reality googles interaction with the flight simulator complex	17
<i>Sannikov A.S., Shevhuzhev A.O.</i> Overloads imitation system at control of multicopter	24
<i>Kuliev T.I., Kuliev R.I., Sabanchiev A.M.</i> Tracking dynamically changing objects of robotic systems with a video camera	31
<i>Zakirov R.I., Sheptunov S.A., Shevhuzhev A.O.</i> Review of existing robotic rehabilitation systems	37
<i>Chetvertakov A.A., Shavaev A.A., Kuliev R.I.</i> Control system of the complex for the aerophobia therapy	43
<i>Sannikov A.S., Nakhushev R.C., Glashev R.M.</i> Training sample from video records formation for neural network automation and distribution software	48
<i>Konstantyan V.N., Sheptunov S.A., Yakhutlov U.M.</i> Flight simulator wireless handheld position controller	54
<i>Chetvertakov A.A., Sannikov A.S., Glashev R.M.</i> The CNC system for the flight modelling complex in the cabin of the passenger plane	60
<i>Kuliev T.I., Glashev R.M., Yakhutlov U.M.</i> Automation of the process of measuring the failure force of a seam to study the characteristics of various combinations of materials	66
<i>Glashev R.M., Sheptunov S.A., Glashev T.Zh.</i> Using convolutional neural networks to machine learning in robotic surgery	73
<i>Sabanchiev A.M., Kuliev T.I.</i> Visualization system with the use of virtual reality in the complex of flight simulation	80
<i>Sannikov A.S., Sheptunov S.A., Nakhushev R.C.</i> Navigation system in the patient soma for robot-assistant surgical complex	87
<i>Shavaev A.A., Girs R.A., Tsygankova O.A.</i> Development of the design of a complex of modeling of a flight	92
<i>Konstantyan V.N., Nakhushev R.C., Yakhutlov U.M.</i> Flight simulator inertial navigation system	97
<i>Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E.</i> A formal model of processes of interaction of components of a software system based on a fractal approach	104
<b>About the authors</b>	112
<b>List of articles published in 2018</b>	116



**Кулиев Р. И.**  
**Kuliev R.I.**

*младший научный  
сотрудник Института  
конструкторско-  
технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Шептунов С. А.**  
**Sheptunov S. A.**

*доктор технических  
наук, профессор,  
директор Института  
конструкторско-  
технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Шевхужев А. О.**  
**Shevkhuzhev A.O.**

*аспирант,  
младший научный сотруд-  
ник Института конструкторско-  
технологической  
информатики Российской  
академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 004.056

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-5-10

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Адгезиометр представляет собой устройство, состоящее из тяжелого основания, на котором крепится электродвигатель РД-09А, соединенный через муфту с редуктором, подвижная платформа и стойка с датчиком. Подвижная платформа через передачу типа «винт-гайка» соединена с электродвигателем. Диапазон передвижения платформы ограничен концевыми выключателями с двух сторон. На платформе закреплены нагреватели для возможности испытания образцов при повышенных температурах. На стойке закреплен тензометрический датчик, который регистрирует усилие на образцах при их растяжении подвижной платформой.

В данной статье рассматривается программное обеспечение для автоматизированного проведения серий измерений на примере лабораторного стенда измерения адгезии, описываются процессы проведения серии измерений без участия оператора. Разработано программное обеспечение для ПК, осуществляющее сбор данных и визуализирующее процесс.

Датчик представляет собой полный мост Уитстона, что, в свою очередь, является классическим решением в тензометрии. Его выходной сигнал представляет собой два уровня напряжения, отклоняющихся от уровня  $U_{пит}/2$  в противофазе при подаче усилия на измерительный фланец датчика. Для усиления и регистрации таких сигналов используются инструментальные усилители, которые работают в дифференциальном режиме. Амплитуда отклонения напряжения составляет порядка нескольких милливольт.

Взаимодействие микроконтроллера и персонального компьютера осуществляется через последовательный порт. Был разработан протокол обмена данными. Для упрощения процесса приема данных был применен протокол с фиксированной длиной пакета. Первые два байта каждого пакета всегда одинаковые, используются в качестве признака начала. Третий и четвертый байт – знаковое 16-битное число, сигнал с аналого-цифрового преобразователя. Пятый байт – сигналы о состоянии системы. Шестой и седьмой – контрольная сумма. Использование контрольной суммы в протоколе позволяет повысить помехозащищенность линии связи, исключив прием поврежденных данных.

Разработанное программное обеспечение для персонального компьютера при запуске выполняет поиск лабораторной установки и подключение к ней.

**Ключевые слова:** Микроконтроллер, сигма-дельта АЦП, тензометрия, измерения, лабораторный стенд, программное обеспечение, микропрограмма.

## SOFTWARE FOR AUTOMATION OF MEASUREMENTS ON A LABORATORY BENCH

The adhesion meter is a device consisting of a heavy base on which the RD-09A electric motor is attached, connected through a coupling with a gearbox, a movable platform and a stand with a sensor. The movable platform through the transmission of the type "screw-nut" is connected to the electric motor. The range of movement of the platform is limited by limit switches on both sides. Heaters are attached to the platform to allow samples to be tested at elevated temperatures. A strain gauge is mounted on the rack and registers the force on the specimens as they are stretched by a moving platform.

This article discusses software for automated measurement series on the example of a laboratory stand for measuring adhesion, describes the processes for conducting a series of measurements without the participation of the operator. A PC software has been developed that collects data and visualizes the process.

The sensor is a complete Wheatstone bridge, which, in turn, is the classic solution in strain gauging. Its output signal consists of two voltage levels deviating from the  $U_{пит}/2$  level in antiphase when force is applied to the measuring flange of the sensor. To amplify and record such signals, instrumental amplifiers are used that operate in the differential mode. The amplitude of the voltage deviation is of the order of several millivolts.

The interaction of the microcontroller and the personal computer is carried out through the serial port. A communication protocol was developed. To simplify the process of receiving data, a protocol with a fixed packet length was applied. The first two bytes of each packet are always the same, used as a sign of the beginning. The third and fourth byte is a signed 16-bit number, a signal from an analog-to-digital converter. The fifth byte is a signal about the state of the system. The sixth and seventh are checksums. The use of checksum in the protocol allows to increase the noise immunity of the communication line, excluding the reception of damaged data.

Developed software for a personal computer at startup performs a search for a laboratory setup and a connection to it.

**Key words:** microcontroller,  $\Sigma\Delta$  ADC, tensometric, measuring, laboratory equipment, firmware, software.

### Обзор модернизируемого лабораторного стенда

Адгезиометр представляет собой устройство, состоящее из тяжелого основания, на котором крепится электродвигатель РД-09А, соединенный через муфту с редуктором, подвижная платформа и стойка с датчиком. Подвижная платформа через передачу типа «винт-гайка» соединена с электродвигателем. Диапазон передвижения платформы ограничен концевыми выключателями с двух сторон. На платформе закреплены нагреватели для возможности испытания образцов при повышенных температурах. На стойке закреплен тензометрический датчик, который регистрирует усилие на образцах при их растяжении подвижной платформой.

Датчик представляет собой полный мост Уитстона, что, в свою очередь, является классическим решением в тензометрии. Его выходной сигнал представляет собой два

уровня напряжения, отклоняющихся от уровня  $U_{пит}/2$  в противофазе при подаче усилия на измерительный фланец датчика. Для усиления и регистрации таких сигналов используются инструментальные усилители, которые работают в дифференциальном режиме. Амплитуда отклонения напряжения составляет порядка нескольких милливольт. Взаимная связь между компонентами системы показана на схеме 1.

Программное обеспечение должно обеспечивать следующий функционал:

1. Отображение сигнала с тензодатчика в режиме реального времени.
2. Сохранение результатов измерений.
3. Проведение измерений в автоматическом режиме.
4. Проверка работоспособности оборудования.
5. Калибровка и настройка измерительной установки.

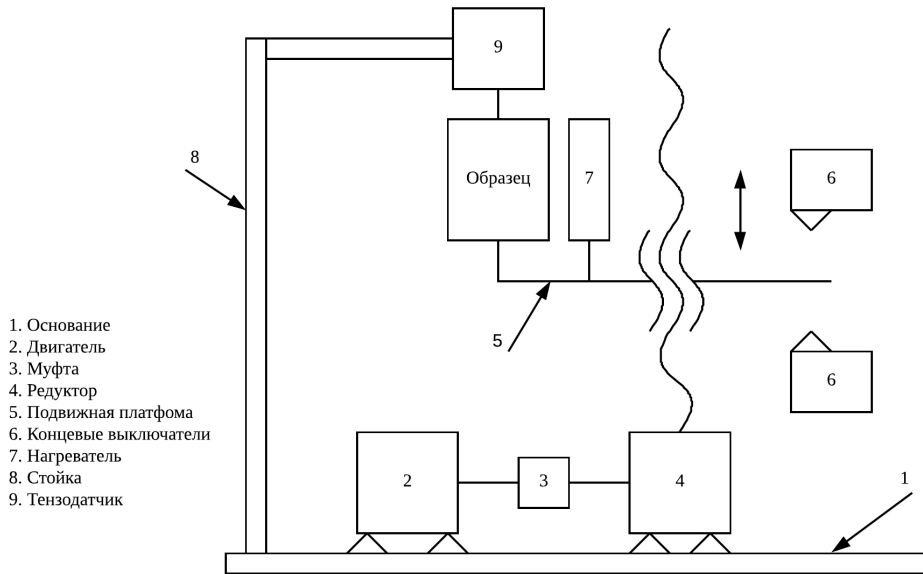


Рисунок 1. Схема установки

Структурная схема лабораторной установке представлена на рисунке 2.

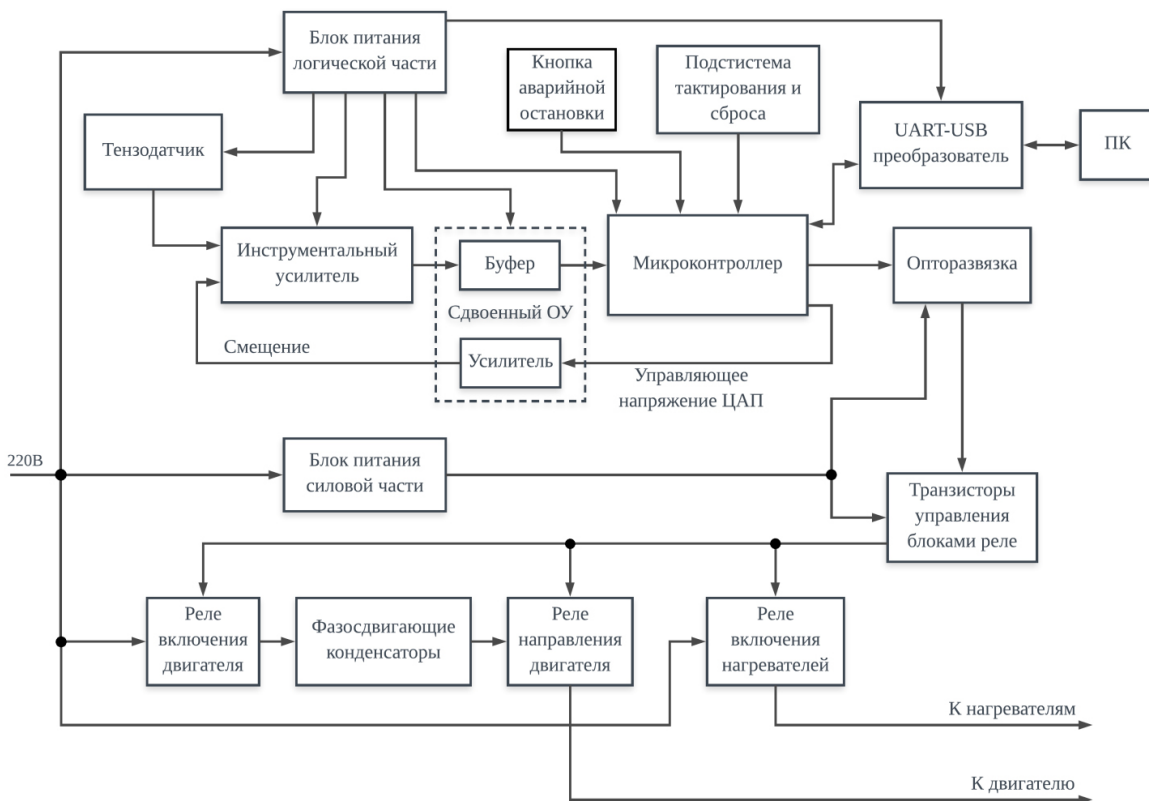


Рисунок 2. Структурная схема установки

В связи с применением микроконтроллера в составе лабораторного стенда, функции программного обеспечения можно разделить на две группы по месту реализации.

К функциям, реализованным на персональном компьютере, относятся:

1. Выбор режима измерения: ручной, однократный автоматический, циклический автоматический.



2. Сигнал о преждевременном завершении автоматических измерений.
3. Выбор параметров автоматических режимов измерений.
4. Калибровка измерительного датчика.

Функции, реализованные на микроконтроллере:

1. Управление двигателем натяжения образца.
2. Считывание показаний концевых датчиков.
3. Считывание показаний аналого-цифрового преобразователя.

4. Передача данных об измерении и состоянии системы на персональный компьютер.
5. Считывание состояния кнопки аварийного завершения работы.

### Протокол взаимодействия персонального компьютера и микроконтроллера

Взаимодействие микроконтроллера и персонального компьютера осуществляется через последовательный порт. Был разработан протокол обмена данными, структура пакетов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Структура пакетов

Стартовая последовательность		Данные аналого-цифрового преобразования		Статус системы	Контрольная сумма	
0xAA	0xFA	0x12	0x34	0x00	0xEA	0xC4

Для упрощения процесса приема данных был применен протокол с фиксированной длиной пакета.

Недостатком такого решения является менее эффективное использование линии передачи данных.

Первые два байта каждого пакета всегда одинаковые, используются в качестве признака начала. Третий и четвертый байт – знаковое 16-битное число, сигнал с аналого-цифрового преобразователя. Пятый байт – сигналы о состоянии системы. Шестой и седьмой – контрольная сумма. Использование контрольной суммы в протоколе позволяет повысить помехозащищенность линии связи, исключив прием поврежденных данных.

### Программное обеспечение для микроконтроллера

Программное обеспечение микроконтроллера должно обеспечивать работу стенда в режиме автоматических измерений. Блок-схема однократного автоматического измерения представлена на рисунке 3.

После того, как получены команды на проведение однократного автоматического измерения, происходит установка подвижной платформы в исходное положение при помощи двигателя. Сигналом о достижении

начального положения служит срабатывание концевого выключателя. Далее, после установки оператором образца на подвижную платформу, принимается команда начала измерений и запускается двигатель подвижной платформы. Показания АЦП непрерывно отправляются на персональный компьютер. При срабатывании концевого выключателя измерение считается законченным, двигатель останавливается, на компьютер отправляется команда окончания измерений.

Циклический автоматический режим – режим, при котором двигатель меняет направление вращения при достижении граничного показания тензодатчика. Сигналом о завершении измерений служит срабатывание концевого выключателя или достижение заданного количества циклов. Количество циклов и пороги срабатывания принимаются в качестве команды о начале циклического режима измерений с персонального компьютера.

В данной лабораторной установке установлен микроконтроллер фирмы STMicroelectronics STM32F373CC. Это 32-битный микроконтроллер на основе ядра ARM Cortex-M3.

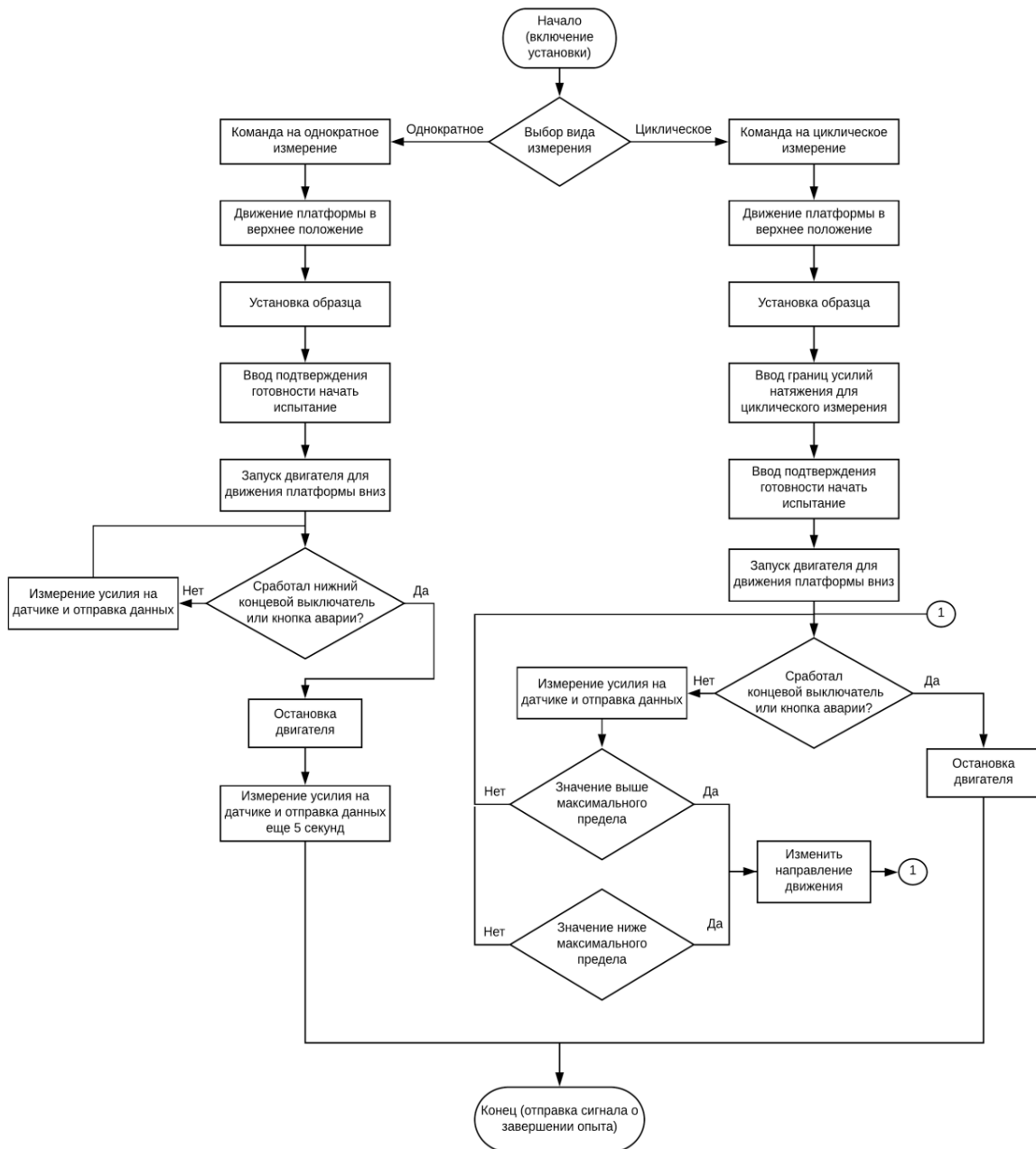


Рисунок 3. Блок-схема

Программное обеспечение написано на языке программирования C, с применением библиотек от производителя микроконтроллера HAL (Hardware Abstraction Layer). Использование данных библиотек позволяет взаимодействовать с периферией микроконтроллера при помощи вызовов высокоуровневых функций, инкапсулирующих работу с низкоуровневыми регистрами, что ускоряет и упрощает процесс разработки программного обеспечения.

### Программное обеспечение для персонального компьютера

Программное обеспечение для персонального компьютера при запуске выполняет поиск лабораторной установки и подключение к ней. Внешний вид главного окна представлен на рисунке 4.

На главном окне в любом режиме работы отображаются актуальные данные тензодатчика. Данные в фоновом режиме записываются на диск, с возможностью последующего анализа.

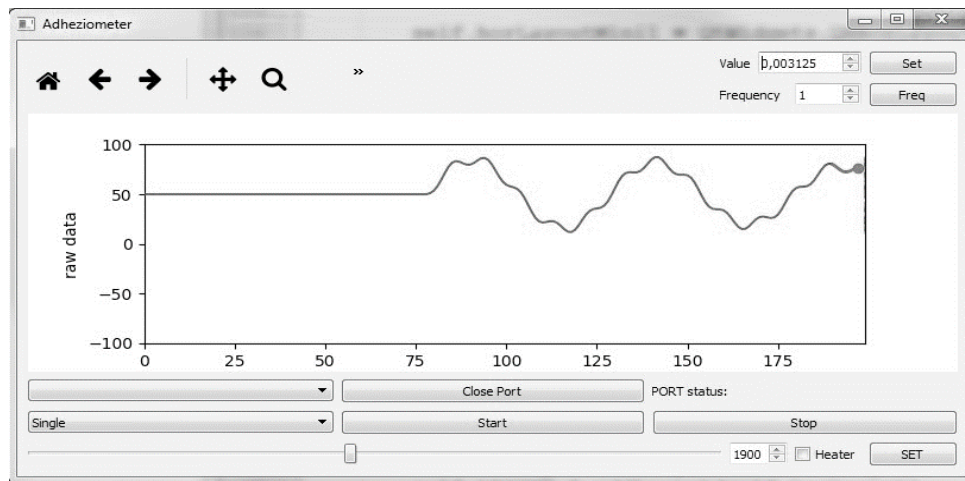


Рисунок 4. Окно программы просмотра графиков

На главном окне в любом режиме работы отображаются актуальные данные тензодатчика. Данные в фоновом режиме записываются на диск, с возможностью последующего анализа.

Поля и кнопки “Value” и “Frequency” позволяют изменить калибровочное значение датчика и частоту опроса.

Кнопки “Start”, “Stop” и поля “Cyclic”, “Single” в нижней части главного окна позволяют выбрать и запустить соответствующий режим измерения. Также там расположен селектор настройки цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) для установки нуля тензодатчика.

Программное обеспечение для персонального компьютера реализовано с помощью языка программирования высокого уровня Python и библиотеки Matplotlib.

#### Выводы

В рамках модернизации лабораторного стенда было разработано программное обеспечение для персонального компьютера и микроконтроллера, позволяющее производить измерения в нескольких режимах.

Использование персонального компьютера для управления лабораторной установкой позволяет упростить работу оператора, повысить количество измеряемых данных, а также снизить вероятность человеческой ошибки.

#### Список литературы

1. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Суханова Н.В., Кабак И.С. Автоматизация оценки надежности программного обеспечения для систем управления технологическими процессами // Вестник Брянского

государственного университета. – 2015. - № 3 (47).

2. Пилигрим М. – Dive into Python 3, Apress, 2009.

3. AN4550 Application note “Getting started with STM32F373/378CC/RC/VC SDADC” Rev, 1 July 2015.

4. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev, 5 June 2016.

5. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. - № 2. – М., 2016. – С. 84-88.

#### References

1. Solomencev Yu.M., Sheptunov S.A., Suhanova N.V., Kabak I.S. Avtomatizaciya ocenki nadezhnosti programmogo obespecheniya dlya sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. - № 3 (47).

2. Piligrim M. – Dive into Python 3, Apress, 2009.

3. AN4550 Application note “Getting started with STM32F373/378CC/RC/VC SDADC” Rev, 1 July 2015.

4. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev, 5 June 2016.

5. Glazunov V.A., Duhov A.V., Sheptunov S.A. i dr. Manipulyacionnye mekhanizmy parallel'noj struktury i nekotorye ih primeneniya v medicine – Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie. - № 2. – М., 2016. – S. 84-88.



**Закиров Р. И.**  
**Zakirov R.I.**

аспирант Института конструкторско-технологической информатики РАН, Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, г. Москва, Российская Федерация



**Алиев М. И.**  
**Aliev M.I.**

младший научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация



**Морозов А. И.**  
**Morozov A.I.**

младший научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

УДК 62-11

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-11-16

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЛЬТА-РОБОТА ПО ЗАДАНЫМ ПАРАМЕТРАМ РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ**

На сегодняшний день роботы с параллельной структурой достаточно широко применяются в промышленности. Обладающие высоким быстродействием, дельта-роботы уже зарекомендовали себя при обслуживании непрерывных технологических линий, например, при сортировке небольших изделий, переориентации изделий в потоке, сварке, размещении компонентов на печатных платах, а также в фармацевтической и пищевой промышленности. В связи с этим для параллельных роботов очень актуально расширение сфер применения, в частности, внедрение на вспомогательные операции. Главным преимуществом дельта-робота является скорость. Если типичный робот-манипулятор выполняет не только полезную нагрузку, но и перемещает двигатели, установленные в сочленениях, то движущейся частью дельта-робота является только его рама, как правило, сделанная из легких композитных материалов.

Несмотря на универсальность применения дельта-роботов, из технических соображений их проектируют под определенные задачи и функции, которые они будут выполнять. От объема и качества рабочего пространства манипулятора, жесткости его конструкции и других характеристик зависит кинематика и динамика манипулятора. Данные факторы делают актуальной целью работы – синтез параметров дельта-робота с учетом ограничений, накладываемых на рабочее пространство.

В данной статье рассматривается подход для определения кинематических характеристик дельта-робота по координатам требуемой рабочей зоны, основанный на уравнениях связи. Используются уравнения связи для трех координат выходного звена и трех углов поворота рычагов относительно неподвижного основания. Получены результаты построения рабочей области для двух конфигураций рассматриваемого робота. Решена обратная кинематическая задача с использованием численных методов и определена структура системы управления роботом, проведено моделирование рабочей области.

**Ключевые слова:** дельта-робот, параллельный робот, рабочая зона, уравнения связи, манипулятор, обратная задача кинематики.

## DETERMINATION OF THE KINEMATIC CHARACTERISTICS OF A DELTA ROBOT BY THE SPECIFIED PARAMETERS OF THE WORK AREA

Today, robots with parallel steel are widely used in industry. Delta robots with high performance have already proven themselves in the maintenance of continuous production lines, for example, when sorting small products, reorienting products in the flow, welding, placing components on printed circuit boards, as well as in the pharmaceutical and food industries. In this regard, the expansion of applications, in particular, the introduction of auxiliary operations, is very important for parallel robots. The main advantage of the delta robot is its speed. If a typical robot manipulator performs not only the payload but also moves the engines installed in the joints, then the moving part of the delta robot is only its frame, usually made of lightweight composite materials.

Despite the versatility of delta robots, for technical reasons they are designed for specific tasks and functions that they will perform. Kinematics and dynamics of the manipulator depend on the volume and quality of the working space of the manipulator, the rigidity of its design and other characteristics. These factors make the actual purpose of the work-the synthesis of the parameters of the delta robot, considering the restrictions imposed on the workspace.

This article discusses an approach for determining the kinematic characteristics of a delta robot on the coordinates of the required working area, based on the equations of communication. The coupling equations for three coordinates of the output link and three angles of rotation of the levers relative to the fixed base are used. The results of construction of the working area for two configurations of the considered robot are obtained. The inverse kinematic problem is solved using numerical methods, and the structure of the robot control system is determined, and the working area is simulated.

**Key words:** delta robot, parallel robot, work zone, communication equations, manipulator, inverse kinematic.

В настоящее время манипуляторы являются устройствами, которые используются в самых различных областях промышленности вместе с другими системами автоматизации. Проектируют манипуляторы исходя из технических соображений для функций и задач, которые они будут выполнять. С ростом квалификации роботов они стали способны выполнять задачи, невыполнимые или опасные для человека, но несмотря на это возможности манипуляторов ограничены конкретным рабочим пространством, характеристиками используемых приводов. Поэтому, чтобы управлять манипуляторами, необходимо уметь решать следующие задачи:

- решение прямой и обратной задачи кинематики;
- анализ рабочего пространства;
- планирование движений робота;
- расчет сил и моментов;
- расчет динамической точности.

Рассмотрим основные типы роботов-манипуляторов:

1) Декартовы роботы имеют три оси управления, каждая из которых взаимно пер-

пендикулярна к двум остальным. Данные роботы способны совершать только линейные перемещения, поэтому для перемещения рабочего органа манипулятора в необходимую точку пространства достаточно написать простую программу. Преимущества: простота в управлении, высокая разрешающая способность. Недостатки: большие габариты, ограниченная рабочая область;

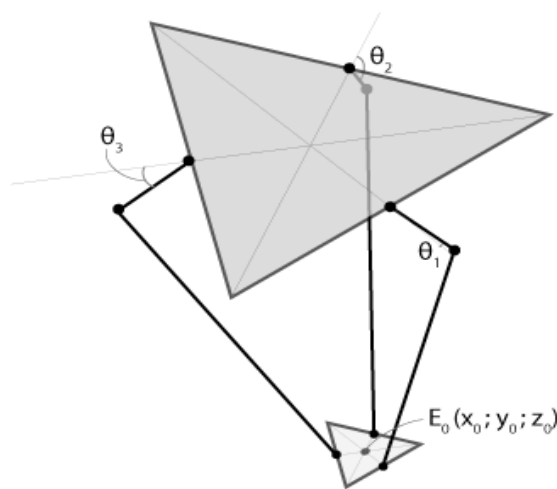
2) роботы SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm - «сборочная роботизированная рука с избирательной гибкостью») – это манипуляторы с селективной гибкостью. Данный вид роботов обладает высокой жесткостью по оси Z и гибкостью по осям X и Y. Главное преимущество данных манипуляторов в том, что «рука» может свободно двигаться в плоскости, сохраняя при этом неизменную высоту по оси Z;

3) роботы с параллельной структурой. Основой конструкции данных манипуляторов является использование параллелограммов, благодаря которым сохраняется пространственная ориентация рабочего органа. Треугольная платформа, которая формой

напоминает букву греческого алфавита дельта, перемещается в пространстве по трем осям – X, Y и Z – с помощью трех рычагов, которые закреплены на основании робота. Благодаря очень маленькой инерции такой робот способен совершать движения с огромной скоростью. Самые важные отличительные характеристики дельта-робота – это скорость, компактность и точность. Среди недостатков можно выделить использование большого количества приводов, высокая стоимость и сложность системы управления.

Одной из важных задач при проектировании робота является определение его кинематических характеристик (длин плеч, углов поворота приводов) в зависимости от требуемой рабочей области робота, поскольку на ее основе прокладываются траектории движения инструмента.

Постановка задачи. Рассмотрим устройство с параллельной кинематикой – дельта-механизм, включающий в себя треугольное-неподвижное основание и треугольную платформу, на движение которой накладывают ограничения кинематические цепи.

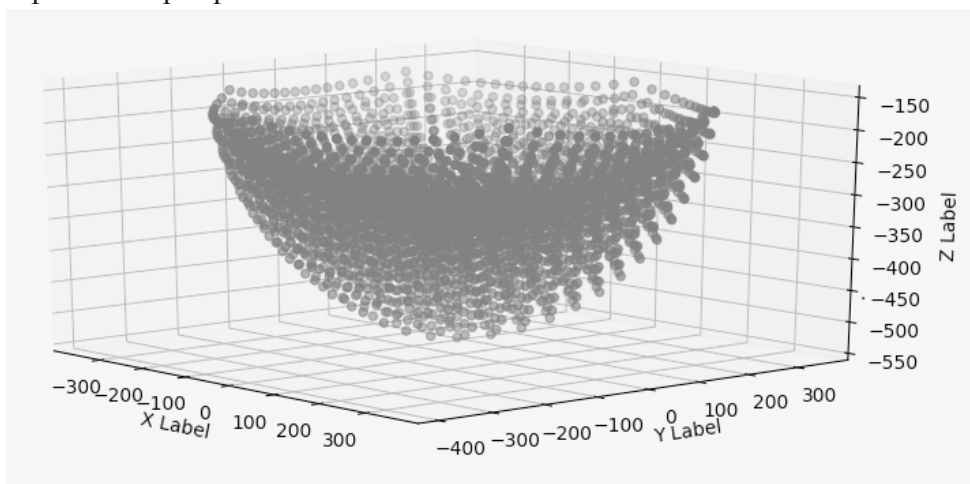


**Рисунок 1.** Структурная схема дельта-робота

Допустимые значения координат центра подвижной платформы определяются следующими величинами:

- 1) длиной плеч рычагов  $R_f$  и  $R_e$ ;
- 2) минимальным и максимальным углами поворота простых шарниров  $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$ ;
- 3) минимальным и максимальным углами поворота шаровых шарниров.

При помощи моделирования была получена рабочая зона для дельта-механизма (рисунки 2 и 3). Таким образом, рабочая зона механизма – конус с круговым сечением. Сверху рабочая область ограничена углами поворота шарниров и длинами плеч рычагов.



**Рисунок 2.** Рабочая зона дельта-механизма

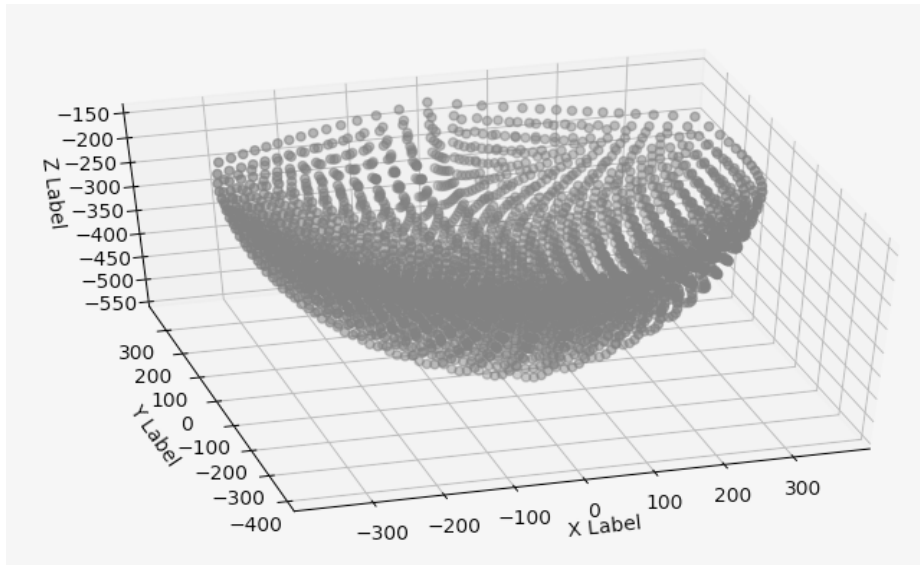


Рисунок 3. Рабочая зона дельта-механизма

Необходимо по заданным параметрам рабочей области определить длины плеч рычагов  $R_f$  и  $R_e$ .

Конструкция робота подразумевает, что рычаги, соединенные с основанием простым шарниром, могут вращаться лишь в плоскости, описывая при этом окружность радиусом  $R_f$  с центром в точке. Большее же плечо  $R_e$  соединено шаровыми шарнирами, что позволяет ему свободно вращаться вокруг точки крепления к подвижному основанию, описывая сферу радиусом  $R_e$ .

В статье по расчету обратной задачи кинематики были получены соотношения для вычисления углов поворота шарниров  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Theta_3$  по заданным координатам  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  центра подвижной платформы. В нашем же случае значения координат центра платформы ограничены заданными параметрами рабочей зоны и предельными углами поворота шарниров. Тогда получаем систему уравнений и неравенств, из которой сможем получить численные значения длин плеч  $R_f$  и  $R_e$ .

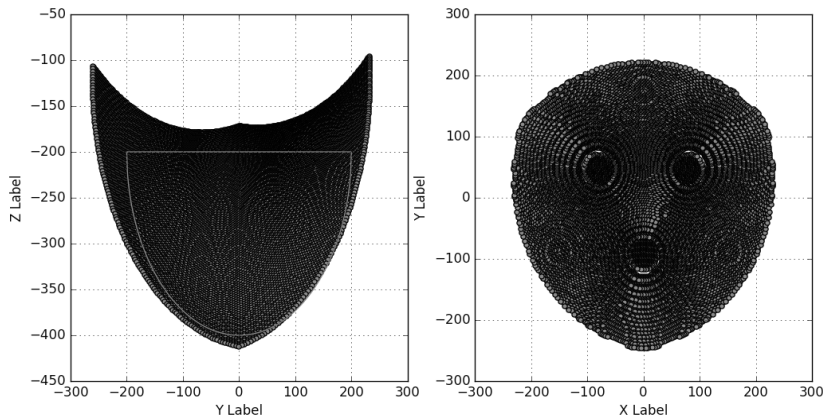
$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = R_e^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = R_e^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = R_e^2 \\ x^2 + y^2 + (z - z_w)^2 \geq R_w^2 \\ \theta_{1min} \leq \theta_1 \leq \theta_{1max} \\ \theta_{2min} \leq \theta_2 \leq \theta_{2max} \\ \theta_{3min} \leq \theta_3 \leq \theta_{3max} \end{array} \right. ,$$

где  $R_w$  – радиус рабочей зоны дельта-робота;  $(0, 0, z_w)$  – координаты центра этой зоны.

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 \\ y_1 &= -\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} - R_f \cos \theta_1 \\ z_1 &= -R_f \sin \theta_1 \\ x_2 &= \left( \frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_2 \right) \cos 30^\circ \\ y_2 &= \left( \frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_2 \right) \sin 30^\circ \\ z_2 &= -R_f \sin \theta_2 \\ x_3 &= \left( \frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3 \right) \cos 30^\circ \\ y_3 &= \left( \frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3 \right) \sin 30^\circ \\ z_3 &= -R_f \sin \theta_3 \end{aligned}$$

На рисунке 4 представлен результат работы программы, где  $R_w=200$ , координаты центра -  $(0, 0, -200)$ , значения углов поворота шарниров от  $-450$  до  $600$ ,  $L_e=300$   $L_f=140$ .

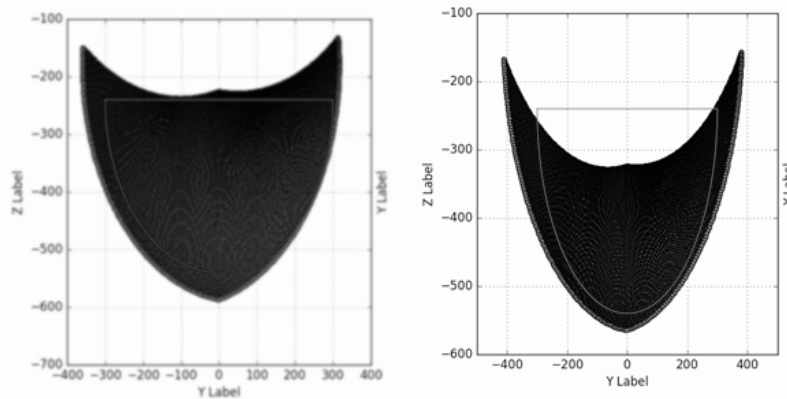
Красным цветом выделена заданная рабочая область робота. Справа представлено сечение плоскость  $z=-200$ .



**Рисунок 4.** . Результат работы программы

Рассмотрим, как изменяется рабочая зона при изменении кинематических параметров системы. При увеличении плеча  $R_e$ , крепящегося к подвижному основанию, рабочая зона сужается по оси  $Z$ . На рисунке 5 представлены две рабочие области робота: в первом

случае  $R_e = 420$  мм,  $R_f=210$  мм и сфера радиуса  $R_w=300$  мм с центром в точке  $(0, 0, -250)$  полностью лежит внутри рабочей области данного робота. При изменении размера плеча  $R_e$  до  $450$  мм обрезается значительная часть требуемой зоны (справа на рисунке 5).

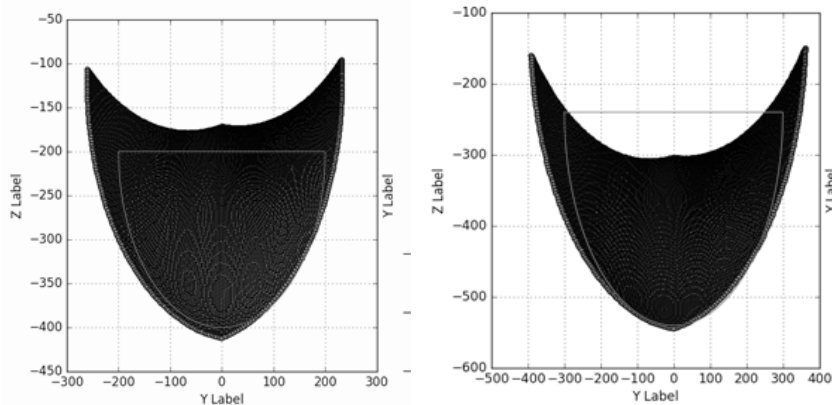


**Рисунок 5.** Результаты программы для вариантов плеч

1)  $R_e = 420$ ,  $R_f=210$ , 2)  $R_e=450$ ,  $R_f=210$ , радиус сферы рабочей области  $R_w=300$

При увеличении же плеча  $R_f$ , которое крепится к неподвижному основанию, рабочая область изменяется по всем трем осям: уве-

личивается в плоскости  $XY$  и сужается по оси  $Z$ . На рисунке 6 представлены результаты программы для двух случаев.



**Рисунок 6.** Результаты программы для вариантов плеч

1)  $R_e = 400$ ,  $R_f=130$ , 2)  $R_e=400$ ,  $R_f=200$



### Выводы

В данной статье приведен способ определения рабочей зоны дельта-робота, предложена система уравнений для определения координат. Полученные решения позволяют не только определять координаты выходного звена по конструктивным параметрам робота, но и решать обратную задачу, определять

конструктивные характеристики по заданным параметрам рабочей области дельта-робота. Для этих целей используются численные методы решения на ЭВМ. Полученный результат позволяет повысить точность, увеличить эффективность автоматизации процесса.

### Список литературы

1. Жавнер В.Л., Никитина К.В. Исследование параметров обслуживаемой зоны робота параллельной структуры. – Международный научно-исследовательский журнал. – Вып. № 4(46).
2. Хейло С.В. Разработка научных основ создания манипуляционных механизмов параллельной структуры для робототехнических систем предприятий текстильной и легкой промышленности: дис. – М., 2014.
3. Сферы применения промышленных роботов-манипуляторов: статья в промышленном каталоге статей. Режим доступа: <https://www.12821-80.ru/articles/a5106>
4. Беянин П.Н. Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов. – М.: Машиностроение, 1992.
5. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.Л., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высш. шк., 1986.

### References

1. Zhavner V.L., Nikitina K.V. Issledovanie parametrov obsluzhivaemoj zony robota parallel'noj struktury. – Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – vyp. № 4(46).
2. Hejlo S.V. Razrabotka nauchnyh osnov sozdaniya manipuljacionnyh mehanizmov parallel'noj struktury dlja robototehnicheskikh sistem predpriyatij tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: dissertacija. – М., 2014.
3. Sfery primenenija promyshlennyh robotov-manipuljatorov: stat'ja v promyshlennom kataloge statej. URL: <https://www.12821-80.ru/articles/a5106>
4. Beljanin P.N. Kinematicheskie shemy, sistemy i jelementy promyshlennyh robotov. – М.: Mashinostroenie , 1992.
5. Burdakov S.F., D'jachenko V.L., Timofeev A.N. Proektirovanie manipuljatorov promyshlennyh robotov i robotizirovannyh kompleksov. – М.: Vyssh. shk., 1986.



**Константян В.Н.**  
**Konstantyan V.N.**

бакалавр Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Нахушев Р.С.**  
**Nakhushev R.C.**

аспирант, младший науч-  
ный сотрудник Института  
конструкторско-технологи-  
ческой информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шаваев А.А.**  
**Shavaev A.A.**

аспирант, младший науч-  
ный сотрудник Института  
конструкторско-технологи-  
ческой информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 629.7.08

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-17-23

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ШЛЕМА ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ И КОМПЛЕКСА СИМУЛЯЦИИ ПОЛЕТА

В данной статье рассмотрены принципы построения системы моделирования полета летательного аппарата с использованием технологии дополненной реальности для лечения аэрофобии, заключающегося в обучении пациента навыкам релаксации и контроля собственного психофизического состояния. Для создания атмосферы полёта при лечении аэрофобии применяется виртуальная реальность. Целью исследования являлось как можно более полное погружение в процесс моделируемого полета для обеспечения максимально достоверных ощущений от него при проведении терапии. Поэтому необходимо было как можно более точно симитировать все фазы полета и все возможные ощущения человека в процессе работы установки. Задача реализации визуальной составляющей являлась основной при проектировании всей системы. В качестве технологии визуализации была выбрана концепция дополненной реальности, при которой стенки кабины заменяется на трехмерное изображение кабины или салона самолета. При этом пациент комплекса видит на экране шлема и реальные объекты внутри кабины – кресло, свои руки, что в конечном итоге создает иллюзию полного погружения в процесс полета. Главной задачей, которая стояла при реализации программного обеспечения комплекса, являлся синтез картинка в системе координат, связанной с кабиной самолета. Благодаря тому, что системы ориентации используемых компонентов могут выдавать углы Эйлера объектов слежения относительно горизонта, требуется процедура вычитания углов для определения положения шлема в системе координат кабины. Результат исследования позволяет с помощью простых операций синтезировать корректную картину мира. Используемые системы ориентации имеют достаточную точность показаний для того, чтобы у пациента не возникало неприятных ощущений во время проведения процедуры, а реализм происходящего в итоге оказался на достаточном уровне, чтобы процедуры, которые проводят на данной установке, имели достаточную эффективность.

**Ключевые слова:** симулятор полета самолета, лечение аэрофобии, система инерциальной навигации, преобразование координат, виртуальная реальность, синтез трехмерной картинка.

## VIRTUAL REALITY GOOGLES INTERACTION WITH THE FLIGHT SIMULATOR COMPLEX

In this article, principles of creation aircraft flight modeling system with use of virtual reality technology was considered for aero phobia treatment. The virtual reality is applied to create a complete atmosphere of flight. The research purpose was to fuller immersion in process of the modeled flight for ensuring the most reliable feelings from performing therapy. Therefore, it was necessary to simulate as much as possible precisely all phases of flight and all possible person feelings in the course of work. The problem of a visual component realization was the main at design of all system. Technology of cockpit walls background replacing with the three-dimensional image was chosen. At the same time the passenger of a complex can see a chair and parts of a body on the helmet screen that finally creates illusion of full immersion in flight process. The main task was the software implementation, where picture in cockpit coordinate system is synthesized. Navigation systems of the used components can give Euler's angles of tracking subjects and subtraction of angles for correct image processing is required. As a result, it was succeeded with the help of simple operations to synthesize a correct picture of the world. Used navigation systems have sufficient accuracy so the patient had no unpleasant feelings during the procedure. Modeling realism, as a result, appeared at the sufficient level that procedures which are carried out on this installation had sufficient efficiency.

**Key words:** flight simulator, aerophobia treatment, inertial navigation system, coordinate transformation, virtual reality, 3D rendering.

### Введение

Сегодняшний мир невозможно себе представить без авиации. Современные летательные аппараты обладают высочайшими характеристиками маневренности, энерговооруженности и скорости. Управление такими машинами требует от пилотов высокой квалификации, а от пассажиров – готовности к возможным перегрузкам и резким изменениям ситуации. Именно последняя проблема в последнее время становится все более и более актуальной в виде участившихся случаев возникновения аэрофобии – боязни летать. По данным исследований, до 40 % взрослого активного населения может страдать данной болезнью [1]. Основными симптомами аэрофобии являются нервозность уже за несколько дней до полёта, возможный отказ от авиаперелётов из-за страха перед полётом, учащённое или сбивчивое дыхание во время полёта, повышенное сердцебиение, сжатые мышцы, вспотевшие ладони, потребность в алкоголе как средстве успокоения в полёте, анализ звуков и перемещений экипажа по салону во время полёта, представление в воображении картин авиакатастроф, навязчивый поиск информации в СМИ об авиакатастрофах и другие подобные стрессовые психические и физические явления.

Лечение аэрофобии заключается в обучении пациента навыкам релаксации и контроля собственного психофизического состояния, после чего необходимым этапом является экспозиционная терапия. Для освобождения от аэрофобии пациенту необходимо раз за разом пережить под контролем психолога большое количество взлётов и посадок, тренируя навыки релаксации, пока его мозг не начнёт ассоциировать полёт с расслаблением, а не с паникой. Для создания атмосферы полёта при лечении аэрофобии сегодня применяются компьютерные технологии, в том числе виртуальная реальность (VRET — Virtual Reality Exposition Therapy) [2]. Для такого рода терапии, в частности, и может быть использован разработанный комплекс симуляции. В данной статье объектом исследования является шлем виртуальной реальности, являющийся, по сути, центральным компонентом системы визуализации комплекса.

Целью исследования являлась необходимость как можно более полного погружения в процесс моделируемого полета для обеспечения максимально достоверных ощущений от него при проведении терапии. Именно этот факт является ключом к успеху всего лечения и определяет степень его эффективности. Поэтому необходимо было как можно

более точно симитировать все фазы полета и все возможные ощущения человека в процессе работы установки. Основным источником информации для человека является зрение, отсюда задача реализация визуальной составляющей являлась основной при проектировании всей системы. Предметом исследования данной статьи является создание способа взаимодействия систем инерциальной навигации шлема виртуальной реальности и движущейся кабины для синтеза

правдоподобной картины окружающей обстановки пользователя установки.

#### Задача визуализации

Симулятор полета имитирует кабину лётного аппарата. Он может имитировать перемещение по осям крена, тангажа и рыскания. Вся конструкция подвешена в воздухе, что дает ей возможность обеспечивать перегрузку при маневрах. В кабине закреплено авиационное кресло, а её стенки покрыты экраном зеленого цвета. Внешний вид комплекса представлен на рисунке 1.

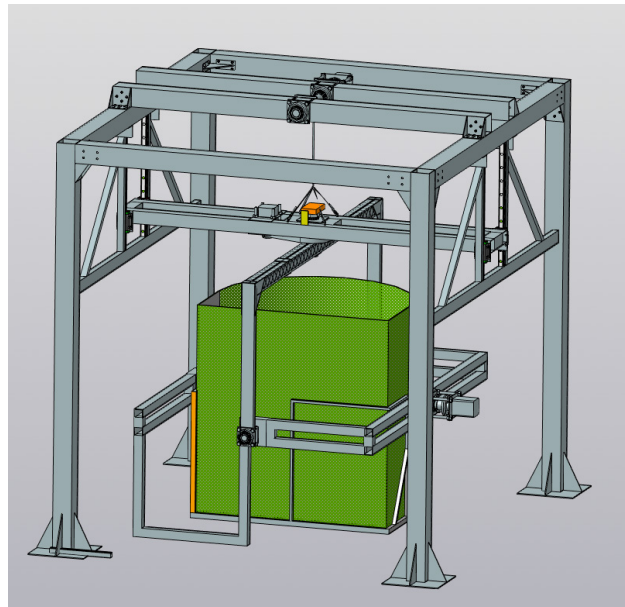


Рисунок 1. Внешний вид комплекса

В качестве технологии визуализации была выбрана концепция дополненной реальности, при которой фон стенок кабины заменяется на трехмерное изображение кабины или салона самолета. При этом пассажир комплекса видит на экране шлема кресло и части тела, что в конечном итоге создает иллюзию полного погружения в процесс полета. Разработка собственной системы такого рода была признана нецелесообразной при наличии на рынке большого количества готовых комплектов. Самыми технически продвинутыми представителями семейства шлемов виртуальной реальности являются Oculus Rift, HTC Vive, OSVR.

OSVR является относительно недавно представленным проектом с открытым исходным кодом. Представляет из себя сам шлем, камеру отслеживания положения головы и внешний блок, обеспечивающий непосредственную связь с компьютером.

Наличие камеры позволяет точно отслеживать не только ориентацию головы пользователя, но и ее координаты в кабине.

Однако, хотя поддержка популярного математического обеспечения для построения трехмерных сцен и заявлена производителем, проект еще находится в стадии первых прототипов и не гарантирует полную работоспособность. Еще одной негативной особенностью является пониженная частота изменения картинки на дисплее, что является одним из параметров, определяющих реалистичность выводимой картинки.

На этом фоне полностью законченное решение HTC Vive со сложной системой трекинга положения головы выглядит более предпочтительным, однако сенсоры положения шлема должны быть расположены по разные стороны шлема и на высоте около 2 м. В тесных условиях кабины данные условия невозможно выполнить, поэтому окончательный выбор пал в сторону системы от компании Oculus VR Oculus Rift.

В данном шлеме решены фундаментальные проблемы систем обеспечения виртуальной реальности, такие как уменьшение задержки между перемещением головы и

реакцией системы. Для решения этой проблемы используют сенсор с более высокой частотой дискретизации в 1000 Гц и специальные программные технологии, такие как предсказание движения и так называемый «time warp». Помимо этого, увеличена и частота обновления дисплея, которая составляет 75 Гц. Другая значительная причина ухудшения достоверности картинки — длительный период отображения пикселей, характерный для всех LCD-панелей в целом, а также очень длительное время смены пикселей в конкретной использовавшейся панели, из-за чего создаётся очень сильное размывание — в Rift версии DK2 проблема решена путём использования OLED-экрана с низким периодом отображения, так называемая технология «low persistence», при которой пиксели загораются лишь на очень короткий промежуток времени, вместо того, чтобы гореть всё время, как на обычном дисплее. Вес устройства составляет 380 г. Оно также имеет внешнюю камеру для дополнительного отслеживания головы во время движения.

Программная часть комплекса представлена игровым конструктором Unity 3D, имеющим стандартную поддержку используемого шлема виртуальной реальности. В нем реализовано ПО, выводящее на экран внутренний интерьер салона самолета и картинку земли в иллюминаторе в соответствии с текущим положением самолета. Главной задачей, которая стояла при реализации программного обеспечения комплекса, являлся синтез картинки в системе координат, связанной с кабиной самолета, в то время как использование шлема виртуальной реальности подразумевает под собой его использование на неподвижной поверхности земли.

Для этого необходимо было обеспечить правильное взаимодействие двух систем навигации – шлема (и соответственно головы пользователя) и всей кабины.

### **Система ориентации кабины комплекса**

Симулятор использует две независимые БИНС, первую для определения крена и тангажа кабины и вторую – для рыскания и высоты. При этом датчики второй системы расположены непосредственно на валу, который вращает кабину и ее подвес в горизон-

тальной плоскости. Из-за большого количества металлических деталей для стабильной работы магнитометра на конструкции комплекса был закреплен постоянный магнит на стойке.

В качестве математического обеспечения работы системы выступает фильтр Маджвика, который по результатам тестирования показал наилучшие результаты характеристик стабильности и точности ориентации. Аппаратное обеспечение представлено навигационными модулями производства компании STMicroelectronics. Согласно проведенным исследованиям среднеквадратическая ошибка определения положения подобной системы составляет  $0,6^\circ$  при статичном положении и не превышает  $0,8^\circ$  в движении [3]. Выходными данными системы ориентации являются углы поворота кабины (углы Эйлера) и её координаты в декартовой системе.

Выбранная структура требует калибровки перед использованием. Калибровка системы проходит благодаря срабатыванию в четко определенных положениях концевых выключателей. Их использование также позволяет реализовать механизм аварийного отключения приводов при отклонении кабины на углы, превышающие максимально допустимые.

В качестве инерциальных измерительных модулей (ИИМ) были использованы готовые отладочные платы STM производства компании STMicroelectronics.

В каждый ИИМ установлен модуль Bluetooth для связи с остальными компонентами системы. Данный протокол передачи данных был выбран, потому что обеспечивает необходимую скорость обмена информацией и радиус стабильной работы [5]. Его использование обусловлено сложностью проводки кабелей через большое количество соединений конструкции и как следствие – возможность их обрыва и последующего возникновения внештатной ситуации. Помимо этого использование данной технологии позволило легко интегрировать в систему пульт дистанционного контроля. Таким образом, окончательный состав и структура системы управления комплексом симуляции представлена на рисунке 2.

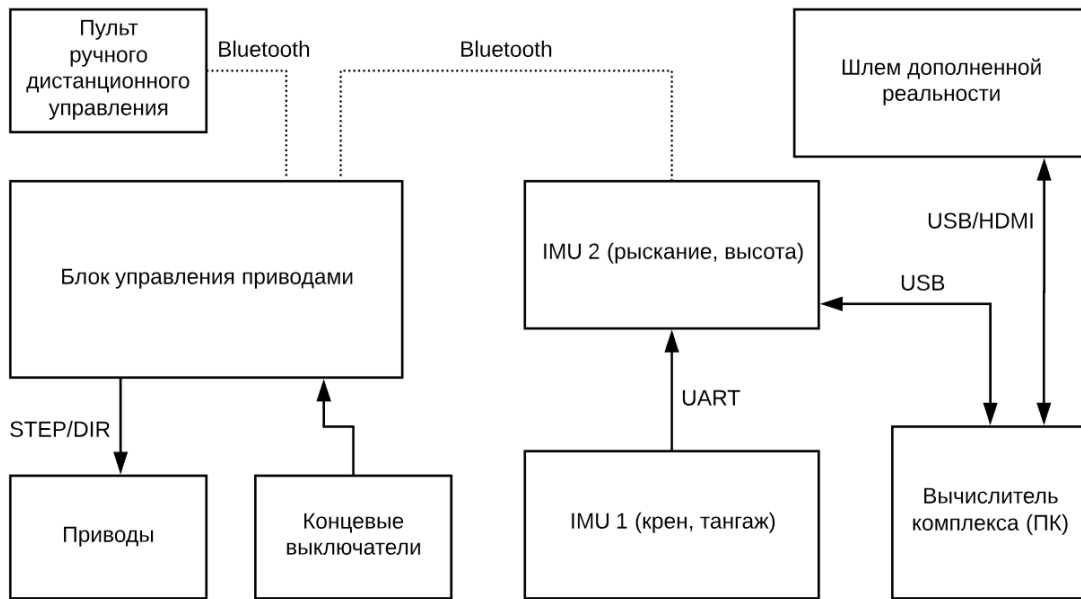


Рисунок 2. Структурная схема электрооборудования комплекса

### Система ориентации шлема виртуальной реальности

Аппаратная часть Oculus Rift содержит ряд микроэлектромеханических (МЭМС) датчиков, среди которых гироскоп, акселерометр и магнитометр.

Существует также сенсор для отслеживания положения шлема виртуальной реальности. Информация от каждого из этих сенсоров объединяется посредством процесса слияния сенсоров для определения движения головы пользователя в реальном мире и синхронизации представления пользователя в режиме реального времени.

Конечные данные о положении включают в себя полные данные отслеживания головы

шести степеней свободы (6DoF), включая ориентацию, позицию и их первую и вторую производные. Значение позиции сообщается для заданного точного момента времени с использованием прогноза, как правило, соответствующего времени в будущем, чтобы изображение этого кадра отображалось на экране. Математически, заявленная поза включает в себя трёхмерный вектор позиции и кватернион ориентации. Вращение поддерживается как единичный кватернион, однако также оно может быть представлено в форме поворотов-наклонов (углов Эйлера). Ориентация сообщается как вращение в правой системе координат [4], как показано на рисунке 3.

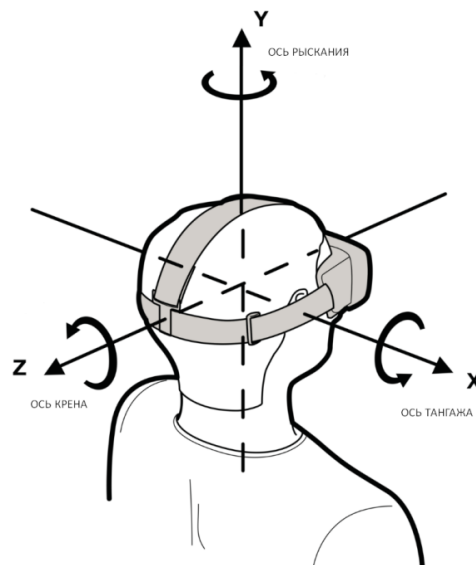


Рисунок 3. Система координат шлема

Позиционное отслеживание возможно в пределах усеченного конуса и определяется горизонтальным и вертикальным полем обзора, а также расстоянием от передней и до

задней плоскостей усеченного конуса. На следующем рисунке 4 показан сенсор отслеживания и представление результирующей усеченной траектории слежения.

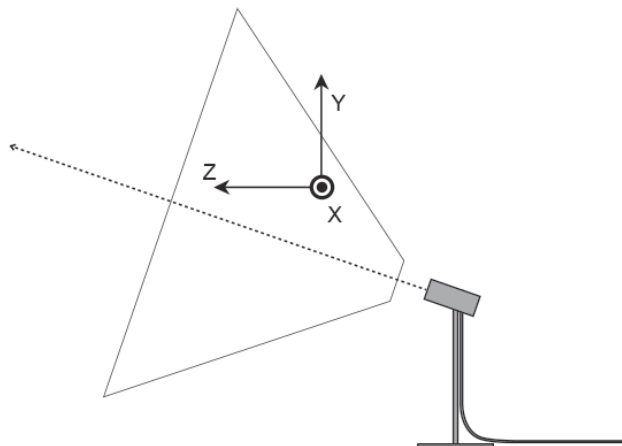


Рисунок 4. Система отслеживания головы.

По умолчанию источник позиционного отслеживания находится на расстоянии около одного метра от сенсора в направлении оптической оси, но с той же высотой, что и сенсор. Начальная ориентация по умолчанию – уровень земли, отрицательная ось указывает на сенсор. Другими словами, угол поворота шлема виртуальной реальности, равный нулю, соответствует пользователю, смотрящему на сенсор.

#### Взаимодействие систем ориентации для синтеза правдоподобной картины мира при проведении симуляции

Поскольку сенсор движения закреплен непосредственно в кабине, для получения положения головы пользователя симуляционного комплекса преобразование координат не требуется, и данный механизм работает в штатном режиме.

Благодаря тому, что как система ориентации кабины, так и система ориентации шлема виртуальной реальности могут выдавать в конечном результате углы Эйлера объектов слежения, требуется всего лишь простое вычитание углов для определения положения шлема в системе координат кабины. Из углов поворота кабины комплекса вычитаются углы поворота головы пользователя, результирующий угол поворота как раз отражает положение трехмерного вида кабины с точки зрения наблюдателя, сидящего в моделируемом салоне самолета. Эти углы и отправляются в программное обеспечение, синтезирующее трехмерную картину мира наблюдателя. Операция вычитания (для одной оси) показана на рисунке 5.

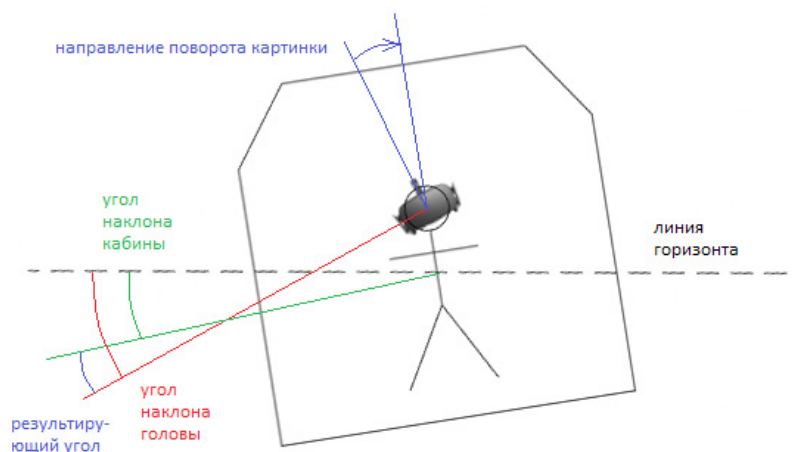


Рисунок 5. Вычитание углов

Согласно системе координат, используемой в системе, угол наклона кабины относительно горизонта вычитается из угла наклона головы относительно его, результирующий угол дает смещение картинка относительно взгляда человека в системе координат кабины.

### Выводы

Благодаря использованию в системе оптимально выбранного оборудования удалось с помощью простых операций синтезировать корректную картину мира для человека, находящегося в подвижной кабине при погружении в виртуальную реальность в ходе процедуры лечения аэрофобии. Метод зарекомендовал себя как достаточно эффективный. Использованные системы ориента-

ции имеют достаточную точность для того, чтобы у пациента не возникало неприятных ощущений во время проведения процедуры, а реализм моделирования в итоге оказался на достаточном уровне, чтобы процедуры, которые проводят на данной установке, имели достаточную эффективность. По результатам исследований было сделано заключение, что задача взаимодействия двух систем ориентации в рамках одного комплекса, использующего технологию дополненной реальности, была решена успешно, и полученное решение рекомендовано для использования в подобного рода проектах, где требуется синтез реалистичной картинка в сложных условиях.

### Список литературы

1. Clark, GI; Rock, AJ (2016). "Processes Contributing to the Maintenance of Flying Phobia: A Narrative Review". *Frontiers in Psychology*. 7: 754. doi:10.3389/fpsyg.2016.00754. PMC 4887486. PMID 27313550.
2. Alan Mozes. "Virtual Reality Therapy May Help PTSD Patients". *Watchdog.org*. Archived from the original on 2 October 2011.
3. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays Sebastian O.H. Madgwick.
4. Platform SDK Developer Guide. URL: [developer.oculus.com/documentation/](http://developer.oculus.com/documentation/)
5. Bluetooth Core Specification V5.0

### Reference

1. Clark, GI; Rock, AJ (2016). "Processes Contributing to the Maintenance of Flying Phobia: A Narrative Review". *Frontiers in Psychology*. 7: 754. doi:10.3389/fpsyg.2016.00754. PMC 4887486. PMID 27313550.
2. Alan Mozes. "Virtual Reality Therapy May Help PTSD Patients". *Watchdog.org*. 2 October 2011.
3. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays Sebastian O.H. Madgwick.
4. Platform SDK Developer Guide. URL: [developer.oculus.com/documentation/](http://developer.oculus.com/documentation/)
5. Bluetooth Core Specification V5.0





**Санников А.С.**  
**Sannikov A.S.**

*аспирант, младший научный сотрудник  
Института конструкторско-технологиче-  
ской информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Шевхужев А.О.**  
**Shevhuzev A.O.**

*аспирант, младший научный сотрудник  
Института конструкторско-технологиче-  
ской информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 629.735

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-24-30

## **СИСТЕМА ИМИТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОК ПРИ УПРАВЛЕНИИ МУЛЬТИКОПТЕРОМ**

Квадрокоптер – летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме, обладающий четырьмя несущими винтами. В настоящее время получили широкое распространение беспилотные квадрокоптеры, что вызвано развитием технологий, а также широким кругом задач.

Большинство современных квадрокоптеров использует для полета четыре бесколлекторных двигателя, на которые установлены винты с фиксированным шагом. Изменение высоты полета осуществляется с помощью синхронного изменения частоты вращения двигателей. Управление по крену и тангажу осуществляется попарным управлением двигателями. Два двигателя квадрокоптера осуществляют вращение по часовой стрелке, два – против. Изменение частоты вращения этих пар двигателей приводит к возникновению крутящего момента, направленного вокруг оси рысканья.

В настоящее время летательные аппараты схемы мультикоптер получили широкое распространение. Это связано с развитием аккумуляторных батарей, малогабаритных бесколлекторных двигателей и мощных встраиваемых процессоров с установленными на них специализированными операционными системами реального времени. В данной статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении квадрокоптером. Данные о перегрузках в режиме реального времени передаются на наземный компьютер и в систему числового программного управления комплексом.

Объектом исследования является система имитации перегрузок, возникающих в результате полета мультикоптера. Предметом исследования является интеграция системы управления мультикоптера и комплекса моделирования полета.

Актуальность работы обусловлена широким распространением беспилотных летательных аппаратов и необходимостью обучения управлению ими.

Целью данной статьи является разработка системы имитации перегрузок на основе готового квадрокоптера и комплекса моделирования полета.

В статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении мультикоптером, в режиме реального времени. Была произведена интеграция комплекса с квадрокоптером, управляемым платой Pixhawk. Проведена серия тестовых полетов, измерена задержка передачи данных.

**Ключевые слова:** мультикоптер, летательный аппарат, имитация перегрузок, передача данных.

## OVERLOADS IMITATION SYSTEM AT CONTROL OF MULTICOPTER

The quadcopter – the aircraft constructed according to the helicopter scheme, possessing four bearing screws. Now pilotless quadcopters were widely adopted that is caused by development of technologies and also a wide range of tasks.

The majority of modern quadcopters uses four brushless motors on which screws with the fixed step are installed for flight. Change of flight altitude is carried out by means of synchronous change of frequency of rotation of engines. Management on a list and pitch is carried out by paired control of engines. Two engines of the quadcopter carry out rotation clockwise, two – against. Change of frequency of rotation of these pairs of engines leads to emergence of the torque directed around a roving axis.

Currently, multicopter scheme aircrafts were widely adopted. It is connected with development of rechargeable batteries, small-sized brushless motors and the powerful built-in processors with established on them specialized real time operation systems.

In this article application of a complex of modeling of flight for imitation of the overloads arising at control of the quadcopter is described. Data on overloads are in real time transferred to the land computer and to the system of numerical program control by a complex.

Object of a research is the system of imitation of the overloads resulting from flight of a multicopter. An object of research is integration of a control system of a multicopter and complex of modeling of flight.

The relevance of work is caused by wide circulation of unmanned aerial vehicles and need of training in management of them.

The purpose of this article is development of the system of imitation of overloads on the basis of the ready quadcopter and a complex of modeling of flight.

In this article application of a complex of modeling of flight for imitation of the overloads arising at management of a multicopter, in real time is described. Integration of a complex with the quadcopter operated by Pixhawk payment was made. A series of test flights is carried out, the data deference is measured.

**Key words:** multicopter, aircraft, simulation of overloads, data transfer.

### Введение

В настоящее время летательные аппараты схемы мультикоптер получили широкое распространение. Это связано с развитием аккумуляторных батарей, малогабаритных бесколлекторных двигателей и мощных встраиваемых процессоров.

В данной статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении квадрокоптером. Данные о перегрузках в режиме реального времени передаются на наземный компьютер и в систему числового программного управления комплексом. Объектом исследования является система имитации перегрузок, возникающих в результате полета мультикоптера. Предметом исследования является интеграция системы управления мультикоптера и комплекса моделирования полета.

Актуальность работы обусловлена широким распространением беспилотных летательных аппаратов и необходимостью обучения управлению ими.

Целью данной статьи является разработка системы имитации перегрузок на основе готового квадрокоптера и комплекса моделирования полета. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработана структурная схема системы моделирования перегрузок.

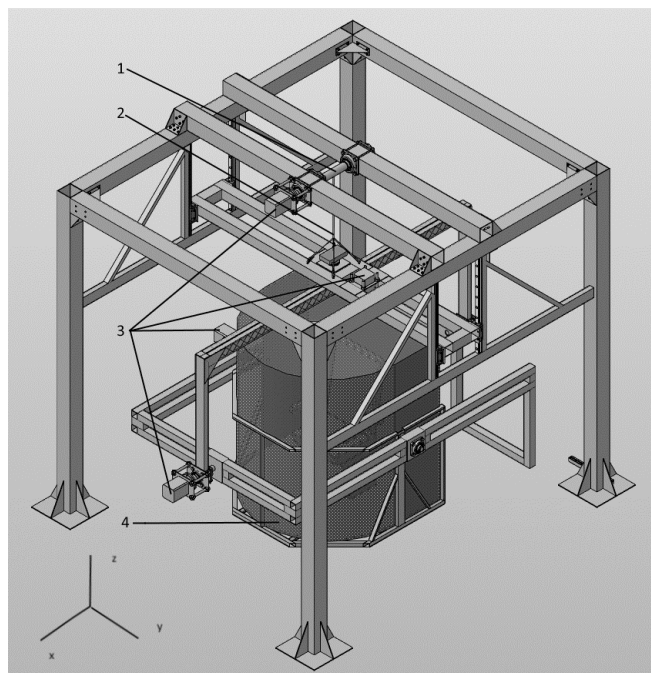
2. Разработано программное обеспечение для передачи данных в систему числового программного управления комплексом.

3. Разработано программное обеспечение для передачи видеопотока с бортовой камеры в шлем виртуальной реальности Oculus Rift.

### Состав комплекса моделирования полета

Комплекс моделирования полета представляет собой конструкцию, состоящую из карданного подвеса, оси которого осуществляют перемещения при помощи сервоприводов. Приведение в движение частей установки, совершающих угловые перемещения, осуществляется за счет серводвигателей Panasonic MINAS A5, установленных на каждой из осей вращения. Вертикальное линейное перемещение кабины осуществля-

ется за счет лебедки, которая установлена на неподвижной части комплекса на верхних силовых балках. Вертикальное перемещение служит для введения вращающихся частей установки в рабочее положение. Под рабочим положением подразумевается такое положение, при котором установка может совершать вращение вокруг заданных осей без контакта кабины с поверхностью пола, на котором установлен комплекс.



1 – лебедка, 2 – трос, 3 – сервоприводы, 4 – кабина

**Рисунок 1.** Внешний вид комплекса

Сервоприводы и лебедка комплекса управляются с помощью специально разработанной системы числового программного управления (ЧПУ). Система ЧПУ имеет два режима работы: автономный и с внешним управлением. В автономном режиме система поддерживает перемещение кабины с использованием пульта дистанционного управления, запись и воспроизведение движений. Этот режим работы используется для моделирования простых сценариев работы, а также для проведения ремонтных и регламентных работ. Режим внешнего управления позволяет передавать в реальном времени уставки координат в систему ЧПУ, что необходимо для расширенных и нестандартных сценариев использования комплекса.

Система визуализации комплекса представляет собой персональный компьютер, находящийся в кабине, и шлем виртуальной реальности Oculus Rift DK2. Использование

шлема виртуальной реальности позволяет использовать комплекс для широкого круга задач, связанных с моделированием перемещения человека пространстве.

### Система управления квадрокоптером

Квадрокоптер – летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме, обладающий четырьмя несущими винтами. В настоящее время получили широкое распространение беспилотные квадрокоптеры, что связано с развитием технологий, а также широким кругом задач.

Большинство современных квадрокоптеров использует для полета четыре бесколлекторных двигателя, на которые установлены винты с фиксированным шагом. Изменение высоты полета осуществляется с помощью синхронного изменения частоты вращения двигателей. Для стабильного полета в мультикоптерах используют системы автоматического управления, которые с помощью

системы инерциальной навигации и данных спутниковой навигации стабилизируют полет аппарата, регулируя обороты двигателей. Оператору, осуществляющему управление, доступны функции изменения высоты и положения в пространстве.

В данном исследовании был применен квадрокоптер на основе платы управления Pixhawk. Данная плата обладает следующими характеристиками:

1. 32 bit ARM Cortex® M4 процессор и операционная система NuttX RTOS.
2. Сопроцессор 32 bit STM32F103.
3. 14 PWM/PPM выходов.
4. Открытый исходный код и открытая архитектура.

Основным ее преимуществом является использование системы с двумя процессорами, один из которых является резервным и позволяет сохранить управление летательным аппаратом в случае аварийной ситуации. Данные телеметрии передавались с летательного аппарата на землю при помощи комплекта SiK Telemetry Radio. Этот комплект представляет собой беспроводной вариант последовательного соединения.

**Структура системы**

Была разработана структурная схема для организации передачи данных о перегрузках, испытываемых летательным аппаратом.



**Рисунок 2.** Структурная схема передачи данных о перегрузках

Бортовая система управления передает данные телеметрии в последовательный порт, к которому подключен передатчик телеметрии. Компьютер системы ЧПУ комплекса

моделирования полета принимает эти данные с помощью приемника телеметрии. Данные после обработки передаются на систему управления сервоприводами.



**Рисунок 3.** Структурная схема передачи видеоданных

Видеосигнал с бортовой камеры поступает в аналоговый видеопередатчик с несущей частотой 5,8 ГГц, затем принимается видеоприемником, к выходу которого подключено устройство захвата изображения. Компьютер системы визуализации использует видеоизображение для передачи на шлем виртуальной реальности. К компьютеру также подключен передатчик управляющих команд, что позволяет использовать данные со шлема виртуальной реальности о повороте головы в качестве команд управления квадрокоптером.

### Программное обеспечение

Было разработано программное обеспечение для передачи углов квадрокоптера в систему ЧПУ.

На рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма передачи данных о перегрузках в систему ЧПУ. Для обеспечения безопасного передвижения кабины комплекса моделирования полета данные с квадрокоптера пропущены через программный фильтр низких частот, который предотвращает передачу высокочастотных данных в комплекс. Прием и передача пакетов осуществляется через виртуальные последовательные порты.

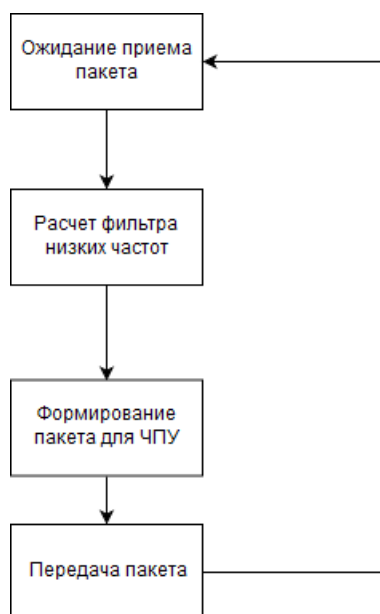


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма передачи данных

Программное обеспечение для передачи данных о перегрузках в систему ЧПУ реализовано на языке С++ с использованием фреймворка Qt5. Qt – кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке С++. В состав фреймворка входит визуальная среда под названием Qt Creator, позволяющая производить графическую разработку пользовательского интерфейса.

Преимуществом использования С++ является высокая скорость исполнения, достигаемая за счет механизмов ручного управления памятью и различных оптимизаций, реализованных на стороне компилятора, недостатками – отсутствие встроенных механизмов сборки мусора, сложность разработки. Распространенный способ предотвращения утечек памяти – использование «умных указателей», которые тем или иным образом

следят за необходимостью освобождения памяти по указываемому адресу.

Одной из основных отличительных особенностей фреймворка Qt является использование метаобъектного компилятора – системы предварительной обработки исходного кода. Использование метаобъектного компилятора добавляет в язык программирования механизм слотов – сигналов. Слот – метод класса, который может быть вызван асинхронным образом по событию сигнала. Данный механизм используется для соединения событий пользовательского интерфейса с вызовами методов в программе, но не ограничивается этим. Сигналы и слоты также могут связывать методы различных объектов внутри программы.

Программное обеспечение для системы визуализации представляет собой процедуру захвата видеопотока из аналогового видео

приемника и отрисовку сцены с виртуальным экраном, на который выводится изображение.

Программное обеспечение для визуализации реализовано на языке C# с использованием Unity 3D. Unity 3D – межплатформенная среда разработки компьютерных игр. Основным преимуществом использования Unity 3D является скорость разработки, недо-

статком – возможная низкая производительность программного продукта.

### Измерение задержки передачи видеосигнала

Задержкой в системе визуализации считается время, которое требуется, чтобы событие, произошедшее в поле зрения камеры, было изображено на мониторе оператора.

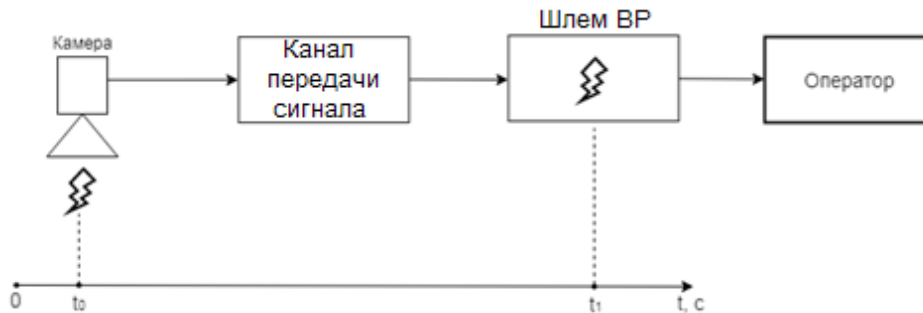


Рисунок 5. Задержка передачи видеосигнала

Расчет времени производится по формуле:

$$t_3 = t_1 - t_0 \quad (1)$$

$t_3$  – время задержки.

Так как  $t_3$  может быть различным из-за особенностей системы визуализации и погрешности измерения, для оценки качества системы визуализации по критерию задержки видеосигнала можно провести серию измерений, в результате которой рассчитать среднее время задержки

$$t_{cp} = \frac{\sum_1^n t_3}{n} \quad (2)$$

$t_{cp}$  – среднее время задержки.

Для измерения задержки системы визуализации в рабочую область камеры вносится устройство измерения и индикации времени. При этом производится наблюдение за дисплеем устройства непосредственно и через шлем виртуальной реальности системы визуализации. Разность между показаниями устройства индикации времени на шлеме виртуальной реальности и непосредственными данными равна времени задержки. Так как время задержки видеосистемы может быть равным десяткам миллисекунд, имеется проблема с непосредственным наблюдением разности показаний устройства индикации времени. Использование фотоаппаратуры для мгновенной фиксации показаний приборов полностью решает данную проблему.

Устройство измерения и индикации времени – секундомер, позволяющий измерять и

отображать время с точностью не больше 1 миллисекунды. В результате серии опытов было зафиксировано, что средняя задержка системы визуализации составляет 316 миллисекунд. Столь большое значение вызвано использованием устройства захвата аналогового сигнала в компьютере визуализации, драйвер которого имеет программную буферизацию данных. При текущих настройках систему имитации перегрузок возможно использовать для обучения полетам без динамичных маневров, требующих хорошей реакции от пилота. В дальнейшем планируется уменьшить задержку визуализации, применив другой драйвер для устройства видеозахвата.

### Вывод

Была разработана система имитации перегрузок при управлении мультикоптером на основе готового коптера и комплекса моделирования полета. Разработано программное обеспечение для передачи данных телеметрии в ЧПУ систему, программное обеспечение для передачи видеопотока на шлем виртуальной реальности. Измерена задержка передачи видеосигнала в шлем виртуальной реальности, сделаны соответствующие выводы. Были проведены тестовые полеты квадрокоптера, система показала свою полную работоспособность. В дальнейшем планируется провести оптимизацию программного и аппаратного обеспечения с целью уменьшения задержки визуализации,

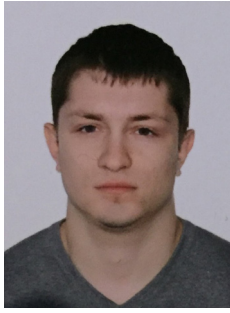
а также провести расширенное тестирование системы.

### Список литературы

1. Пользовательская инструкция mRo Pixhawk PX4 [Электронный ресурс] // URL: [https://docs.px4.io/en/flight\\_controller/mro\\_pixhawk.html](https://docs.px4.io/en/flight_controller/mro_pixhawk.html)
2. Стюарт Р. Болл. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров – М.: Додэка XXI, 2007.
3. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Суханова Н.В., Кабак И.С. Автоматизация оценки надежности программного обеспечения для систем управления технологическими процессами // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 3 (47).
4. Власов К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета: учебное пособие. – Харьков: Гуман. Центр, 2013. – 544 с.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – Издание третье, исправл. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975.

### Reference

1. User instruction mRo Pixhawk PX4 [Electronic resource] // URL: [https://docs.px4.io/en/flight\\_controller/mro\\_pixhawk.html](https://docs.px4.io/en/flight_controller/mro_pixhawk.html)
2. Stuart R. Ball. Analog Interfaces of Microcontrollers - M.: Dodek XXI, 2007.
3. Solomentsev Yu.M., Sheptunov S.A., Sukhanova N.V., Kabak I.S. Automation of software reliability assessment for process control systems // Bulletin of Bryansk State University. - 2015. - № 3 (47).
4. Vlasov K.P. The theory of automatic control. The main provisions. Examples of calculation: a textbook. - Kharkov: Human. Center, 2013. - 544 p.
5. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. - Third edition, corrected. - M.: Science, the Main edition of the physical and mathematical literature, 1975.



**Кулиев Т. И.**  
**Kuliev T.I.**

*младший научный  
сотрудник Института  
конструкторско-технологи-  
ческой информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Кулиев Р.И.**  
**Kuliev R.I.**

*младший научный  
сотрудник Института  
конструкторско-технологи-  
ческой информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Сабанчиев А.М.**  
**Sabanchiev A.M.**

*бакалавр Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 519.71

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-31-36

## **ОТСЛЕЖИВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОКАМЕРЫ**

На сегодняшний день не решена проблема робототехнических систем, в которых оператор мог бы наблюдать и анализировать рабочую область манипулятора без вспомогательных устройств. Такие системы состоят из подсистемы визуализации, включающей камеру, секундомер и балку. Камера, направленная в рабочую область, позволяет снимать более 200 кадров в секунду. Секундомер позволяет измерять и показывать время с точностью не больше 1 мсек. Большинство устройств, имеющих в розничной продаже, решают только задачу измерения, так как имеют сравнительно большой период обновления дисплея. Динамика положения конца балки в разные моменты времени даст нам возможность замерить резонансную частоту.

Единственным источником данных обратной связи для оператора является система визуализации. К данной системе предъявляются высокие требования. Важным параметром в данной системе является задержка изображения, которая, в свою очередь, определяет максимальную скорость работы и комфорта оператора.

Стенд состоит из высокоскоростной камеры и высокоскоростного секундомера. При помощи камеры производится видеофиксация колебательного процесса и индикатора секундомера для последующего расчета резонансной частоты.

Имеется балка, с помощью которой необходимо произвести замер ее резонансной частоты. Для реализации данной задачи было принято решение собрать стенд, который состоит из видеокамеры, позволяющей снимать больше 200 кадров в секунду, очень чувствительного секундомера и балки.

Получив некий импульс, балка начинает колебаться. Высокоскоростная камера снимает балку и секундомер на фоне. В итоге получаем информацию о положении конца балки в разные моменты времени, что и дает нам возможность замерить частоту.

Разработана методика оценки систем визуализации по критерию задержки видеопотока.

Разработано устройство измерения и индикации временных интервалов, на основе которого собран лабораторный стенд для измерения задержки.

Данный стенд позволит проводить исследования допустимой задержки в робототехнике



ских системах с помощью оператора, позволит оценивать качество системы визуализации.

**Ключевые слова:** Микроконтроллер, индикация, измерения, задержка, лабораторный стенд, семисегментный индикатор.

## TRACKING DYNAMICALLY CHANGING OBJECTS OF ROBOTIC SYSTEMS WITH A VIDEO CAMERA

To date, the problem of robotic systems in which the operator could observe and analyze the working area of the manipulator without auxiliary devices has not been solved. Such systems consist of a visualization subsystem, which consists of a camera, a stopwatch and a beam.

The system consists of a camera that allows you to shoot more than 200 frames per second directed into the workspace. The device for measuring and indicating time is a stopwatch that allows you to measure and show time with an accuracy of no worse than 1 ms. Most devices that are available at retail only solve the measurement problem, since they have a relatively long display refresh period. The system also consists of a beam, with the help of which we will receive the positions of the end of the beam at different times, which will give us the opportunity to measure the frequency.

The only source of feedback data for the operator is the visualization system. High demands are made on this system. An important parameter in this system is the image delay, which, in turn, determines the maximum speed and operator comfort.

The stand consists of a high-speed camera and a high-speed stopwatch. With the help of the camera, the oscillation process and the stopwatch indicator are videotaped for the subsequent calculation of the resonant frequency.

There is a beam with which it is necessary to measure its resonant frequency. To accomplish this task, it was decided to assemble a stand, which consists of a video camera, which will allow shooting more than 200 frames per second, a very sensitive stopwatch and beams.

Having given a certain impulse to a beam, it begins to oscillate. High-speed camera shoots the beam and the stopwatch in the background. As a result, we get the position of the end of the beam at different points in time, which gives us the opportunity to measure the frequency.

A technique has been developed for evaluating visualization systems based on the video stream delay criterion.

A device for measuring and indicating time intervals has been developed, on the basis of which a laboratory stand for measuring the delay has been assembled.

This stand will allow to carry out studies of the allowable delay in robotic systems, with the help of an operator, will allow to evaluate the quality of the visualization system.

**Key words:** Microcontroller, indication, measuring, delay, laboratory equipment, seven-segment indicator.

### Введение

*Объект исследования:* задержка распространения видеосигнала в робототехнических системах.

*Предмет исследования:* необходимость разработки лабораторного стенда для установления величины задержки между камерой, секундомером и балкой.

*Актуальность темы.* На сегодняшний день не решена проблема робототехнических систем, в которых оператор мог бы наблюдать и анализировать рабочую область манипулятора без вспомогательных устройств. Такие системы состоят из подсистемы визуализации, включающей камеру, секундомер и балку.

Целью данного исследования является разработка и сборка лабораторного стенда для измерения задержки.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработана методика измерения задержки видеосигнала.
2. Разработано устройство измерения и индикации временных интервалов.
3. Практическая реализация измерительного стенда и подтверждение правильности выводов.

### Обзор робототехнической системы

Система состоит из камеры, позволяющей снимать более 200 кадров в секунду, направленной в рабочую область, и устройства измерения и индикации времени – секундомера, который позволяет измерять и показывать время с точностью не больше 1 мсек. Большинство устройств, имеющих в розничной продаже, решают только задачу измерения, так как имеют сравнительно большой

период обновления дисплея. Также в систему включена балка, информация о положении конца которой в разные моменты времени даст нам возможность измерить резонансную частоту.

Единственным источником данных обратной связи для оператора является система визуализации. К данной системе предъявляются высокие требования. Важным параметром

в данной системе является задержка изображения, которая, в свою очередь, определяет максимальную скорость работы и комфорт оператора.

Задержкой в системе визуализации называется время, требуемое для того, чтобы событие, которое произошло в рабочей области, было отображено на мониторе оператора (рисунок 1).

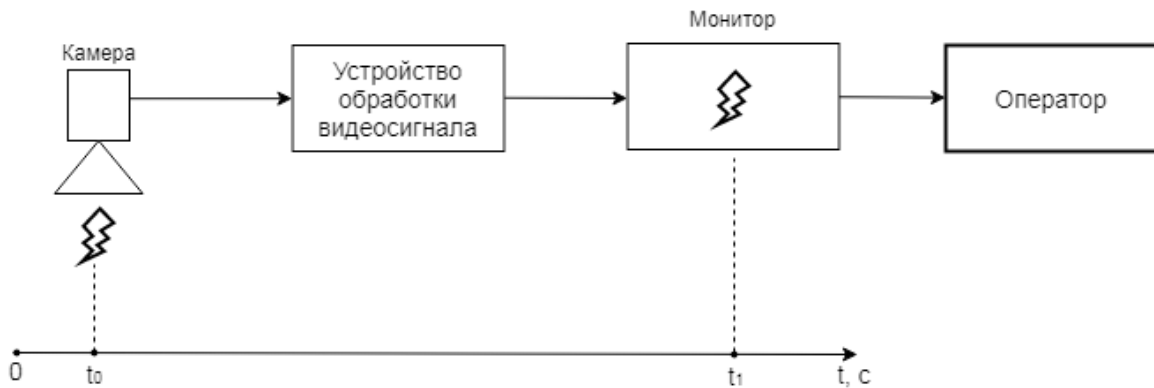


Рисунок 1. Задержка визуализации рабочей области

Расчет времени производится по формуле:

$$t_3 = t_1 - t_0 \quad (1)$$

$t_3$  – время задержки.

Так как  $t_3$  может быть различным из-за особенностей системы визуализации и погрешности измерения, для оценки качества системы визуализации по критерию задержки

$$t_{cp} = \frac{\sum_1^n t_3}{n} \quad (2)$$

видеосигнала можно провести серию измерений, в результате которой рассчитать среднее время задержки

$t_{cp}$  – среднее время задержки.

### Методика измерения

Стенд состоит из высокоскоростной камеры и высокоскоростного секундомера. При помощи камеры производится видеофиксация колебательного процесса и индикатора секундомера для последующего расчета резонансной частоты.

Имеется балка, резонансную частоту которой следует измерить. Для реализации данной задачи было принято решение собрать стенд, который состоит из видеокамеры, позволяющей снимать больше 200

кадров в секунду, очень чувствительного секундомера и балки.

Получив некий импульс, балка начинает колебаться. Высокоскоростная камера снимает балку и секундомер на фоне. В итоге мы получаем информацию о положении конца балки в разные моменты времени, что и дает нам возможность измерить резонансную частоту.

В процессе проектирования лабораторного стенда было принято решение о разработке устройства измерения и индикации времени на основе микроконтроллера Atmega2560 и дисплея на семисегментных индикаторах. Для съемки результатов измерений используется фотоаппарат с малой выдержкой. Дисплей устройства должен обладать высокой яркостью. На сегодняшний день есть два принципа управления дисплеем на основе семисегментных индикаторов: статический и динамический.

Динамическая индикация подразумевает поочередное зажигание индикаторов с частотой, не воспринимаемой человеческим глазом. Структурная схема динамической индикации показана на рисунке 2.



Рисунок 2. Структурная схема динамической индикации

Преимущества динамической индикации:

1. Объединение сегментов при подключении не требует от микроконтроллера большого количества выводов для нескольких индикаторов.

2. Динамическая индикация более энергоэффективна за счет поочередного зажигания сегментов.

3. Конструкция дает возможность отрегулировать яркость с помощью широтно-импульсной модуляции.

Недостатки:

1. Большие импульсные токи, являющиеся источником помех.

2. Усложнение программного обеспечения микроконтроллера за счет необходимости постоянного обновления экрана.

3. Из-за необходимости поочередного зажигания индикаторов возможно возникновение битых цифр при фиксации результатов измерений.

При статическом управлении разряды индикатора подключены к микроконтроллеру независимо друг от друга, и информация на них выводится постоянно. Структурная схема реализации статического управления представлена на рисунке 3.

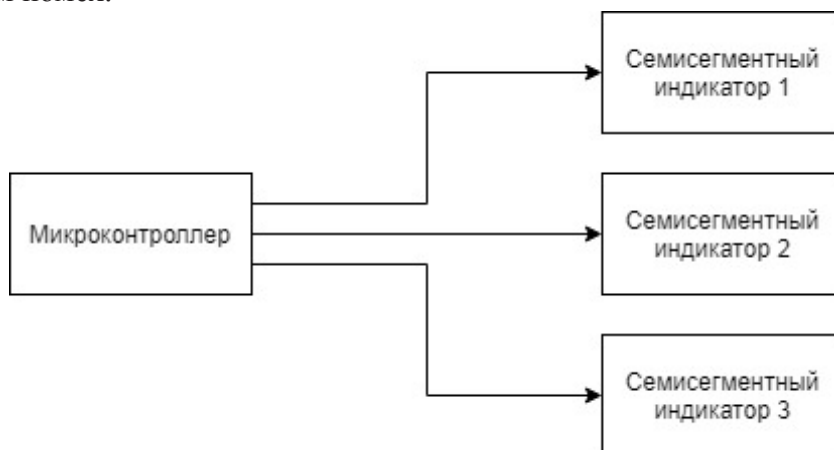


Рисунок 3. Структурная схема статической индикации

Преимущества:

1. Полное отсутствие мерцания индикаторов, информация выводится атомарно и отображается до следующего вывода.

2. Все общие аноды/катоды подключены к одной точке, что позволяет управлять общей яркостью (при наличии транзистора в цепи питания индикаторов).

Недостатки:

1. Чем больше количество индикаторов, тем выше энергопотребление.

2. Требуется большое количество выводов микроконтроллера при подключении нескольких индикаторов.

3. Большое количество токоограничивающих резисторов.

Важным критерием для стенда является мгновенное отображение всех цифр, поэтому нами был выбран статический вид управления. Остальные недостатки не имеют существенного влияния на систему.

Далее был спроектирован и собран лабораторный стенд. На рисунке 4 представлена схема электрическая принципиальная устройства измерения и индикации времени.

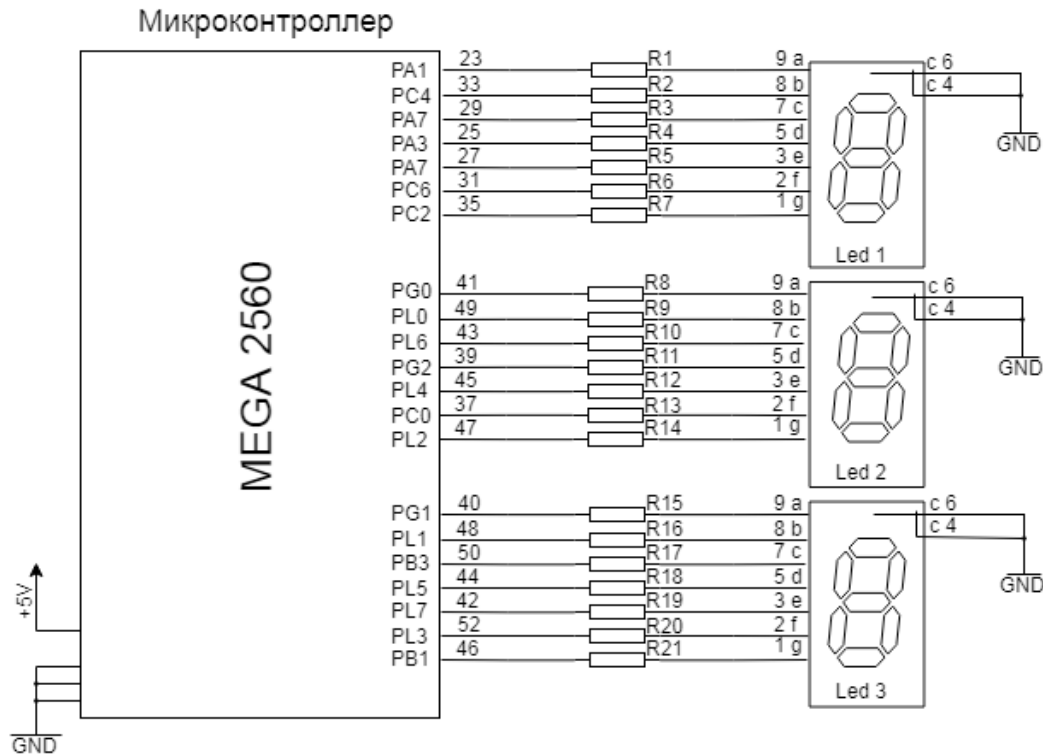


Рисунок 4. Схема электрическая принципиальная

Использовался аппаратный 16-битный счетчик для обеспечения достаточной точности измерения времени, который ведет изме-

рения независимо от выполнения программы. Блок-схема программы представлена на рисунке 5.



Рисунок 5. Блок-схема программы

### Выводы

В результате проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Разработана методика оценки систем визуализации по критерию задержки видеопотока.
2. Разработано устройство измерения и индикации временных интервалов, на основе которого собран лабораторный стенд для измерения задержки.
3. Данный стенд позволит проводить исследования допустимой задержки в робототехнических системах с помощью оператора, позволит оценивать качество системы визуализации.

**Список литературы**

1. Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Шептунов С.А. История развития роботических технологий в медицине.
2. Стюарт Р. Болл. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Додэка XXI, 2007.
3. Керниган Б.В. The C Programming Language / Д.М. Ричи. – М.: Вильямс, 2017.
4. AN4550 Application note “Getting started with STM32F373/378CC/RC/VC SDADC” Rev, 1. July 2015.
5. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev, 5 June 2016.

**References**

1. Kolontarev K.B., Pushkar D.Yu., Govorov A.V., Sheptunov S.A. The history of the development of robotic technology in medicine.
2. Stewart R. Bol. Analog Interfaces of Microcontrollers. – Moscow: Dodeka XXI Publishing House, 2007.
3. Kernighan B.V. The C Programming Language / D.M. Richie. – Moscow: Williams Publishing House, 2017.
4. AN4550 Application note “Getting started with STM32F373 / 378CC / RC / VC SDADC” Rev, 1. July 2015.
5. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev, 5 June 2016.



**Закиров Р. И.**  
**Zakirov R.I.**

аспирант Института  
конструкторско-технологической информатики  
Российской академии наук,  
Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шептунов С. А.**  
**Sheptunov S. A.**

доктор технических наук, профессор,  
директор Института конструкторско-технологической информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шевхужев А. О.**  
**Shevhuzhev A. O.**

аспирант, младший научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 616.315

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-37-42

## ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Нарушение функциональности отдельных систем организма, одним из которых является проблема с движением верхних конечностей, может быть последствием различных травм или болезней, например, инсульта. Для возвращения их подвижности часто важным является своевременное применение мероприятий для реабилитации, длительность которых в тяжелых случаях достигает нескольких лет. В настоящее время широко используются роботизированные комплексы, направленные на восстановление моторики за счет выполнения активных либо пассивных динамических упражнений.

Проведен краткий обзор современных систем, используемых для реабилитации. Роботизированные устройства кроме эффективного выполнения традиционных технологий позволяют создавать новые механотерапевтические технологии. Уточнены и сформированы требования по функциональным возможностям роботизированных устройств.

Устройством, позволяющим быть максимально полезным и удобным для различного рода реабилитационных упражнений, является дельта-робот. Основная идея заключается в использовании принципов параллелограммов для создания параллельного робота с тремя поступательными и одной вращательной степенью свободы. Такая механика позволяет сохранять ориентацию в пространстве у исполнительного устройства робота.

В нашем конкретном случае предлагается в качестве рабочего органа использовать устройство захвата пальцев пациента. Крепится он в центре нижней платформы, которая всегда остается параллельной верхнему основанию. Управление платформой осуществляется регулировкой углов поворота верхних рычагов относительно основания робота при помощи двигателей. Благодаря такой конструкции становятся возможны следующие движения пациента:

- отведение и приведение кисти по отношению к лучезапястному суставу;
- сведение/разведение пальцев;
- сжатие кисти в кулак;
- приподнимание и опускание пальцев руки;
- движение руки вперед-назад.

Можно выделить основные преимущества, которые мы достигнем, взяв за главную идею использование дельта-робота в качестве основы для инструмента реабилитации. Это в первую очередь высокоинтенсивная двигательная терапия верхних конечностей, пациент сможет совершать самостоятельные, активные, повторяемые движения в трехмерном пространстве. Благодаря простоте использования и универсальности устройство просто адаптируется для каждого конкретного пациента, оно будет компактным и удобным, мобильным и портативным.

**Ключевые слова:** роботизация, комплексы, реабилитация, дельта-робот, рабочий орган, захват, технологии.

## REVIEW OF EXISTING ROBOTIC REHABILITATION SYSTEMS

Violation of the functionality of individual systems of the body, one of which is a problem with the movement of the upper limbs, can be a consequence of various injuries or diseases, such as stroke. In order to regain their mobility, it is often important to timely apply measures for rehabilitation, the duration of which in severe cases reaches several years. Nowadays, robotized complexes aimed at restoring motility by performing active or passive dynamic exercises are widely used.

A brief review of modern systems used for rehabilitation has been carried out. In addition to the effective implementation of traditional technologies, robotic devices make it possible to create new mechanotherapeutic technologies. Clarified and formed the requirements for the functionality of robotic devices.

A device that allows you to be as useful and convenient for various kinds of rehabilitation exercises, is a delta robot. The basic idea is to use the principles of parallelograms to create a parallel robot with three translational and one rotational degree of freedom. This mechanic allows you to maintain orientation in space at the executive device of the robot.

In our particular case, it is proposed as a working body to use the device for gripping the patient's fingers. It is fixed in the center of the lower platform, which always remains parallel to the upper base. The platform is controlled by adjusting the angle of rotation of the upper arms relative to the base of the robot using engines. Thanks to this design, the following patient movements are possible:

- Abduction and adduction of the hand in relation to the wrist joint;
- Joining / breeding fingers;
- Squeezing the brush into a fist;
- Raising and lowering fingers;
- Move your hand back and forth.

We can single out the main advantages that we will achieve by taking the main idea of using a delta robot as the basis for a rehabilitation tool. This is primarily a high-intensity motor therapy of the upper extremities, the patient will be able to make independent, active, repetitive movements in three-dimensional space. Thanks to its ease of use and versatility, the device simply adapts to each individual patient, it will be compact and convenient, mobile and portable.

**Key words:** robotization, complexes, rehabilitation, delta-robot, capture, technology.

Нарушение функциональности отдельных систем организма, одним из которых является проблема с движением верхних конечностей, может быть последствием различных травм или болезней, например, инсульта. Для возвращения их подвижности часто важным является своевременное применение мероприятий для реабилитации, длительность которых в тяжелых случаях достигает нескольких лет. В настоящее время широко

используются роботизированные комплексы, направленные на восстановление моторики за счет выполнения активных либо пассивных динамических упражнений.

В современной терапии широкое распространение получила группа методов, направленных на непрерывное пассивное движение (continuous passive motion). В рамках индивидуальной программы реабилитации производится пассивное движение в суставе, которое

и обуславливает эффективность воздействия. Пассивные упражнения выполняются с посторонней помощью, когда пациент не в состоянии двигаться самостоятельно или когда произвольная мышечная активность может повредить заживлению. Данные упражнения уменьшают вредные последствия неподвижности и используются для поддержания объема движений, но не предотвращают мышечной атрофии, не увеличивают мышечной силы или выносливости и не улучшают кровоснабжение мышц в такой степени, как активные упражнения, которые выполняются за счет произвольного сокращения мышц. Свободные упражнения выполняются в пределах амплитуды движений, увеличение которой может происходить за счет прикладываемых пациентом усилий во время растягивающих упражнений. Принято считать, что при сочетании произвольного мышечного сокращения с внешней силой для завершения движения в пределах нормального объема выполняются активно-пассивные упражнения. Используются такого рода упражнения в случаях, когда сохраняется достаточная активность сокращения мышц травмированной конечности и отсутствуют противопоказания для произвольных мышеч-

ных сокращений. Особую пользу упражнения приносят на ранних этапах медицинской реабилитации либо при профилактике вредных последствий неподвижности и поддержания сократимости мышц.

Проведем краткий обзор современных систем, используемых для реабилитации.

Artromot-F (компания DJO Global, США) – механотерапевтический прибор для разработки суставов кисти, используемый для раннего и безболезненного восстановления подвижности всех суставов кисти, а также для предотвращения связанных с длительным бездействием кисти осложнений. Применяется при контрактурах различного происхождения, при ограничении подвижности в суставе после инсультов, также после различных травм кистей.

Artromot-H – прибор, разрабатывающий лучезапястный состав с ручным программным пультом, основное предназначение которого практически совпадает с предыдущим аппаратом. Благодаря ему происходит скорейшее восстановление хрящевых зон и поврежденных связок запястья, ускоряется рассасывание гематом, а также улучшается кровообращение и лимфоток.

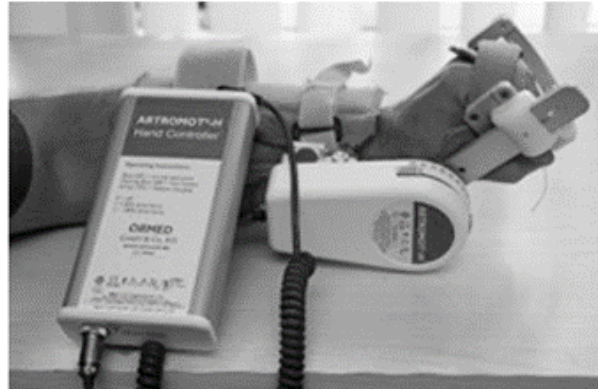


Рисунок 1. Artromot-F (слева) и Artromot-H (справа)

MediTouchLtd (Израиль) специализируется на производстве систем реабилитации, которые в основном состоят из устройств захвата движения. Для восстановления двигательной функции верхних и нижних конечностей при помощи метода обратной биологической связи предлагается комплексная система Tutor. Она состоит из 4 устройств (HandTutor, ArmTutor, LegTutor, 3D-Tutor) и управляющего всем комплексом программ-

ного обеспечения, которым можно регулировать необходимые характеристики.

Компания Носома (Armeo, Швейцария) предлагает тренажер, позволяющий задействовать всю руку от плеча до пальцев, для робот-ассистированной реабилитации верхних конечностей с персональной настройкой аппаратуры и контролем хода всего лечения. Программы мотивации в 3D увлекают и мотивируют пациента производить действия



руками, которые имитируются адекватной моделью в системе. Амплитуда сгибания и разгибания конечностей или отдельных ее частей фиксируется в самом тренажере, что

дает возможность врачу оценить эффективность назначенной терапии в рамках робот-ассистированной реабилитации. Armeo представляет три комплекса:



**Рисунок 2.** ArmeoPower (слева), ArmeoSpring, ArmeoSenso (справа)

ArmeoPower – роботизированный реабилитационный комплекс, представляющий собой ортез для верхней конечности, который предназначен для пациентов с острыми двигательными нарушениями. Применяются интерактивные упражнения для настройки методики восстановления, в которых можно комфортно настраивать высоту и вес, создавая поддержку руке в пространстве, что является важным для пациентов разного роста с различным размером руки. Воспроизводится движение во всех суставах за счет точной корректировки положения плечевого сустава системой позиционирования.

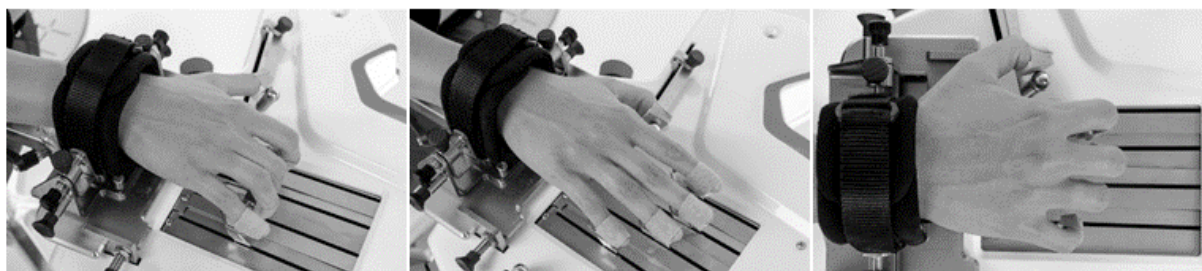
ArmeoSpring — это эргономичный ортез, крепящийся на руку, с интегрированной системой поддержки веса, который позволяет пациенту даже с небольшими остаточными функциональными возможностями выполнять тренировочные задачи в режиме 3D-симуляции реальных жизненных ситуаций, что ведет к предотвращению неблагоприятных эффектов от вынужденной иммобилизации конечности.

ArmeoSenso – реабилитационный комплекс для функциональной терапии верхних конечностей с расширенной обратной связью, предназначенный для пациентов с умеренными нарушениями функций верхних конеч-

ностей, позволяет увеличивать объем и качество упражнений и следить за компенсаторными движениями туловища.

Diego позволяет производить объективную оценку объема движений и предназначен для пациентов с моторными дисфункциями верхних конечностей, для реабилитации плечевого и локтевого суставов. Позволяет проводить эффективную терапию одной или двух конечностей одновременно с использованием активных и пассивных тренировок, а также обладает функцией активной разгрузки веса и программным обеспечением с мотивационным пакетом.

Amadeo (Бека РУС, Россия) – роботизированный тренажер для развития мелкой моторики, применяемый для восстановления пациентов с нарушениями дистальных отделов верхних конечностей. Выделяется аппарат тем, что позволяет восстанавливать активные движения пальцев в активном либо пассивном режиме работы. При выполнении упражнений производится объективная оценка изометрической силы, объема движений, наличия спазмов, настройка индивидуальных особенностей в зависимости от возможностей пациента, что позволяет оценивать прогресс проводимого лечения.



**Рисунок 3.** Роботизированный тренажер Amadeo

Для коррекции нарушений крупной и мелкой моторики мышц верхней конечности используется аппарат Pablo. Записывается любое движение и используется в качестве контроллера мотивирующих игровых приложений, а также проводится тренировка сложных комплексных движений руки с включением двух и более суставов. Также система используется для тренировки мелкой моторики кисти с использованием БОС и игровых приложений. К ним относятся цилиндрический и плоскостной захват, сжатие и разжимание кисти, межпальцевые и шипковые захваты. Тренировки направлены на увеличение объема, скорости и координации движений.

MYRO представляет собой интерактивный стол для терапии, который может быть использован для целенаправленной реабилитации для улучшения когнитивных способностей пациента или двигательных функций верхних конечностей. Интерактивность заключается в том, что упражнения можно дополнить захватом реальных объектов, таких как ручка, монета или шарик для улучшения мелкой моторики.

Роботизированные устройства кроме эффективного выполнения традиционных технологий позволяют создавать новые механотерапевтические технологии. Уточним и сформируем требования по функциональным возможностям роботизированных устройств.

**Таблица 1.** Требования к роботизированному устройству

Суставы	Виды движений	Угол отработки, град.		Развиваемое усилие, Н		Длина плеча L, м		Кол-во степеней свободы траектории движения
		min	max	min	max	min	max	
Плечевой	Отведение	0	210	0	250	0,2	1,5	6
	Сгибание	0	210					
	Разгибание	0	90					
	Ротация	0	270					
Локтевой	Сгибание	0	180	0	150	0,1	0,7	
	Разгибание							
Луче-запястный	Сгибание	0	210	0	50	0,01	0,25	
	Разгибание							
	Ротация	0	210	0	50			

У всех перечисленных конструкций имеется один из главных недостатков в виде ограниченного количества степеней свободы, либо же их увеличение за счет создания огромных комплексов, состоящих из нескольких устройств. Решение этой проблемы заключается в использовании универсального устройства, которое позволяло бы разрабатывать различные суставы, применялось бы для разнообразных упражнений, направленных как на изолирующие, так и на многосуставные упражнения, что, несомненно, приводило бы к улучшению эффективности и уменьшению сроков восстановления.

Кроме того, использование лишь одного устройства будет экономически выгодно в связи с вышеуказанными причинами.

Устройством, позволяющим быть максимально полезным и удобным для различного рода реабилитационных упражнений, является дельта-робот. Основная идея заключается в использовании принципов параллелограммов для создания параллельного робота с тремя поступательными и одной вращательной степенью свободы. Такая механика позволяет сохранять ориентацию в пространстве у исполнительного устройства робота.

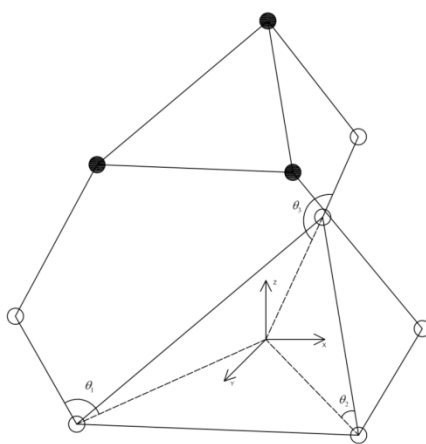


Рисунок 4. Общий вид дельта-робота

В нашем конкретном случае предлагается в качестве рабочего органа использовать устройство захвата пальцев пациента. Крепится он в центре нижней платформы, которая всегда остается параллельной верхнему основанию. Управление платформой осуществляется регулировкой углов поворота верхних рычагов относительно основания робота при помощи двигателей. Благодаря такой конструкции становятся возможны следующие движения пациента:

- отведение и приведение кисти по отношению к лучезапястному суставу;
- сведение/разведение пальцев;
- сжатие кисти в кулак;
- приподнимание и опускание пальцев руки;
- движение руки вперед-назад.

Можно выделить основные преимущества, которые мы достигнем, взяв за главную идею использование дельта-робота в качестве основы для инструмента реабилитации. Это, в первую очередь, высокоинтенсивная двигательная терапия верхних конечностей, пациент сможет совершать самостоятельные, активные, повторяемые движения в трехмерном пространстве. Благодаря простоте использования и универсальности устройство просто адаптируется для каждого конкретного пациента, оно будет компактным и удобным, мобильным и портативным.

#### Список литературы

1. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.
2. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – № 2. – С. 84-88.

3. Сырямкин В.И. Робототехнические и мехатронные системы. – М.: Ленинград, 2014. – 188 с.

4. ГОСТ Р 60.0.0.2-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Классификация».

5. Фролов А.А., Козловская И.Б., Бирюкова Е.В., Бобров П.Д. Роботизированные устройства в реабилитации после инсульта // Журнал высшей нервной деятельности. – 2017. - № 4.

6. ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация».

7. ГОСТ Р 60.0.7.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Методы программирования и взаимодействия с оператором».

#### References

1. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robots. – М.: Publishing House of Moscow State Technical University im. N.E. Bauman, 2004. – 480 p.

2. Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A. and other. Manipulation mechanisms of parallel structure and some of their applications in medicine – Quality. Innovation. Education. – 2016. - № 2. – p. 84-88.

3. Syryamkin V.I. Robotic and mechatronic systems. – М.: Leningrad, 2014. – 188 с.

4. GOST R 60.0.0.2-2016 Robots and robotic devices. Classification.

5. Frolov A.A., Kozlovskaya I.B., Biryukova E.V., Bobrov P.D. Robotic devices in rehabilitation after a stroke // Journal of Higher Nervous Activity. – 2017. - № 4.

6. GOST 25685-83 “Industrial robots. Classification”.

7. GOST R 60.0.7.1-2016 «Robots and robotic devices. Methods of programming and interaction with the operator».



**Четвертаков А.А.**  
**Chetvertakov A.A.**

магистрант Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шаваев А.А.**  
**Shavaev A.A.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Кулиев Р.И.**  
**Kuliev R.I.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 621.396

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-43-47

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ АЭРОФОБИИ

В данной статье рассмотрена система управления комплексом, осуществляющим моделирование полета в салоне самолета. Рассмотрены принципы ручного и автоматического управления с обратной связью, в качестве которой использована система инерциальной навигации.

Объектом исследования является комплекс моделирования процессов полета пассажирского воздушного судна. Предметом исследования является система автоматического управления комплексом.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки универсальной системы числового программного управления (ЧПУ) с возможностью подключения различных видов датчиков обратной связи и интерфейсом прикладного программирования.

Целью данной работы является внедрение в систему ЧПУ комплекса системы автоматического управления (САУ), реализующую необходимые технические требования.

Выдвинуты следующие требования для разработки САУ:

1. Обеспечение ручного пропорционального управления сервоприводами.
2. Запись программ движения в режиме реального времени.
3. Воспроизведение программ движения в автоматическом режиме с помощью пульта дистанционного управления (ПДУ).
4. Отработка ограничений для корректной и безопасной работы комплекса.
5. Наличие интерфейса прикладного программирования.

В систему ЧПУ была внедрена система автоматического управления. Реализовано ручное пропорциональное управление с помощью пульта дистанционного устройства. Реализовано автоматическое управление путем записи команд ручного управления в режиме реального времени и дальнейшего их воспроизведения на комплексе. Данная разработка может быть внедрена в любые подобные комплексы, в которых управление двигателями осуществляется посредством интерфейса STEP/DIR и требуется наличие обратной связи для позиционирования механизмов и иных нужд, с минимальными изменениями, что делает систему ЧПУ универсальной и подготовленной для широкого применения.

**Ключевые слова:** система автоматического управления, система инерциальной навигации, обратная связь.

## CONTROL SYSTEM OF THE COMPLEX FOR THE AEROPHOBIA THERAPY

In this article the control system of the complex which is carrying out modeling of flight in a cabin is considered. The principles of manual and automatic control with feedback as which the system of inertial navigation is used are considered. An object of a research is the complex of modeling of processes of flight of the passenger aircraft. An object of research is the automatic control system of a complex.

The relevance of work is caused by need of development of universal computer numerical control system (CNC) with a possibility of connection of different types of sensors of feedback and the application programming interface.

The purpose of this work is introduction in the CNC system of a complex of the automatic control system (ACS) realizing necessary technical requirements.

The following demands for development of ACS are made:

1. Ensuring manual proportional control with servo-drivers.
2. Record of programs of the movement in real time.
3. Reproduction of programs of the movement in the automatic mode by means of the remote control (RC).
4. Working off of restrictions for correct and safe work of a complex.
5. Existence of the application programming interface.

In the CNC system the system of automatic control was introduced. Manual proportional control by means of the panel of the remote device is realized. Automatic control by record of teams of manual control in real time and their further reproduction on a complex is realized. This development can be introduced in any similar complexes in which control of engines is exercised by means of the STEP/DIR interface and existence of feedback for positioning of mechanisms and other needs, with the minimum changes is required that does the CNC system universal and prepared for broad application.

**Key words:** automatic control system, inertial navigation system, feedback.

### Введение

Объектом исследования является комплекс моделирования процессов полета пассажирского воздушного судна. Предметом исследования является система автоматического управления комплексом.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки универсальной системы числового программного управления (ЧПУ) с возможностью подключения различных видов датчиков обратной связи и интерфейсом прикладного программирования.

Целью данной работы является внедрение в систему ЧПУ комплекса системы автоматического управления (САУ), реализующей необходимые технические требования.

Выдвинуты следующие требования для разработки САУ:

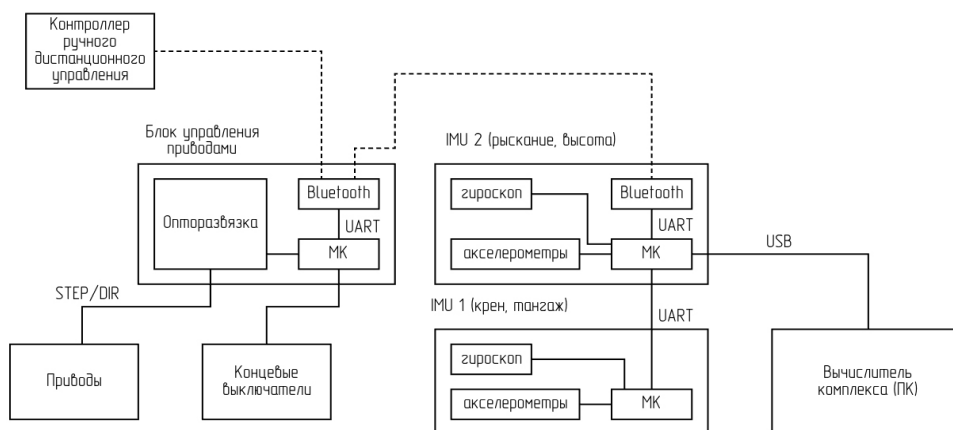
1. Обеспечение ручного пропорционального управления сервоприводами.
2. Запись программ движения в режиме реального времени.

3. Воспроизведение программ движения в автоматическом режиме с помощью пульта дистанционного управления (ПДУ).

4. Отработка ограничений для корректной и безопасной работы комплекса.

5. Наличие интерфейса прикладного программирования.

За основу разработки был взят комплекс моделирования полетов, который представляет из себя карданный подвес, закрепленный на салазках, салазки в свою очередь подвешены за трос лебедки к несущей части конструкции сверху. Внутри карданного подвеса закреплена кабина, на корпусе которой закреплена система инерциальной навигации. В комплекс установлена система ЧПУ, которая имеет в своем составе вычислитель, построенный на основе микроконтроллера STM32F407 от компании STMicroelectronics. На рисунке 1 представлена структура комплекса.



**Рисунок 1.** Структура комплекса

Применение системы автоматического управления с обратной связью в виде системы инерциальной навигации обусловлено следующими факторами:

1.Связи, которые генерирует датчик угла поворота сервопривода, установленный на выходном валу серводвигателя, люфты карданного подвеса и высокая инертность кабины не позволят точно позиционировать ее, используя ОС сервоприводов.

2.Передача сигнала датчика угла поворота сервопривода на вычислитель системы ЧПУ комплекса связана со схемотехническими трудностями. Высокочастотные сигналы требовательны к качеству соединительного кабеля, к его длине, а также наличию экранирования. Схемотехника приемника сигналов

подразумевает собой наличие высокочастотных дорогостоящих драйверов.

**Ручное пропорциональное управление**

Система ЧПУ имеет в своем распоряжении устройство дистанционного управления. Устройство представляет собой модельный пульт, работающий по интерфейсу Bluetooth. Пульт оснащен двумя джойстиками, каждый из которых может совершать угловые перемещения по двум осям. На каждой из осей расположены потенциометры, которые подключены к аналоговому входу вычислителя пульта, где оцифровываются и передаются по интерфейсу Bluetooth в вычислитель системы ЧПУ. Структура протокола передачи данных по интерфейсу представлена на рисунке 2.

		1	2	3	4	5		
Начало пакета	Начало пакета	Тип передатчика	Канал 0, старший байт	Канал 0, младший байт	Канал 1, старший байт	Канал 1, младший байт		
0x7E	0x7E	0xFF - пульт 0x0F - ПК	0x00	0x00	0x00	0x00		
		6	7	8	9	10	11	12
Канал 2, старший байт	Канал 2, младший байт	Канал 3, старший байт	Канал 3, младший байт	Состояние триггера	Номер программы	Действие над программой		
0x00	0x00	0x00	0x00	0x00 - pressed 0x01 - default	0x0F - номер 0x00 - ручной режим	0x00 - play 0x01 - record 0xFF - нет действия		
		13	14	15	16	17		
		0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	Конец пакета	Конец пакета
						0x03		0x03

**Рисунок 2.** Структура протокола

Протокол STEP/DIR для управления сервоприводами оперирует сигналами STEP-шаг и DIR-направление. В зависимости от количества шагов серводвигатель совершает перемещения, пропорциональные количеству этих шагов. Скорость вращения двигателя определяется частотой следования шагов в протоколе. При подключении к системе пульта дистанционного управления возникает проблема преобразования аналогового сигнала с потенциометров в протокол STEP/DIR.

Проблема сообщения направления была решена следующим образом: джойстики подпружинены и работают от нейтрального, среднего положения, а значит и потенциометры, установленные на них в нейтральном положении, имеют среднее положение движка. Каждый потенциометр был разделен на три зоны: зона положительного направления движения, зона отрицательного направления движения, мертвая зона. Мертвая зона расположена вблизи среднего положения движка, в которой вычислитель ЧПУ не реа-

гирует на изменение положение джойстика. Мертвая зона необходима для того, чтобы исключить ложные срабатывания системы ЧПУ при возврате подпружиненного джойстика в нейтральное положение. Зона положительного направления движения – зона, в которой сигнал DIR имеет знак, соответствующий повороту серводвигателя по часовой стрелке. Зона отрицательного направления движения – зона, в которой сигнал DIR имеет знак, соответствующий повороту серводвигателя против часовой стрелки.

Проблема измерения количества шагов была решена путем считывания положения джойстика в зоне положительного (отрицательного) направления движения. Данные зоны имеют линейный характер, причем большему отклонению джойстика соответствует большее значение, получаемое вычислителем ЧПУ с учетом переводного коэффициента. Таким образом, отклонение джойстика – это скорость поворота серводвигателей.

### **Ограничение перемещений**

В ходе тестовых испытаний ручного управления было выяснено, что подвижные части установки при введении их в определенные положения соударяются с неподвижными ее частями, а также с поверхностью пола. Во избежание поломок частей и узлов комплекса при управлении им технически неподготовленным персоналом, а также для обеспечения безопасности проведения процедуры симуляции, в систему управления были введены ограничения углов и линейных перемещений комплекса.

1. Ограничения по вертикальным перемещениям.

Вертикальные перемещения кабины ограничены двумя концевыми выключателями.

Местоположение кабины при ее нахождении на полу фиксируется нижним концевым выключателем. Для предотвращения разматывания троса лебедки при нажатом нижнем выключателе система управления разрешает сервоприводу вращаться в сторону заматывания троса.

Для осуществления угловых перемещений карданного подвеса в полном заданном диапазоне с учетом запаса на вертикальные перемещения для воссоздания перегрузки, была выбрана рабочая высота симуляции. На данной высоте был установлен верхний кон-

цевой выключатель, который служит триггером для включения полного диапазона угловых перемещений.

2. Ограничения по углам крена и тангажа.

Система инерциальной навигации фиксирует положение кабины в пространстве. Были заданы максимальные углы крена и тангажа, на которые кабина может отклоняться. Данные углы отрабатываются только на рабочей высоте симуляции. Если высота подъема комплекса ниже рабочей, углы крена и тангажа являются функцией промежуточной высоты подъема.

3. Ограничение по углу рысканья.

На валу, осуществляющем вращения по углам рысканья был установлен магнетометр. В зоне нейтрального положения, вблизи прохождения сенсора магнитометра, на условно неподвижных салазках был установлен постоянный магнит. При приближении магнита к сенсору, последний посылает сигнал системе управления о достижении нейтрального угла по заданной оси. Ограничения по данному углу разрешены и максимальны на всем диапазоне высот, поворот вокруг оси рысканья запрещен лишь в случае получения сигнала с нижнего концевого выключателя, то есть при нахождении кабины на поверхности пола.

### **Тормозная система**

Каждый сервопривод оснащен электромагнитным тормозом, который разрешает поворот вала при подаче на катушку управляющего напряжения. При успешном подключении пульта дистанционного управления к системе ЧПУ тормозную систему возможно отключить при помощи подпружиненного тумблера. При внезапном отключении электропитания тормозная система будет автоматически включена, что позволит избежать неконтролируемого перемещения частей комплекса.

### **Запись программ движения**

Для реализации задачи записи программ в режиме реального времени в системе ЧПУ комплекса установлено постоянное запоминающее устройство. ПЗУ представляет из себя SD-карту, которая с помощью адаптера подключена к основной плате системы ЧПУ. При заполнении памяти SD-карта может быть заменена на другую. На пульте дистанционного управления был предусмотрен

пользовательский интерфейс, включающий в себя жидкокристаллический дисплей и три тактовые кнопки управления. Две кнопки отвечают за перемещение по меню, одна – за выбор соответствующего действия. На дисплее отображается меню, в котором списком представлены 256 слотов, в которые можно записать необходимую программу движения.

Запись программ происходит следующим образом: с помощью кнопок выбора определяется необходимый слот, с помощью кнопки «Ввод» производится вход в подменю соответствующего слота. В подменю выбирается команда «Запись». Команда при этом начинает подсвечиваться на дисплее.

### Воспроизведение программ

Воспроизведение программ осуществляется двумя способами:

#### 1. С помощью ПДУ

Данный способ необходим для дистанционного запуска программы на безопасном от комплекса расстоянии для проверки правильности записанной программы, а также для запуска симуляции без использования системы дополненной реальности.

Воспроизведение осуществляется путем выбора соответствующей программы в меню ПДУ и ее последующего запуска кнопкой прикладного интерфейса пульта в подменю выбранной программы.

#### 2. С помощью персонального компьютера.

Данный режим предназначен для работы в связке с системой дополненной реальности, включающей в себя аудио- и видеосопровождение симуляции полета.

Воспроизведение программы осуществляется в графическом интерфейсе системы дополненной реальности (СДР). Номера и названия программ в интерфейсе ПДУ и в графическом интерфейсе СДР совпадают. Необходимая программа выбирается с помощью клавиатуры и запускается нажатием клавиши «Запуск симуляции».

### Вывод

В систему ЧПУ была внедрена система автоматического управления. Реализовано ручное пропорциональное управление с помощью пульта дистанционного устройства. Реализовано автоматическое управление путем записи команд ручного управления в режиме реального времени и дальнейшего их воспроизведения на комплексе. Данная

разработка может быть внедрена в любые подобные комплексы, в которых управление двигателями осуществляется посредством интерфейса STEP/DIR, и требуется наличие обратной связи для позиционирования механизмов и иных нужд с минимальными изменениями, что делает систему ЧПУ универсальной и подготовленной для широкого применения.

### Список литературы

1. Операционная инструкция MINAS A5 [Электронный ресурс] // URL: [https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2\\_manu\\_e.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2_manu_e.pdf)
2. Бесекаерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – Издание третье, исправл. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975.
3. Справочное руководство к STM32f4 [Электронный ресурс] // URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f407-417.html>
4. Руководство пользователя Bluetooth-модуля HC-05 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.electronicastudio.com/docs/istd016A.pdf>
5. Власов К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета: учебное пособие. – Харьков: Гуман. Центр, 2013. – 544 с.

### References

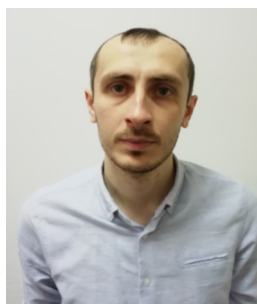
1. Operating instruction MINAS A5 [Electronic resource] // URL: [https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2\\_manu\\_e.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2_manu_e.pdf)
2. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. - Third edition, corrected. - M.: Science, the Main edition of the physical and mathematical literature, 1975.
3. STM32f4 Reference Manual [Electronic resource] // URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f407-417.html>
4. User's Guide for the Bluetooth module HC-05 [Electronic resource] // URL: <http://www.electronicastudio.com/docs/istd016A.pdf>
5. Vlasov K.P. The theory of automatic control. The main provisions. Examples of calculation: a textbook. - Kharkov: Human. Center, 2013. - 544 p.





**Санников А.С.**  
**Sannikov A.S.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Нахушев Р.С.**  
**Nakhushev R.S.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Глашев Р. М.**  
**Glashev R.M.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 004.891.2

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-48-53

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ НЕЙРОСЕТИ ИЗ ВИДЕОЗАПИСЕЙ**

В данной статье описывается структура программного обеспечения для автоматизации и распределения задачи формирования обучающей выборки для нейросети. Обоснована необходимость разработки программного обеспечения, предложен принцип работы. Описан вариант реализации программного обеспечения для задачи нейросетевого распознавания медицинских изображений. Объектом исследования является процесс формирования обучающей выборки для искусственной нейронной сети. Предметом исследования является программное обеспечение, позволяющее частично автоматизировать и распределить среди нескольких специалистов процесс формирования обучающей выборки. Целью данного исследования является разработка программного обеспечения, позволяющего осуществлять распределенную между специалистами обработку видеозаписей и централизованное хранение результатов.

Описываемое программное обеспечение было разработано в рамках проекта нейросетевого распознавания изображений внутренних органов. Процесс обучения нейросети легко поддается разложению на несколько параллельных потоков, что позволяет использовать большое количество специалистов, не отнимая у каждого из них существенного количества времени. Программное обеспечение выполнено в виде системы клиент – сервер. Преимуществами такого решения является простота разработки и очевидный способ централизованного хранения результатов. Существенным недостатком является отказ всей системы при нештатной ситуации на серверном модуле. Так как разрабатываемое программное обеспечение не является высоконагруженным приложением, был выбран вариант централизованной структуры. Для разработки программного обеспечения был выбран язык программирования C++ с использованием фреймворка Qt5. C++ – компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения. Было разработано программное обеспечение для автоматизации и разделения труда при ручной обработке видеозаписей с целью создания обучающей выборки для нейросети. Данное программное

обеспечение было использовано при формировании обучающей выборки для нейросети, решающей задачу распознавания внутренних органов. В качестве входных данных были использованы видеозаписи реальных операций. Результатом работы стало программное обеспечение, позволяющее организовать и разделить процесс ручного распознавания данных.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, распознавание изображений, обучающая выборка, программное обеспечение.

## TRAINING SAMPLE FROM VIDEO RECORDS FORMATION FOR NEURAL NETWORK AUTOMATION AND DISTRIBUTION SOFTWARE

This article describes the structure of software for automating and distributing the task of forming a training set for a neural network. The necessity of software development is grounded, the principle of work is proposed. A software implementation variant for the task of neural network recognition of medical images is described. The object of the research is the process of forming a training sample for an artificial neural network. The subject of study is software that allows to partially automate and distribute among several specialists the process of forming a training sample. The purpose of this study is to develop software that allows distributed processing of video recordings among specialists and centralized saving of results. The described software was developed as part of the neural network image recognition project for internal organs. The process of learning non-networks is easy to decompose into several parallel streams, which allows the use of a large number of specialists without taking a significant amount of time from each of them. The software is implemented as a client-server system. The advantages of this solution are simplicity of development and an obvious way of centralized preservation of results. A significant drawback is the failure of the entire system in the event of an emergency situation on the server module. Since the software being developed is not a high-load application, the option of a centralized structure was chosen. For software development, a C++ programming language was chosen using the Qt5 framework. C++ is a compiled, statically typed general-purpose programming language. Software was developed for the automation and division of labor in the manual processing of video recordings in order to create a training sample for the neural network. This software was used in the formation of a training set for a neural network that solves the problem of recognition of internal organs. As input data videotapes of real operations were used. The result of the work was software that allows you to organize and separate the process of manual data recognition.

**Key words:** artificial neural network, image recognition, training samples, software.

### Введение

В настоящее время нейронные сети часто используются для задач распознавания изображений. Это обусловлено сложностью формализации задач распознавания изображений в связи с большим количеством разнообразных признаков.

Алгоритмы, основанные на нейросетях, не требуют от разработчика выделения конкретных признаков объектов распознавания, но нуждаются в обучении. Процесс обучения нейросети – формирование весовых коэффициентов на известном наборе данных, который называют обучающей выборкой.

Объектом исследования является процесс формирования обучающей выборки для искусственной нейронной сети. Предметом

исследования является программное обеспечение, позволяющее частично автоматизировать и распределить среди нескольких специалистов процесс формирования обучающей выборки.

Точность работы нейросетевого алгоритма сильно зависит от качества обучающей выборки, так как на ее основе происходит выделение признаков объектов распознавания. Существует возможность формирования обучающей выборки на основе видеозаписей. Актуальность темы обусловлена сложностью процесса формирования обучающей выборки на основе видеозаписей несколькими специалистами.

Целью данного исследования является разработка программного обеспечения,

позволяющего осуществлять распределенную между специалистами обработку видеозаписей и централизованное хранение результатов.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

- 1) определение алгоритма работы специалиста над одним образцом обучающей выборки;
- 2) разработка структуры программного обеспечения;
- 3) разработка алгоритма работы серверного модуля;
- 4) разработка алгоритма работы и пользовательского интерфейса клиентского модуля

### Структура программного обеспечения

Описываемое программное обеспечение было разработано в рамках проекта нейросетевого распознавания изображений внутренних органов. Возникла необходимость в качественной обучающей выборке, каждый объект которой содержит в кадре как минимум один внутренний орган. В свободном доступе в глобальной сети интернет имеется большое количество видеозаписей лапаро-

скопических операций, которые возможно использовать для формирования обучающей выборки. Но эти записи требуют предварительной обработки врачом. Алгоритм обработки выглядит следующим образом:

- 1) найти момент, при котором в кадре имеется внутренний орган;
- 2) сохранить кадр;
- 3) сделать запись о количестве и расположении внутреннего органа на кадре.

Процесс обработки видеозаписи прост, но занимает существенное время. Поскольку от качества и размера обучающей выборки зависит качество обучения нейросети, было принято решение частично автоматизировать процесс обработки видеозаписей. Также процесс обработки легко поддается разложению на несколько параллельных потоков, что позволяет использовать большое количество специалистов, не отнимая у каждого из них существенного количества времени.

В связи с вышеизложенными тезисами была предложена структурная схема разрабатываемого программного обеспечения (рисунок 1).



Рисунок 1. Структурная схема

Программное обеспечение выполнено в виде системы клиент – сервер. Преимуществами такого решения является простота разработки и очевидный способ централизованного хранения результатов. Слабое звено программы – отказ всей системы при нештатной ситуации на серверном модуле. Поскольку разрабатываемое программное обеспечение не является высоконагруженным приложением, был выбран вариант централизованной структуры.

#### Алгоритм работы серверного модуля

Администратор системы загружает видеозаписи, подлежащие обработке, на сервер-

ный модуль. В процессе работы специалист получает изображение, которое является стоп-кадром из видео операции. Он должен отметить, какие внутренние органы есть в кадре, и их примерные границы. Если в данном кадре нет внутреннего органа или отсутствует возможность различить, что в кадре, специалист отмечает соответствующий пункт меню. Результаты распознавания отправляются на серверный модуль, где сохраняются для дальнейшего доступа. Блок-схема алгоритма работы серверного модуля представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Блок-схема алгоритма работы серверного модуля

Серверный модуль поддерживает авторизацию, что позволяет администратору системы указывать, при необходимости, соответствие видеозаписи и специалиста, которому она будет отправлена на распознавание.

Программное обеспечение позволяет формировать обучающую выборку из видеоряда при помощи практически неограниченного количества специалистов, что существенно ускоряет процесс формирования выборки.

### **Среда разработки**

Для разработки программного обеспечения был выбран язык программирования C++ с использованием фреймворка Qt5. C++ – компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения. Преимуществом использования C++ является высокая скорость исполнения, достигаемая за счет механизмов ручного управления памятью и различных оптимизаций, реализованных на стороне компилятора. Недостаток – отсутствие встроенных механизмов сборки мусора, сложность разработки. Распространенный способ предотвращения утечек памяти – использование «умных указателей», которые тем или иным образом следят за необходимостью освобождения памяти по указываемому адресу.

Qt – кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке C++. В состав фреймворка входит визуальная среда под названием Qt Creator, позволяющая производить графическую разработку пользовательского интерфейса.

Одной из основных отличительных особенностей фреймворка Qt является использование метаобъектного компилятора – системы предварительной обработки исходного кода. Использование метаобъектного компилятора добавляет в язык программирования механизм слотов – сигналов. Слот – метод класса, который может быть вызван асинхронным образом по событию сигнала. Данный механизм используется для соединения событий пользовательского интерфейса с вызовами методов в программе, но не ограничивается этим. Сигналы и слоты также могут связы-

вать методы различных объектов внутри программы.

Выбор данного фреймворка был обусловлен наличием средств работы с графическими изображениями, видеозаписями и широким набором функций для организации сетевого взаимодействия.

### **Сетевое взаимодействие**

Поскольку программное обеспечение предусматривает асинхронное подключение клиентов к серверу, необходимо было обеспечить постоянную доступность серверного компьютера в сеть Интернет. Серверный компьютер имеет доступ в Интернет через маршрутизатор, обладающий статическим IP-адресом. В связи с этим в маршрутизатор было прописано правило перенаправления порта для организации возможности внешнего подключения к серверному модулю.

Обмен данными между серверным модулем и клиентским производится через объекты классов `QTcpSocket`. Использование протокола TCP-IP упрощает процесс разработки за счет механизмов гарантии доставки пакета и контроля целостности.

Для передачи данных по сети необходимы процедуры сериализации и десериализации. Сериализация данных – процесс преобразования данных в последовательный вид. Частые применения – передача данных по сети и сохранение их в файл. За счет использования фреймворка эти процессы были решены с использованием класса `QDataStream`.

### **Пользовательский интерфейс клиента**

В процессе работы специалист получает изображение, которое является стоп-кадром из видео операции. Он должен отметить, какие внутренние органы есть в кадре, и их примерные границы. Если в данном кадре нет внутреннего органа или отсутствует возможность различить, что в кадре, специалист отмечает соответствующий пункт меню. Пример пользовательского интерфейса программы приведен на рисунке 3.

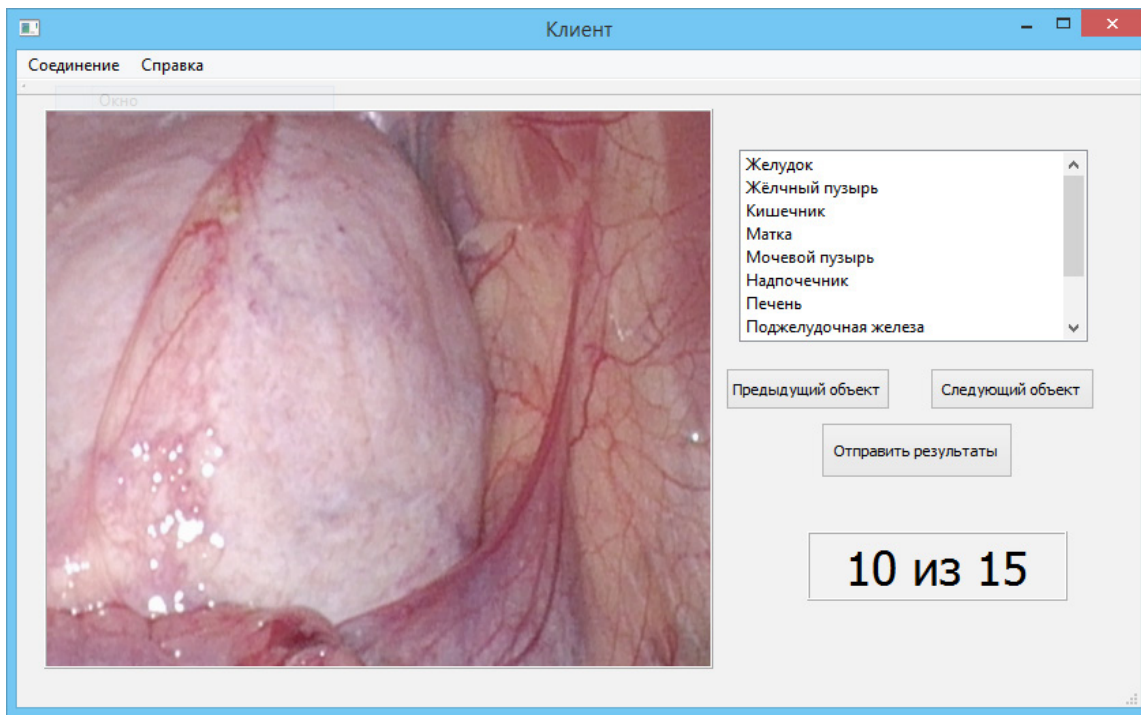


Рисунок 3. Интерфейс пользователя

В левой части окна расположено изображение, подлежащее распознаванию. В процессе работы специалист отмечает границы и выбирает название внутреннего органа из правого списка. Для перехода к следующему или предыдущему изображению предусмотрены соответствующие кнопки на форме. В правом нижнем углу окна отображается счетчик изображений в текущей сессии. Для завершения работы используется кнопка «Отправить результаты», которая вызывает отправку данных текущей сессии и её завершение.

### Вывод

Было разработано программное обеспечение для автоматизации и разделения труда при ручной обработке видеозаписей с целью создания обучающей выборки для нейросети. Данное программное обеспечение было использовано при формировании обучающей выборки для нейросети, решающей задачу распознавания внутренних органов. В качестве входных данных были использованы видеозаписи реальных операций. Результатом работы стало программное обеспечение, позволяющее организовать и разделить процесс ручного распознавания данных.

### Список литературы

1. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Суханова Н.В., Кабак И.С. Автоматизация оценки надежности программного обеспечения для систем управления технологическими процессами // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 3 (47).
2. Керниган Б.В. The C Programming Language / Д.М. Ричи. – М.: Вильямс, 2017.
3. Страуструп Б. Язык программирования C++. – М.: Бином, 2015.
4. Qt Documentation, режим доступа: <http://doc.qt.io/>

### Reference

1. Solomentsev Y.M., Sheptunov S.A., Suhanova N.V., Kabak I.S. Automation of software reliability assessment for process control systems // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. - № 3 (47).
2. Kernigan B.V. The C Programming Language / D.M. Ritchi. – Moscow: Williams Publishing House, 2017.
3. Strausstrup B. C++ programming language. – Moscow: Binom Publishing House, 2015.
4. Qt Documentation, URL: <http://doc.qt.io/>



**Константян В.Н.**  
**Konstantyan V.N.**  
бакалавр Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шептунов С. А.**  
**Sheptunov S. A.**  
доктор технических  
наук, профессор,  
директор Института  
конструкторско-  
технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Яхутлов У. М.**  
**Yakhutlov U.M.**  
аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-  
технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 004.42

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-54-59

## УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СИМУЛЯЦИИ ПОЛЕТА

В данной статье рассмотрен процесс проектирования и реализации устройства ручного управления положением кабины комплекса симуляции полета летательного аппарата. Исследуется модель кабины летательного аппарата, закрепленная на карданном трехосевом подвесе. Данная конструкция подвешена на тросе в воздухе, что дает ей возможность обеспечивать перегрузку при маневрах. Сервоприводами осуществляется перемещение по осям крена, тангажа и рыскания, а также изменение высоты. Детально рассматривается процесс разработки устройства дистанционного управления сервоприводами осей карданного подвеса кабины. Особенностью разработки данного контроллера является предшествование этапа разработки эргономики и дизайна изделия этапу схмотехнического проектирования. В статье также рассмотрены принципы интеграции устройства в существующий комплекс после формулировки задач и требований, предъявляемых к разрабатываемому изделию. Реализовано ПО изделия, обеспечивающее его работу. Преимуществом разработанного изделия является открытый формат выходных данных, что позволяет максимально унифицировать устройство и использовать его для управления различными подвижными манипуляторами технических систем, а также различными станками. В ходе процесса разработки был спроектирован и изготовлен действующий опытный образец изделия и проведены его испытания в ходе эксплуатации. В результате был сделан вывод, что устройство корректно выполняет свои функции и в дальнейшей доработке не нуждается. В ходе использования устройство управления с успехом применялось и для контроля других технических систем. Это говорит о том, что актуальная задача изготовления универсального, надежного, точного и при этом несложного в изготовлении устройства ручного управления для контроля сложных комплексов с множествами степеней свободы успешно решена и результаты могут быть широко внедрены в современные робототехнические, исследовательские, медицинские и производственные системы.

**Ключевые слова:** дистанционное управление, управление положением, устройства ввода, симуляторы полета, портативные системы, беспроводная передача данных.

## FLIGHT SIMULATOR WIRELESS HANDHELD POSITION CONTROLLER

In this article, remote position control input device design and its implementation was carried out. Flight simulator cabin on gimbal acts like a research object. High torque industrial-grade servos move the cabin in pitch, roll and yaw directions. All construction suspended by metal cable, so it can move up and down creating overloads. Position controller development was considered in detail. In case of working-out on input device, key feature is that the appearance design and ergonomics development precede electronics engineering. After definition of all the technical specifications of a device, integration in whole system was considered. Device firmware was developed as well. One of the advantages is open output data format, that allow to use controller alongside with vast family of devices – manipulators or machine-tools. In conclusion, real prototype of the device was made and successfully tested during operation. The conclusion was as a result drawn that the device correctly performs the functions and does not need further improvement. During tests the control unit was used to control of other technical systems with success. It means that the relevant problem of production universal, reliable, accurate and at the same time simple in production device for control a variety of difficult complexes with several degrees of freedom is successfully solved and results can be widely introduced in modern robotic, research, medical and production systems.

**Key words:** remote control, position control, input devices, flight simulators, portable systems, wireless signal transmission.

### Введение

Объектом исследования является модель кабины летательного аппарата, закрепленная на карданном подвесе, оси которого приводятся в движение сервоприводами. Таким образом осуществляется перемещение по осям крена, тангажа и рыскания. Данная конструкция подвешена на тросе и салазках в воздухе, что дает ей возможность изменять высоту, обеспечивая перегрузку при маневрах. Предметом исследования является разработка устройства дистанционного управления сервоприводами осей карданного подвеса кабины.

Ручное управление кабиной симулятора полета необходимо в случаях проведения подготовительных операций перед началом симуляции (посадка и высадка испытуемых, загрузка необходимого оборудования), калибровки и настройки системы ориентации комплекса, проведения ремонтных и регламентных работ, записи программ симуляции внешним оператором комплекса для последующей их демонстрации испытуемым и тестирования конструкции и проверка систем без подвергания риску обслуживающего персонала и испытуемых.

Таким образом, подтверждается актуальность задачи проектирования и реализации простой в освоении, надежной и функцио-

нальной системы ручного управления, обеспечивающей одновременное управление несколькими координатами, а также переключение ее режимов работы.

Задача ручного управления может быть решена как с помощью пользовательского интерфейса управляющей программы вычислителя комплекса и его устройств ввода, так и с помощью отдельного устройства управления. Недостатками реализации ручного управления посредством программного пользовательского интерфейса является невозможность точного и пропорционального управления положением, привязка к месту расположения устройств ввода ЭВМ-комплекса, невозможность считывать параметры работы комплекса при его обслуживании вне зоны видимости экрана вычислительного устройства установки, усложнение программного обеспечения комплекса и уменьшение надежности процесса управления, так как в этом случае используются обычные бытовые устройства ввода для ПК и возрастает вероятность несанкционированного управления положением кабины комплекса другими работниками при работах внутри конструкции.

Данные проблемы обуславливают выбор отдельного внешнего устройства ввода коор-



динат для реализации функции ручного управления.

Определим задачи, предъявляемые к разрабатываемому изделию, которые определяют его структуру и включают его в комплекс, обеспечив его комфортную эксплуатацию и обслуживание персоналом:

1. Плавное пропорциональное управление положением кабины в четырех осях координат.
2. Отображение необходимых параметров на дисплее.
3. Работа в радиусе 10 м по беспроводному каналу связи.
4. Выбор режима работы комплекса и взаимодействие с ним.
5. Наличие минимума сложных деталей, что увеличит надежность изделия и уменьшит срок разработки.
6. Технологичность в производстве, использование по возможности уже отлаженных и законченных решений.

Согласно анализу представленных на рынке устройств ввода координат, на данный момент существует несколько их типов. Наиболее распространенный класс представляют различные игровые манипуляторы для персональных компьютеров, которые оснащены как правило пятью-шестью клавишами и парой джойстиков. Недостатком применения таких устройств для решения поставленной задачи является их низкая надежность, отсутствие дисплея и закрытый протокол передачи данных. Радиус работы по беспроводному каналу передачи данных также не соответствует требованиям. Плюсом же использования таких манипуляторов является простота использования и интуитивно понятный оператору функционал. Промышленные устройства управления станками не обладают возможностью работы без проводов, имеют большие габариты и вес, а также высокую стоимость. Также они не имеют возможности управлять несколькими координатами одновременно, что уменьшает удобство работы с ними. Данные устройства управления требуют длительного освоения работниками и усложняют работу с комплексом.

В этих условиях наиболее целесообразным решением оказалось проектирование устройства ввода собственными силами. Оно

должно решать задачи, представленные выше, и при этом обладать эргономичным дизайном, облегчающим его использование персоналом как можно более широкой степени подготовки.

### **Определение расширенных требований к изделию**

Согласно сформированным выше требованиям к разрабатываемому изделию, оно должно обладать рычагами управления положением в четырех осях координат, кнопками выбора режима работы и экраном.

В качестве рычагов управления были выбраны ручки управления от системы дистанционного управления радиоуправляемыми моделями летательных аппаратов. Одна ручка имеет 2 степени свободы, обладает датчиками на основе прецизионных потенциометров с повышенной износостойкостью резистивного слоя. Возможности регулировки таких ручек включают в себя изменения усилия возвратной пружины и изменение длины наконечника, что позволяет подогнать их характеристики под конкретный вид использования. Модуль ручки является законченным и имеет разъёмы распространённого типа для подключения соединительных проводов и отверстия для крепления к корпусу изделия.

В качестве клавиш управления были выбраны миниатюрные кнопки без фиксации положения с креплением на панель. Количество клавиш было выбрано, равное трём. Их назначение: выбор, движение по меню вверх и вниз. Такая конфигурация предоставляет возможность осуществлять гибкое управление режимами работы установки и позволяет с течением времени менять их количество без изменения конфигурации и количества клавиш.

Для вывода данных и работы графического интерфейса устройства управления используется цветной TFT-дисплей с диагональю 5 см.

Для беспроводной передачи данных между системой ЧПУ и устройством управления была выбрана технология Bluetooth. Для обеспечения правильной и стабильной работы по беспроводному интерфейсу передачи данных изделие должно иметь внешнюю антенну с коэффициентом усиления +3dBm,

рассчитанную на работу на частоте 2,4 ГГц [1].

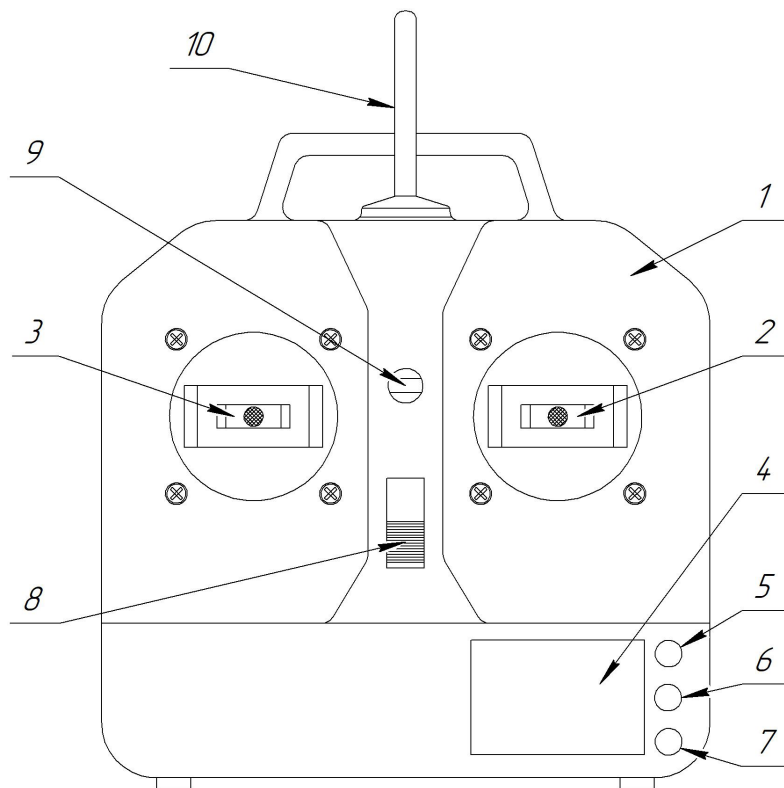
### Разработка внешнего вида устройства ввода

Внешний вид изделия должен обеспечивать эргономичное взаимодействие пользователя с органами управления, а также обеспечивать беспрепятственное считывание показаний с экрана. К тому же, учитывая беспроводную технологию связи, корпус изделия должен иметь место для размещения элементов питания и место для крепления приёмно-передающей антенны. При этом расположение органов управления должно быть интуитивно понятным.

Все эти условия могут быть выполнены, если использовать форму пульта дистанционного управления моделями летательных аппаратов в качестве корпуса изделия. В верхней части данный корпус имеет крепление для антенны, места установки рычагов управления уже штатно предусмотрены, как и места для установки элементов питания. Корпус обладает хорошо знакомой большин-

ству людей формой и интуитивно понятным функционалом. Верхняя крышка корпуса имеет проушину для крепления ремешка для переноски, а нижняя включает в себя ручку. Нижняя часть корпуса имеет площадки для надёжной установки изделия на ровную поверхность.

Однако корпус не может быть применен в изделии без изменений. Были сформированы места для крепления клавиш управления и экрана вывода информации, который расположился в нижнем правом углу. Такое расположение обеспечивает наилучшую читаемость экрана даже при ношении устройства управления на ремне, так как он не перекрывает область дисплея. Кроме того, в непосредственной близости расположены клавиши управления, что позволяет вывести подписи к клавишам непосредственно на экран и при дальнейшей модернизации прошивки их изменять. Как следствие, данное изделие обладает максимальной гибкостью в настройке и может быть адаптировано для различных применений. Получившийся внешний вид представлен на рисунке 1.



- 1 – корпус изделия, 2 – рычаг управления креном и тангажем, 3 – рычаг управления высотой и углом рыскания, 4 – дисплей, 5 – клавиша «вверх», 6 – клавиша «выбор»,  
7 – клавиша «вниз», 8 – выключатель питания, 9 – проушина для крепления ремня,  
10 – антенна приемопередатчика

**Рисунок 1.** Внешний вид изделия

### Определение требований к электронным блокам изделия

Конфигурация получившегося устройства управления представляет собой четыре потенциометра, три нормально разомкнутые кнопки, модуль интерфейса Bluetooth и TFT-экран. Питание электронных блоков осуществляется химическими элементами питания, суммарное выходное номинальное напряжение которых составляет 9-12 В в зависимости от выбранного их типа.

В качестве модуля Bluetooth был выбран широко распространенный чип HC-05, установленный на отладочную плату со стабилизатором напряжения. К выходному высокочастотному разъёму модуля присоединена антенна типа несимметричный вибратор с коэффициентом усиления +3dBm.

Для работы устройства необходимо наличие в его структуре микроконтроллера со встроенным АЦП для корректного считывания напряжения на выходе потенциометров ручек управления. АЦП должен обладать необходимым разрешением для обеспечения точности определения положения рычагов. Все требования представлены в списке ниже:

1. Наличие 4 канального АЦП.
2. Работа от напряжения менее 7 В.
3. Наличие аппаратного интерфейса UART для обеспечения связи с модулем передачи данных.
4. Наличие аппаратного интерфейса I2C для обеспечения связи с дисплейным модулем.
5. Наличие трёх портов ввода-вывода для обеспечения считывания состояния кнопок.

Представленным выше требованиям удовлетворяет контроллер ATmega328, обладающий 8-канальным АЦП последовательного приближения с 10-разрядной дискретизацией входного сигнала по уровню. Данный АЦП обеспечивает точность определения положения ручки на уровне 0,06 градуса. МК имеет все необходимые интерфейсы передачи данных, а широкий диапазон входных напряжений от 1,8 В до 5,5 В позволяет использовать его в проектируемом изделии при использовании понижающего стабилизатора напряжения. Данный микроконтроллер характеризуется высокой производительностью при работе на тактовой частоте 16 МГц, а также большим объёмом встроенной памяти (32 КБ ПЗУ, 1 КБ ЭСППЗУ и 2 КБ ОЗУ) [2], что позволяет загружать в него сложные программы большого объёма.

Количество портов ввода-вывода равняется 28, что с запасом перекрывает требования.

Для понижения напряжения будет использован импульсный понижающий стабилизатор на основе микросхемы LM2596, обладающий высоким КПД в 78 % случаев при работе в заданных условиях [3].

### Реализация электронных модулей изделия

Все модули реализованы в виде отладочных плат для выбранных компонентов. Платы изготовлены фабрично и широко распространены в продаже. Платы оснащены разъёмами типа PLS, что позволяет быстро и надёжно соединить их друг с другом. Пайки требуют лишь операции соединения преобразователя напряжения с остальными модулями и клеммами элементов питания на корпусе изделия, а также операции присоединения кнопок управления. Структурная схема получившегося устройства ввода представлена на рисунке 2.

Кнопки управления имеют подтяжку к линии 5 В в разомкнутом состоянии, обеспеченную встроенными возможностями МК. Величина подтягивающего резистора составляет около 100 кОм [2]. При работе устройства ложных срабатываний клавиш замечено не было, что говорит о том, что данная величина резистора достаточна для бесперебойной работы.

### Программное обеспечение изделия

Задача ПО изделия заключается в периодическом опросе напряжений на выходах потенциометров рычагов управления, опросе состояния кнопок и отображении графического интерфейса меню на экране. Программное обеспечение написано на языке программирования C++. После опроса и обработки данные преобразуются в строку, содержащую четыре координаты, записанные через разделитель, после которых следует номер режима работы, выбранный пользователем. Данные записываются в виде кодов таблицы ASCII. Данный вид пакета позволяет максимально унифицировать устройство и использовать его не только для управления кабиной комплекса симуляции, но и другими подвижными манипуляторами или станками.

Для приема данных необходим адаптер Bluetooth и виртуальный COM-порт, который будет непосредственно принимать ASCII символы [4].

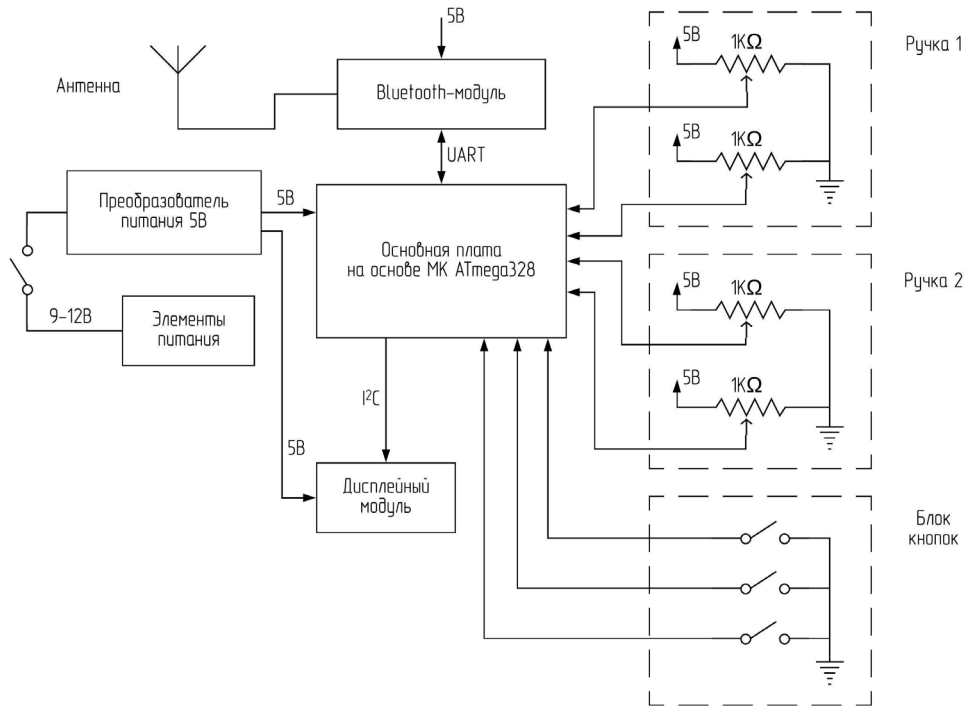


Рисунок 2. Структура устройства

На стороне приемного устройства его ПО разбивает строку на группы по четыре элемента, которые потом преобразуются в число и могут быть использованы в качестве уставки координат или уставки скорости движения в заданном направлении.

Протокол передачи является полнодуплексным, то есть отправка пакетов может идти одновременно в обоих направлениях [5], что позволяет отправлять различные сообщения и параметры обратно в устройство управления.

### Вывод

В ходе процесса разработки был спроектирован и изготовлен образец изделия и проведены его испытания в ходе эксплуатации. По итогам их результатов, можно сделать вывод, что устройство корректно выполняет свои функции и в дальнейшей доработке не нуждается.

В ходе дальнейшего использования устройство управления с успехом применялось для контроля и других роботизированных систем. Данное обстоятельство говорит о том, что актуальная задача изготовления универсального, надежного, точного и при этом несложного в изготовлении устройства ручного управления для контроля сложных комплексов с множествами степеней свободы успешно решена, и результаты могут быть широко внедрены в современные робототех-

нические, исследовательские, медицинские и производственные системы.

### Список литературы

1. Bluetooth Core Specification v5.0.
2. ATmega328/P AVR® Microcontroller with picoPower® Technology Datasheet Complete DS40001984A.
3. LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Datasheet.
4. HC-05 Bluetooth module 06.18.2010, URL: iteadstudio.com
5. Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. – Второе издание.

### References

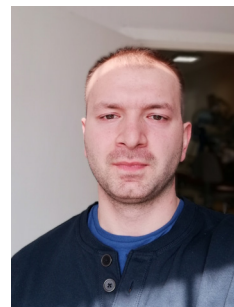
1. Bluetooth Core Specification v5.0.
2. ATmega328/P AVR® Microcontroller with picoPower® Technology Datasheet Complete DS40001984A.
3. LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Datasheet.
4. HC-05 Bluetooth module 06.18.2010, URL: iteadstudio.com.
5. Digital Design and Computer Architecture. David Money Harris and Sarah L. Harris. Datasheet.



**Четвертаков А.А.**  
**Chetvertakov A.A.**  
магистрант Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Санников А.С.**  
**Sannikov A.S.**  
аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Глашев Р. М.**  
**Glashev R.M.**  
аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 621.396

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-60-65

## СИСТЕМА ЧПУ ДЛЯ КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА В КАБИНЕ ПАССАЖИРСКОГО САМОЛЕТА

Существует большое количество станков и комплексов, которые работают по стандартному протоколу STEP/DIR. При их модернизации возникают задачи, связанные с установкой дополнительного оборудования, содержащего в себе различные системы обратной связи, в частности, системы инерциальной навигации. Системы ЧПУ, установленные на данных комплексах, в основной своей массе не имеют возможности работы со специализированными интерфейсами, которые имеют дополнительные устройства и системы. Системы, которые имеют такую возможность, дорогостоящие и требуют высокой квалификации персонала для внедрения дополнительных систем, а следовательно, использование таких систем экономически нецелесообразно.

Объектом исследования является авиасимулятор – программно-аппаратный комплекс для моделирования процессов, происходящих при полете пассажирского самолета. Предметом исследования является система ЧПУ для управления данным комплексом.

Целью данной работы является создание системы ЧПУ, использующей систему инерциальной навигации в качестве системы обратной связи, имеющей дополнительные устройства и датчики для безопасной работы комплекса.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки универсальной системы числового программного управления с возможностью подключения различных видов датчиков обратной связи и интерфейсом прикладного программирования.

Для решения поставленной задачи в работе решен следующий комплекс задач:

1. Был изучен состав комплекса авиасимулятора, указаны его конструктивные особенности, которые необходимо было учесть при создании системы ЧПУ.
2. После анализа доступных интерфейсов был определен оптимальный интерфейс работы с сервоприводами.
3. Были определены и освещены дополнительные устройства для корректной и безопасной работы системы ЧПУ и комплекса в целом.
4. Согласно техническим требованиям и особенностям системы была выбрана необходимая элементная база. С помощью программных средств была создана печатная плата, после

изготовления была протестирована ее работоспособность на готовом устройстве.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, сервопривод, авиасимулятор, инерциальная навигация, система ЧПУ, система обратной связи.

## THE CNC SYSTEM FOR THE FLIGHT MODELLING COMPLEX IN THE CABIN OF THE PASSENGER PLANE

There is a large number of machines and complexes which work under the standard STEP/DIR protocol. At their modernization there are tasks connected with installation of the additional equipment comprising various systems of feedback, in particular, of the system of inertial navigation. The CNC systems installed on these complexes in the main weight have no possibility of work with specialized interfaces which have additional devices and systems. Those systems which have such opportunity – expensive and demand high qualification of personnel for introduction of additional systems, and, therefore, use of such systems is economically inexpedient.

Object of a research is the aviasimulator – a hardware and software system for modeling of the processes happening when flying the passenger plane. An object of research is the CNC system for management of this complex.

The purpose of this work is creation of the CNC system, the using system of inertial navigation as the system of feedback and having additional devices, and sensors for safe work of a complex.

The relevance of work is caused by need of development of universal system of numerical program control with a possibility of connection of different types of sensors of feedback and the application programming interface.

For the solution of an objective in work the following complex of tasks is solved:

1. The structure of a complex of an avia simulator was studied, its design features which needed to be considered during creation of the CNC system are specified.

2. After the analysis of available interfaces, the optimum interface of work with servo-drivers was defined.

3. Additional devices for correct and safe work of the CNC system and a complex in general were defined and lit.

4. According to technical requirements and features of system, the necessary element base was chosen, by means of software the printed circuit board was created, after production its working capacity on the ready device was tested.

**Key words:** microcontroller, servo-driver, aviasimulator, inertial navigation, CNC system, system of feedback.

### Введение

Существует большое количество станков и комплексов, которые работают по стандартному протоколу STEP/DIR. При их модернизации возникают задачи, связанные с установкой дополнительного оборудования, содержащего в себе различные системы обратной связи, в частности, системы инерциальной навигации. Системы ЧПУ, установленные на данных комплексах, в основной своей массе не имеют возможности работы со специализированными интерфейсами, которые есть у дополнительных устройств и систем. Системы, которые имеют такую возможность, дорогостоящие и требуют высокой квалификации персонала для внедрения

дополнительных систем, а следовательно, использование таких систем экономически нецелесообразно.

Объектом исследования является авиасимулятор – программно-аппаратный комплекс для моделирования процессов, происходящих при полете пассажирского самолета. Предметом исследования является система ЧПУ для управления данным комплексом.

Целью данной работы является создание системы ЧПУ, использующей систему инерциальной навигации в качестве системы обратной связи и имеющей дополнительные устройства и датчики для безопасной работы комплекса.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки универсальной системы числового программного управления с возможностью подключения различных видов датчиков обратной связи и интерфейсом прикладного программирования.

Для решения поставленной задачи в работе поставлен следующий комплекс задач:

1. Изучение состава комплекса и его конструктивных особенностей.
2. Обоснование целесообразности создания собственной системы ЧПУ.
3. Определение интерфейсов взаимодействия и управления.
4. Определение дополнительных устройств для работы и интерфейса их работы.
5. Разработка структуры устройства.
6. Разработка печатной платы устройства.

### Состав комплекса

Комплекс моделирования полета представляет собой конструкцию, кинематическая схема которой позволяет осуществлять поворот модели кабины летального аппарата, с расположенным внутри самолетным креслом (так называемая кабина авиасимулятора)

и человеком, сидящим на нем, по трем осям вращения: крена (поворот вокруг оси  $Ox$ ), тангажа (поворот вокруг оси  $Oy$ ) и рысканья (поворот вокруг оси  $Oz$ ), а также вертикальное перемещение подвижной части установки вдоль оси  $Oz$ .

Приведение в движение частей установки (рисунок 1), совершающих угловые перемещения, осуществляется за счет серводвигателей 3, установленных на каждой из осей вращения. Вертикальное линейное перемещение кабины 4 осуществляется за счет лебедки 1, которая установлена на неподвижной части комплекса на верхних силовых балках. Лебедка оснащена тросом 2. Тяговый двигатель лебедки представляет из себя сервопривод, идентичный тому, что установлен на других осях. Вертикальное перемещение служит для введения вращающихся частей установки в рабочее положение. Под рабочим положением подразумевается такое положение, при котором установка может совершать вращение вокруг заданных осей без контакта кабины с поверхностью пола, на котором установлен комплекс.

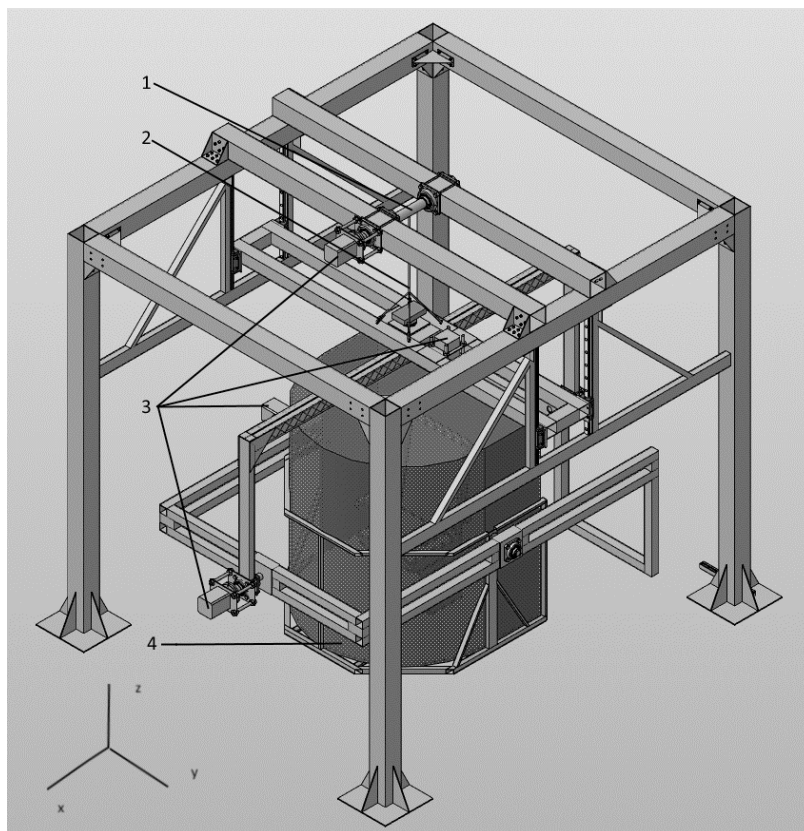


Рисунок 1. 3D-модель комплекса

Обеспечение работоспособности комплекса будет осуществляться путем внедрения системы ЧПУ с учетом следующих требований:

1. Возможность ручного дистанционного управления.
2. Возможность записи программ движения для последующего их воспроизведения в автоматическом режиме.
3. Возможность подключения системы инерциальной навигации в качестве системы обратной связи.
4. Наличие интерфейса прикладного программирования.
5. Наличие систем защиты для обеспечения безопасности эксплуатации установки и предотвращения ее поломки.

Исходя из вышеописанных требований, сформулируем тезисы, которые определяют структуру системы ЧПУ:

1. Обеспечение пропорционального управления четырьмя независимыми сервоприводами.
2. Наличие специализированного интерфейса для подключения системы инерциальной навигации.
3. Наличие энергонезависимой памяти для записи программ и возможность ее замены в случае заполнения установленной.
4. Наличие устройств индикации для упрощения отладки системы.
5. Наличие интерфейсов подключения систем защиты.
6. Наличие интерфейса подключения беспроводных устройств дистанционного управления.

В ходе анализа существующих систем ЧПУ было выяснено, что на рынке существует достаточно большое количество различных систем ЧПУ, однако все они не удовлетворяют требованиям, представленным в данном проекте. Основными недостатками таких систем можно назвать:

1. Невозможность подключения системы инерциальной навигации.
2. Отсутствие возможности замены энергонезависимой памяти.
3. Отсутствие интерфейса прикладного программирования.

В связи с этим было принято решение о разработке системы ЧПУ для комплекса моделирования полетов.

### **Интерфейс работы с сервоприводами**

Сервоприводы Panasonic MINAS A5 имеют следующие интерфейсы для работы:

1. USB.
2. RS-232.
3. RS-485.
4. STEP/DIR.

Для взаимодействия с сервоприводом был выбран интерфейс STEP/DIR, так как он является наиболее универсальным в работе. В случае замены модели или производителя сервоприводов, либо в случае использования данной системы ЧПУ в любой другой установке подобного типа система может быть с минимальными изменениями подключена к серводрайверам.

### **Определение дополнительных устройств для работы комплекса и системы чпу**

#### *Системы защиты*

1. Тормозная система серводвигателей.

Серводвигатели, установленные на комплексе, имеют в своем распоряжении тормозной механизм, предназначенный для предотвращения нежелательного вращения вала двигателя в случае внезапного отключения электропитания комплекса. Механизм расположен внутри корпуса двигателя. Управление механизмом осуществляется путем подачи управляющего напряжения на катушку электрического тормоза. При наличии напряжения на катушке тормоз отпущен.

2. Концевые выключатели.

Для предотвращения поломки установки в случае отказа системы инерциальной навигации на каждой из осей комплекса были установлены концевые выключатели. Выключатели имеют нормально замкнутое включение для дополнительной защиты установки в случае обрыва соединительного кабеля, а также для диагностики обрыва этого кабеля.

#### *Устройство индикации*

Для обеспечения индикации работы установки в конструкции устройства предусмотрен жидкокристаллический дисплей LCD1602. Экран этого дисплея способен отображать одновременно до 32 символов (16 столбцов и 2 строки). Подключение к микроконтроллеру осуществляется по синхронному 8-битному параллельному интерфейсу.



*Постоянное запоминающее устройство*

В качестве ПЗУ в конструкции была выбрана SD-карта подтипа HDHC емкостью 32 ГБ. Карта имеет 10-й класс скорости записи, что удовлетворяет требованиям технического задания по скорости записи. Карта подключается к контроллеру с помощью адаптера, при необходимости может быть заменена на другую карту такой же емкости или с большей, с учетом того, что класс записи карт должен оставаться не ниже 10-го.

*Пульт дистанционного управления*

Для дистанционного управления комплексом применена технология Bluetooth. Устройство дистанционного управления представляет собой модельный пульт с четырьмя пропорциональными джойстиками. Джойстики представляют собой потенциометры с повышенной износостойкостью резистивного слоя. В качестве передатчика используется Bluetooth-модуль HC-05. В пульте использован микроконтроллер ATmega 328P.

**Требования и выбор элементной базы**

Для решения задачи выбора элементной базы были сформулированы следующие технические требования:

1. Возможность работы с интерфейсом STEP/DIR.
2. Возможность обработки состояний конечных выключателей.
3. Возможность работы LCD-дисплеем 16\*2 посредством параллельного интерфейса.
4. Возможность работы с SD-картой посредством интерфейса SDIO.
5. Возможность работы с интерфейсом устройства дистанционного управления.
6. Возможность работы с тормозами сервоприводов.

Вышеперечисленные требования подразумевают наличие в структуре системы микроконтроллера. После анализа рынка микроконтроллеров был выбран контроллер STM32F407GT6 от компании STMicroelectronics, характеристики которого представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики выбранного контроллера

Название характеристики	Значение параметра
Вычислительная мощность	210 DMIPS
Тактовая частота	168 МГц
Напряжение питания	3,3 В
Объем ПЗУ	1 Мбайт
Объем ОЗУ	192 Кбайт
Наличие аппаратного UART	есть
Наличие интерфейса SDIO	да
Количество портов ввода-вывода	82

Характеристики МК удовлетворяют требованиям, и его использование позволяет сконструировать систему управления с установленными функциональными возможностями. Разработка схемотехники системы ЧПУ основывается на том, что данный МК будет являться вычислительным устройством.

При работе с интерфейсом STEP/DIR для согласования уровней сигнала применены транзисторы IRL520NPBF от компании International Rectifier. Пороговое напряжение открытия данных транзисторов лежит в пределах от 1,0 до 2,0 вольт, что позволяет использовать логический уровень 3,3 В микрокон-

троллера для управления транзисторами без использования дополнительных драйверов.

**Требования к печатной плате**

Наиболее простым решением установки микроконтроллера на плату является использование его отладочной платы со штыревыми разъемами. Использование отладочной платы упрощает конструкцию разрабатываемой печатной платы (ПП), так как вместо установки на плату микроконтроллера с обвязкой, имеющей ко всему прочему еще и уменьшенные допуски на изготовление ПП, устанавливается ответная часть разъемов отладочной платы. Использование разъемов также

упрощает замену микроконтроллера в случае его выхода из строя.

Для установки на плату адаптера SD карт и ВТ приемника HC-05 на плате также применяются штыревые разъемы.

После определения всех требований и задач к системе ЧПУ была предложена принципиальная схема устройства. На основе принципиальной схемы была выпущена печатная плата. После сборки и тестирования комплекса работоспособность системы ЧПУ была подтверждена.

### Вывод

1. Был изучен состав комплекса авиасимулятора, указаны его конструктивные особенности, которые необходимо было учесть при создании системы ЧПУ.

2. После анализа доступных интерфейсов был определен оптимальный интерфейс работы с сервоприводами.

### Список литературы

1. Операционная инструкция MINAS A5 [Электронный ресурс] // URL: [https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2\\_manu\\_e.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2_manu_e.pdf)
2. Справочное руководство к STM32F4 [Электронный ресурс] // URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f407-417.html>
3. Справочное руководство IRL520NPBF [Электронный ресурс] // URL: <https://www.vishay.com/docs/91298/91298.pdf>
4. Пользовательская инструкция STM32F4 Disco [Электронный ресурс] // URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32f4discovery.html>
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – М.: Мир, 1983. – Т. 1.

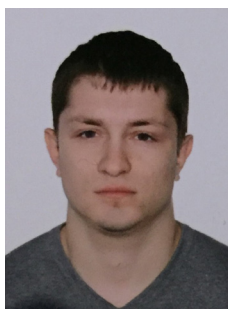
3. Были определены и освещены дополнительные устройства для корректной и безопасной работы системы ЧПУ и комплекса в целом.

4. Согласно техническим требованиям и особенностям системы, была выбрана необходимая элементная база; с помощью программных средств создана печатная плата, протестирована ее работоспособность на готовом устройстве.

Данная разработка может быть внедрена в любые подобные комплексы, в которых управление двигателями осуществляется посредством интерфейса STEP/DIR, и требуется наличие обратной связи для позиционирования механизмов и иных нужд с минимальными изменениями, что делает систему ЧПУ универсальной и подготовленной для широкого применения.

### References

1. Operating instruction MINAS A5 [Electronic resource] // URL: [https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2\\_manu\\_e.pdf](https://industrial.panasonic.com/content/data/MT/PDF/manual/en/acs/minas-a5-2_manu_e.pdf)
2. STM32F4 Reference Manual [Electronic resource] // URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f407-417.html>
3. Reference Manual IRL520NPBF [Electronic resource] // URL: <https://www.vishay.com/docs/91298/91298.pdf>
4. User instruction STM32F4 Disco [Electronic resource] // URL: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32f4discovery.html>
5. Horowitz P., Hill U. The Art of Circuit Engineering. - M.: Mir, 1983. - T. 1.



**Кулиев Т. И.**  
**Kuliev T.I.**

*младший научный  
сотрудник Института  
конструкторско-технолого-  
ической информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Глашев Р. М.**  
**Glashev R.M.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Яхутлов У. М.**  
**Yakhutlov U.M.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 006.91

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-66-72

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ РАЗРУШЕНИЯ ШВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЙ МАТЕРИАЛОВ И КЛЕЕВЫХ СОСТАВОВ**

В лабораториях есть огромное количество измерительных стендов старого образца, которые используются в качестве датчиков преобразователей физических величин в электрические, а также для проведения измерений электродвигателей. Системы управления этими установками созданы на устаревшей на данный момент элементной базе, которая уже не выпускается и может не иметь прямых аналогов. При поломке блоков управления всё устройство может оказаться непригодным к работе, а ремонт электроники – нерациональным.

Ручная наладка, подстройка и калибровка – еще одна проблема, которой обладает электроника устаревших стендов. Со временем номиналы электронных радиоэлементов (ЭРЭ) могут измениться и показания прибора станут неверными или изменчивыми. Использование программируемого контроллера позволяет ввести алгоритмы самокалибровки и самотестирования, а встроенные модули ЦАП – непосредственную подстройку работы схемы в автоматическом режиме.

Разработка системы управления на основе микроконтроллера дает возможность избавиться от обозначенных выше проблем, тем самым уменьшив размеры электронного содержимого стенда и позволив увеличить ее надежность за счет использования меньшего количества более современных деталей, т.е. увеличить степень интеграции. Технические характеристики установки (точность измерения, скорость измерения) должны, как минимум, остаться на прежнем уровне, что и при использовании оригинальной электроники, или улучшиться.

Адгезиометр представляет собой устройство, состоящее из тяжелого основания, на котором крепится электродвигатель РД-09А, соединенный через муфту с редуктором, подвижная платформа и стойка с датчиком. Подвижная платформа через передачу типа «винт-гайка» соединена с электродвигателем. Диапазон передвижения платформы ограничен концевыми выключателями с двух сторон. На платформе закреплены нагреватели для возможности испытания образцов при повышенных температурах. На стойке закреплен тензометрический

датчик, который регистрирует усилие на образцах при их растяжении подвижной платформой.

Датчик представляет собой полный мост Уитстона, что, в свою очередь, является классическим решением в тензометрии. Его выходной сигнал представляет собой два уровня напряжения, отклоняющихся от уровня  $U_{пит}/2$  в противофазе при подаче усилия на измерительный фланец датчика. Для усиления и регистрации таких сигналов используются инструментальные усилители, которые работают в дифференциальном режиме. Амплитуда отклонения напряжения составляет порядка нескольких милливольт.

Повысилась точность и качество изменений.

Упростилась схема наладки установки. При небольшой доработке калибровка стенда может производиться в полностью автоматическом режиме.

Произведено взаимодействие установки с ПК, что упростило методику проведения экспериментов, а также позволило автоматизировать процесс измерений.

Увеличена надежность установки.

**Ключевые слова:** Микроконтроллер, сигма-дельта АЦП, тензометрия, измерения, лабораторный стенд, принципиальная схема.

## AUTOMATION OF THE PROCESS OF MEASURING THE FAILURE FORCE OF A SEAM TO STUDY THE CHARACTERISTICS OF VARIOUS COMBINATIONS OF MATERIALS

In the laboratories there is a huge number of measuring stands of the old model, which are used as sensors for converting physical quantities into electrical ones, as well as using electric motors for measuring. The control systems of these installations are based on the outdated element base, which is no longer available and may not have direct analogues. If the control unit breaks down, the entire device may be unusable, and the repair of electronics may be irrational.

Manual adjustment, adjustment and calibration is another problem that the electronics of obsolete stands have. Over time, the ratings of electronic radioelements (ERE) may change and the instrument readings will become incorrect or changeable. Using a programmable controller allows you to enter algorithms for self-calibration and self-testing, and built-in DAC modules – direct adjustment of the circuit in the automatic mode.

The development of a control system based on a microcontroller makes it possible to get rid of the problems identified above, thereby reducing the size of the electronic contents of the stand and will increase its reliability by using fewer more modern parts, i.e. increase the degree of integration. The technical characteristics of the installation (measurement accuracy, measurement speed) should, at a minimum, remain at the same level as with original electronics or improve.

The adhesion meter is a device consisting of a heavy base on which the RD-09A electric motor is attached, connected through a coupling with a gearbox, a movable platform and a stand with a sensor. The movable platform through the transmission of the type "screw-nut" is connected to the electric motor. The range of movement of the platform is limited by limit switches on both sides. Heaters are attached to the platform to allow samples to be tested at elevated temperatures. A strain gauge is mounted on the rack and registers the force on the specimens as they are stretched by a moving platform.

The sensor is a complete Wheatstone bridge, which, in turn, is the classic solution in strain gauging. Its output signal consists of two voltage levels deviating from the  $U_{пит} / 2$  level in antiphase when force is applied to the measuring flange of the sensor. To amplify and record such signals, instrumental amplifiers are used that operate in the differential mode. The amplitude of the voltage deviation is of the order of several millivolts.

Improved accuracy and quality of change.

Simplified setup. With a slight refinement, stand calibration can be done in fully automatic mode.

The interaction of the installation with a PC was made, which simplified the methodology for conducting experiments, and also allowed to automate the measurement process.

Increased reliability of the installation.

**Key words:** Microcontroller,  $\Sigma\Delta$  ADC, tensometrics, measuring, laboratory equipment, electronic schematics.

### Введение

Объект исследования. Лабораторный адгезиометр – прибор, предназначенный для измерения прочности соединения материалов.

Предмет исследования. Разработка встраиваемой системы управления, которая представляет собой комплекс аппаратно-программных средств для обеспечения работоспособности стенда и проведения на нём измерений в автоматическом режиме, а также обеспечения взаимодействия ПК со стендом для визуализации и анализа собранных данных.

Актуальность темы. В лабораториях есть огромное количество измерительных стендов старого образца, которые используются в качестве датчиков преобразователей физических величин в электрические, а также для проведения измерений электродвигателей. Системы управления этими установками созданы на устаревшей на данный момент элементной базе, которая уже не выпускается и может не иметь прямых аналогов. При поломке блоков управления всё устройство может оказаться непригодным к работе, а ремонт электроники – нерациональным.

К тому же оригинальные системы управления, как правило, не позволяют обеспечить взаимодействие установки с ПК и автоматизировать процесс проведения измерений.

Ручная наладка, подстройка и калибровка – еще одна проблема, которой обладает электроника устаревших стендов. Со временем номиналы ЭРЭ могут измениться и показания прибора станут неверными или изменчивыми. Использование программируемого контроллера позволяет ввести алгоритмы самокалибровки и самотестирования, а встроенные модули ЦАП – непосредственную подстройку работы схемы в автоматическом режиме.

В связи с этим, разработка системы управления на основе микроконтроллера дает возможность избавиться от обозначенных выше проблем, тем самым уменьшив размеры электронного содержимого стенда и позволив увеличить ее надежность за счет использова-

ния меньшего количества более современных деталей, т.е. увеличить степень интеграции. Технические характеристики установки (точность измерения, скорость измерения) должны, как минимум, остаться на прежнем уровне, что и при использовании оригинальной электроники или улучшиться.

Целью данного исследования является модернизация существующих лабораторных приборов за счет разработки новых электронных систем управления ими и их дальнейшего внедрения.

Для достижения поставленной цели в работе решен следующий комплекс задач:

1. Теоретическое обоснование целесообразности применения микроконтроллеров на базе ядра ARM в лабораторных установках.
2. Разработка структуры тестового стенда.
3. Разработка принципа действия стенда.
4. Практическая реализация стенда и подтверждение правильности выводов.

### Обзор модернизируемого лабораторного стенда

Адгезиометр представляет собой устройство, состоящее из тяжелого основания, на котором крепится электродвигатель РД-09А, соединенный через муфту с редуктором, подвижная платформа и стойка с датчиком. Подвижная платформа через передачу типа «винт-гайка» соединена с электродвигателем. Диапазон передвижения платформы ограничен концевыми выключателями с двух сторон. На платформе закреплены нагреватели для возможности испытания образцов при повышенных температурах. На стойке закреплен тензометрический датчик, который регистрирует усилие на образцах при их растяжении подвижной платформой.

Датчик представляет собой полный мост Уитстона, что, в свою очередь, является классическим решением в тензометрии. Его выходной сигнал представляет собой два уровня напряжения, отклоняющихся от уровня  $U_{пит}/2$  в противофазе при подаче усилия на измерительный фланец датчика. Для усиления и регистрации таких

сигналов используются инструментальные усилители, которые работают в дифференциальном режиме. Амплитуда отклонения

напряжения составляет порядка нескольких милливольт. Взаимная связь между компонентами системы показана на рисунке 1.

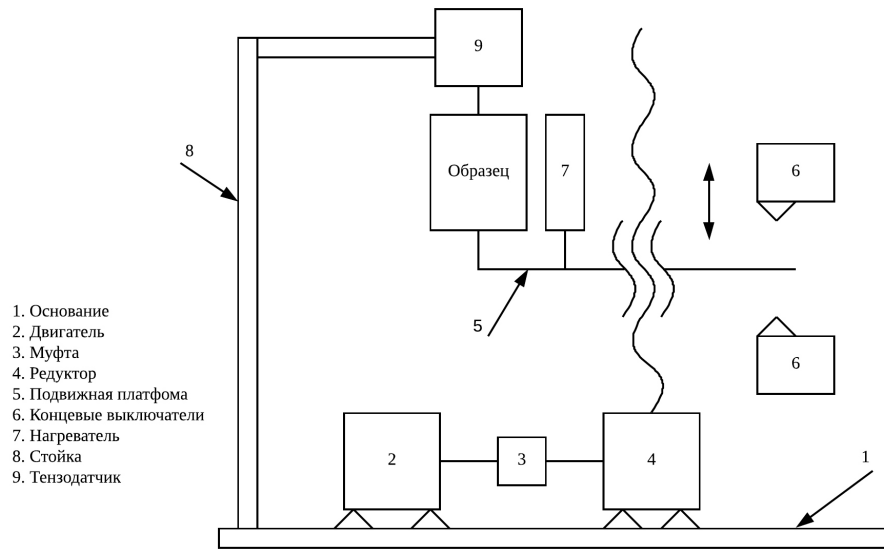


Рисунок 1. Схема установки

**Определение требований к управляющей электронике**

Встраиваемая система управления установкой должна решать следующие задачи:

1. Управление двигателем – включение и выключение, а также смена направления вращения вала.
2. Определение состояния концевых выключателей и остановка платформы.

3. Усиление и фиксация аналогового сигнала с тензодатчика.

4. Передача показаний на ПК и прием команд.

5. Аварийная остановка эксперимента в случае нажатия соответствующей кнопки.

6. Управление нагревателями.

Данный перечень задач позволяет определить структуру разрабатываемой системы, которая представлена на рисунке 2.

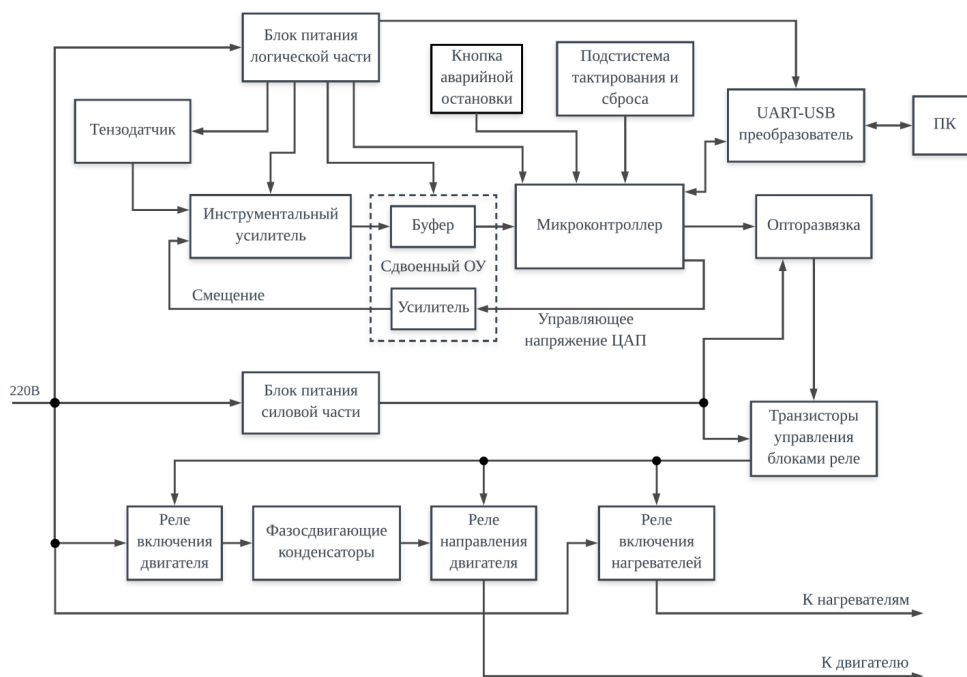


Рисунок 2. Структурная схема установки

Выходной сигнал тензодатчика поступает на входы дифференциального усилителя, где усиливается относительно уровня смещения, необходимого для компенсации разности показаний полуплечей полного моста, возникающих из-за неидентичности тензорезисторов. Для согласования уровней сигналов усилителя и микроконтроллера предусмотрен неинвертирующий усилитель сигнала ЦАП установки смещения и буфер на основе сдвоенного ОУ с задающими делителями.

Микроконтроллеру требуется для своей работы подсистема тактирования в виде кварцевого резонатора, который настроен на частоту 8 МГц.

Данные АЦП передаются на ПК с помощью адаптера USB-COM на скорости 1 МБод.

Логическая и силовая часть устройства питается от отдельных блоков питания напряжением 5 В.

Поскольку требуется управление двигателем, который питается от сети переменного тока напряжением 220 В, что повлечет за собой возникновение нежелательных электромагнитных помех, в схеме использована

гальваническая развязка цепей управления, а блок реле питается от отдельного БП для исключения перепадов напряжения в момент включения катушек.

Двигатель РД-09А требует для своей работы наличия фазосдвигающих конденсаторов.

### Выбор контроллера

Параметры контроллера, которые определяют его пригодность в разрабатываемой системе:

1. Разрядность встроенного АЦП.
2. Скорость преобразования встроенного АЦП.
3. Наличие встроенного ЦАП.
4. Тактовая частота, обеспечивающая необходимую скорость обработки информации.
5. Количество портов ввода-вывода для управления двигателем.
6. Наличие аппаратного интерфейса UART.

В оригинальной электронике стенда применялся АЦП ADS 1286, основные характеристики которого представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Характеристики исходного АЦП

Название характеристики	Значение параметра
Количество разрядов	12
Ошибка смещения	0,75 НЗР*
Ошибка усиления	До 2 НЗР*
Напряжение питания	5 В
Максимальная частота преобразования	20 кГц

\*НЗР – наименее значимый разряд

В результате анализа существующих доступных моделей МК на ядре ARM от компании STMicroelectronics был выбран контроллер STM32 F373 ССТ6. Его характеристики представлены в таблице 2.

Стоит обратить внимание, что значения ошибок смещения и усиления даны для АЦП до процесса калибровки, которая предусмотрена при отладке контроллера заводом изготовителем и происходит автоматически при запуске соответствующих микропрограмм [1].

Согласно технической документации компании STMicroelectronics [2], применение данного контроллера и входящего в его состав сигма-дельта АЦП рекомендуется для устройств, которые фиксируют электрические величины, и критичным параметром для этой задачи является быстродействие, которое у выбранного АЦП в 2,5 раза превосходит показатели оригинальной микросхемы.

Сигма-дельта АЦП контроллера имеет несколько режимов работы, но для целей данного исследования наиболее подходящим оказывается режим Single ended zero-reference [3]. В данном режиме 0 выхода

Таблица 2. Характеристики выбранного контроллера

Название характеристики	Значение параметра
Количество разрядов АЦП	16
Ошибка смещения АЦП	100 мкВ
Ошибка усиления АЦП	3 %
Напряжение питания	3,3 В
Максимальная частота преобразования	50 кГц
Максимальная тактовая частота	72 МГц
Объём ПЗУ	256 <u>кБайт</u>
Объём ОЗУ	32 <u>кБайт</u>
Количество разрядов ЦАП	12
Наличие аппаратного UART	есть
Количество портов ввода-вывода	38

соответствует половине опорного напряжения на входе АЦП,  $0V = -32\ 768$  отсчетов, а  $U_{\text{опорное}} = 32\ 768$  отсчетов.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод: характеристики МК удовлетворяют поставленной задаче, и его использование позволяет создать систему управления с заданным функционалом, поэтому разработка принципиальной схемы устройства будет основываться на требованиях к данному МК и его возможностях.

### Создание принципиальной схемы устройства управления

Для того чтобы создать принципиальную схему устройства согласно структуре разрабатываемой системы, было определено несколько ключевых точек, относительно которых будет выбрана элементная база установки:

1. Возможность использования однополярного питания для упрощения схемотехнических решений.
2. Применение совместимых по напряжению питания электронных радиоэлементов.
3. Использование малощумящих ЭРЭ для улучшения соотношения сигнал/шум чувствительного измерительного блока.
4. Использование распространенных и доступных ЭРЭ для возможности оперативного ремонта устройства в случае поломки.

После изучения рынка компонентов, анализа их технических характеристик и про-

верки их доступности для приобретения был определен перечень элементной базы для реализации принципиальной структуры устройства.

Для усиления показаний с тензодатчика применен инструментальный усилитель AD623ARZ от компании Analog Devices. Дифференциальные входы оснащаются RC-фильтрами с частотой среза 200кГц для уменьшения шума. Для управления коэффициентом усиления данной ИМС необходим задающий резистор, который в данной реализации сделан переменным прецизионным на основе многооборотного потенциометра номиналом 1 кОм.

Для буферизации выхода инструментального усилителя, а также усиления управляющего напряжения ЦАП применен двоярный операционный усилитель LMC6482AIMX с полным размахом [5] выходного напряжения от компании Texas Instruments. Согласование уровней понадобилось из-за различных рабочих напряжений инструментального усилителя и контроллера.

Для включения и смены направления двигателя, а также для включения нагревателя применено электромагнитное реле NRP05-C-05D с переключающимся выходом от компании NCR. Их управляющие катушки требуют напряжения 5 В и максимальный допустимый ток составляет 5 А.

В качестве гальванической развязки сигналов микропроцессора от силовой части



установки использованы оптопары 4N25 от компании Fairchild.

Управление электромагнитным реле осуществляется с помощью биполярных транзисторов BD139. Каждое реле имеет подключенный параллельно управляющей катушке диод в обратном направлении, предотвращающий электромагнитные выбросы напряжения катушки при ее выключении.

Для связи микроконтроллера с ПК применен преобразователь USB-UART FT232RL от компании FTDI.

### **Сборка и тестирование прототипа устройства управления**

Прототип устройства собран на печатной макетной плате. Использование макетной платы позволяет вносить изменения в её топологию, менять расположение компонентов, подключать измерительные приборы и дополнительные модули при изменении схемотехники установки.

В первую очередь, настройка устройства состоит в калибровке измерительного модуля. При отсутствии нагрузки на тензодатчике с помощью ЦАП настраивают такое смещение напряжения выхода измерительного усилителя, при котором напряжение на АЦП будет приближено к половине опорного (нулевая точка). На втором этапе настройки, используя калибровочный груз, масса которого соответствует максимальному весу, воспринимаемому тензодатчиком без нарушения его работоспособности, и при помощи регулировки коэффициента усиления добиваются

напряжения на входе АЦП, близкого к опорному. Далее, сняв нагрузку с датчика, производят повторную корректировку нулевой точки АЦП. После калибровки тензодатчика следует определить поправочный коэффициент преобразования, позволяющий переводить числовые значения с АЦП в любую удобную единицу измерения.

Тестирование прототипа осуществляется на рабочих нагрузках.

### **Выводы**

Модернизация существующей установки для измерения адгезии стала возможной благодаря разработке новой системы управления лабораторным стендом.

Применение микроконтроллера на базе архитектуры ARM позволило решить ряд технических задач:

1. Повысилась точность и качество изменений.

2. Упростилась схема наладки установки. При небольшой доработке калибровка стенда может производиться в полностью автоматическом режиме.

3. Произведено взаимодействие установки с ПК, что упростило методику проведения экспериментов, а также позволило автоматизировать процесс измерений.

4. Увеличена надежность установки.

Данная разработка может быть внедрена в любые лабораторные стенды подобного типа, что говорит о ее универсальности и возможности широкого применения.

### **Список литературы**

1. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev 5 June 2016.
2. AN4550 Application note "Getting started with STM32F373/378CC/RC/VC SDADC" Rev 1. July 2015.
3. AN4207 Application note "Getting started with STM32F37x/38x SDADC" Rev 1. December 2012.
4. LMC 6482 CMOS Dual Rail-to-Rail Input and Output Operational Amplifier Datasheet.
5. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. - № 2. - М., 2016. - С. 84-88.

### **References**

1. RM0313 Reference manual STM32F37xxx Rev 5 June 2016.
2. AN4550 Application note "Getting started with STM32F373 / 378CC / RC / VC SDADC" Rev 1. July 2015.
3. AN4207 Application note "Getting started with STM32F37x / 38x SDADC" Rev 1. December 2012.
4. LMC 6482 CMOS Dual Rail-to-Rail Input and Output Operational Amplifier Datasheet.
5. Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A. and other. Manipulation mechanisms of parallel structure and some of their applications in medicine // Quality. Innovation. Education. - № 2. - M., 2016. - P. 84-88.



**Глашев Р. М.**  
**Glashev R.M.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Шептунов С. А.**  
**Sheptunov S. A.**

*доктор технических  
наук, профессор,  
директор Института  
конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Глашев Т. Ж.**  
**Glashev T.Zh.**

*хирург экстренной службы,  
Государственное  
бюджетное учреждение  
здравоохранения  
«Межрайонная  
многопрофильная  
больница»  
г. Нарткала,  
Российская Федерация*

УДК 004.81

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-73-79

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В РОБОТ-АССИСТИРОВАННОЙ ХИРУРГИИ**

В настоящее время происходят существенные изменения во всех аспектах профессиональной жизнедеятельности, связанные с новейшими концепциями автоматизированных и роботических решений. Применение роботов в хирургии стало неотъемлемой частью медицинской практики, что подтверждается ростом количества операций, производимых при помощи робот-ассистированных комплексов в гинекологии и урологии (по данным Intuitive Surgical). Тенденция использования роботических технологий в хирургии обусловлена увеличением точности хирургических манипуляций при минимальном травмировании тканей и соседних органов. При этом у хирургических инструментов увеличено количество степеней свободы, а сама операция снижает общую кровопотерю пациента. Но при этом вероятность формирования ошибочного заключения растет при наличии субъективных факторов, к которым можно отнести объем, интенсивность, устойчивость внимания врача при выполнении операции управления камерой.

Одним из направлений повышения эффективности работы оператора-хирурга является включение в состав инструментальных средств визуализации отдельной компьютерной системы поддержки принятия решений. Она должна реализовывать часть действий, обычно выполняемых врачом: выявлять признаки патологий по изображению, формировать выводы по совокупности найденных патологий, визуально выделять область на изображении.

Актуальным становится вопрос внедрения автоматического или интерактивного распознавания отдельных областей на предварительно улучшенном изображении для автоматизации работы хирурга. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненно важного врачебного заключения ограничен.

Для исследования возможностей сверточных нейронных сетей в распознавании болезней органов малого таза была разработана автоматизированная система, реализующая модифицированную архитектуру сверточной нейронной сети. Предложена методика обучения сети

с использованием размеченных изображений с выделенными областями патологий. Полученные результаты работы системы говорят о большом потенциале использования искусственных нейронных сетей в качестве инструмента поддержки принятия решений в области робот-ассистированной хирургии. Использование большего количества обучающих выборок будет повышать качество сегментации изображения.

**Ключевые слова:** Робот-ассистированная хирургия, система визуализации, робот, медицина, интеллектуальные системы, методы сегментации, распознавание, искусственные нейронные сети, обучение, выборка.

## USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO MACHINE LEARNING IN ROBOTIC SURGERY

Significant changes occur in all aspects of professional life at the present time. This is due to the new concepts of automated and robotic solutions. The use of robots in surgery has become a big part of medicine. This is confirmed by the increase in the number of operations that are performed in gynecology and urology with robot-assisted complexes. The tendency to use robotic technologies in surgery is due to an increase in the accuracy of surgical manipulations with minimal injury to the tissues and neighboring organs.

The number of degrees of freedom is increased in surgical instruments, and the operation reduces the total blood loss of the patient.

But at the same time, the probability of forming an erroneous conclusion grows in the presence of subjective factors, which include the volume, intensity, sustainability of the doctor's attention when performing a camera control operation.

One of the ways to increase the efficiency of the operator-surgeon is to include a separate computer-based decision support system in the visualization toolkit. It should implement part of the actions usually performed by the doctor: identify signs of pathologies in the image, form conclusions on the set of pathologies found, visually highlight the area in the image.

A pressing issue is the introduction of automatic or interactive recognition of individual areas in a pre-enhanced image to automate the work of the surgeon. This is especially significant when the time limit for making a vital medical conclusion is limited. The automated system was developed to study the capabilities of convolutional neural networks for the recognition of diseases of the pelvic organs. The system implements a modified convolutional neural network architecture.

The network training method uses tagged images with selected areas of pathologies. The results of the work of the system indicate the great potential of using artificial neural networks as a tool to support decision-making in the field of robot-assisted surgery. Using more training samples will improve the quality of image segmentation.

**Key words:** robotic surgery, visualization system, robot, medicine, intelligent systems, segmentation methods, recognition, artificial neural networks, training, sampling.

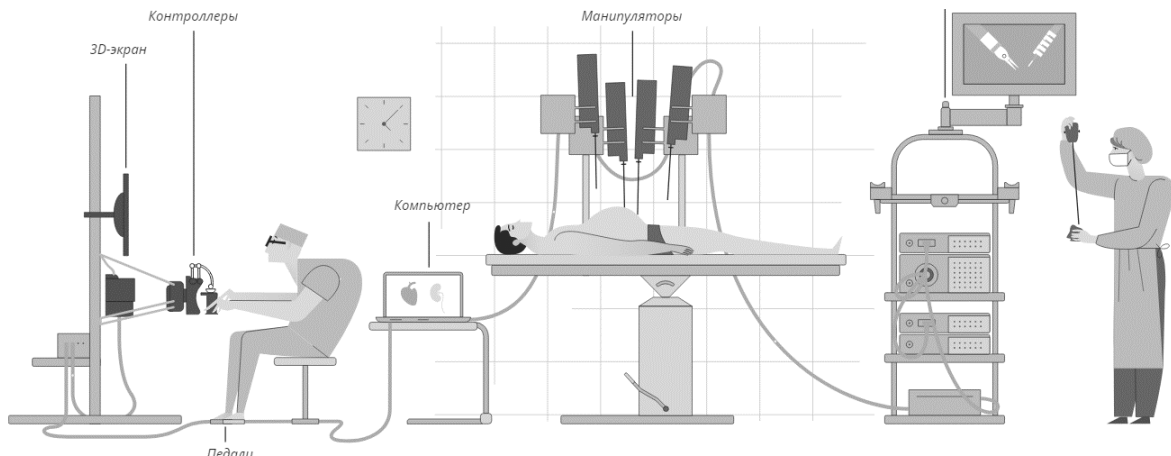
### Введение

В настоящее время происходят существенные изменения во всех аспектах профессиональной жизнедеятельности, связанные с новейшими концепциями автоматизированных и роботических решений. Применение роботов в хирургии стало неотъемлемой частью медицинской практики, что подтверждается ростом количества операций, производимых при помощи робот-ассистированных комплексов в гинекологии и урологии (по данным Intuitive Surgical).

Тенденция использования роботических технологий в хирургии обусловлена увеличе-

нием точности хирургических манипуляций при минимальном травмировании тканей и соседних органов. При этом у хирургических инструментов увеличено количество степеней свободы, а сама операция снижает общую кровопотерю пациента.

Общая структурная схема комплекса для робот-ассистированной хирургии состоит из манипуляторов, на концах которых закреплены медицинские инструменты, управляет которыми оператор-хирург с помощью контроллеров (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Структурная схема робот-ассистированного комплекса

За счет использования трехмерной системы визуализации камеры изображение получается с эффектом реальной глубины.

Таким образом, врачу предоставляется первичная информация в виде фрагментов изображения внутренней поверхности органов, служащих основой постановки врачебного заключения о необходимости вырезания того или иного участка органа. Естественно, что формирование заключения осуществляется лишь на основе субъективных факторов восприятия, представления, понимания и познания оперирующего хирурга. Необходимо учитывать, что происходит это в рамках рекомендуемых диагностических минимумов выявления того или иного заболевания.

Но при этом вероятность формирования ошибочного заключения растет при наличии субъективных факторов, к которым можно отнести объем, интенсивность, устойчивость внимания врача при выполнении операции управления камерой.

Одним из направлений повышения эффективности работы оператора-хирурга является включение в состав инструментальных средств визуализации отдельной компьютерной системы поддержки принятия решений. Она должна реализовывать часть действий, обычно выполняемых врачом: выявлять признаки патологий по изображению, формировать выводы по совокупности найденных патологий, визуально выделять область на изображении.

Автоматизация данных операций с использованием современных алгоритмов обучения способны кардинально изменить существующие процессы сбора, систематизации и обработки данных. Также существенно снизится влияние на качество проводимых операций

человеческих факторов (уменьшения объема внимания, устойчивости и т.д.), так как ряд операций будет передан машине. Важной составляющей этих процессов является не экстенсивное наращивание мощностей вычислительной техники, а ее интеллектуализация – создание принципиально новых программно-аппаратных комплексов. Основываться они должны на совершенствовании методов и средств сбора и обработки визуальной информации.

Актуальным становится вопрос внедрения автоматического или интерактивного распознавания отдельных областей или объектов на предварительно улучшенном изображении для автоматизации работы хирурга. Автоматизация работы хирурга будет сводиться к тому, что в рабочем поле, в котором проводится операция, система поддержки принятия решений будет обеспечивать быстрое, своевременное и точное получение информации о состоянии внутренних органов, присутствуют ли на них какие-либо патологии. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненно важного врачебного заключения ограничен.

Зачастую отсутствуют какие-либо автоматизированные средства обработки либо анализа изображения на экране, приходится ограничиваться визуализацией. Полученные при этом большие объемы информации могли бы быть обработаны современными универсальными математическими методами, что позволило бы их типизировать, стандартизировать и формализовать. Стоит учитывать, что именно широкое использование математических методов позволит совершенствовать качество научных исследований в медицине.

Согласно современным представлениям диагностирования патологий и последующее решение о тактике лечения любого заболевания должны быть основаны на целом комплексе параметров, включая топографические и визуально-прогностические характеристики. Изображение с камеры, являясь источником этих параметров, обеспечивает информацию об анатомическом и функциональном состояниях органа.

Важным фактом является то, что в настоящее время методы обработки динамических изображений в своем развитии отстают от методов обработки статических изображений. Это связано с тем, что остаются открытыми вопросы вычисления движения и определения динамических параметров движущихся объектов.

Учитывая специфику сегментации изображения в робот-ассистированной хирургии, необходимо эффективное применение динамических методов распознавания последовательностей изображений, которые позволят одновременно учитывать несколько кадров исходной последовательности. Повышение мощности вычислительной техники позволяет обрабатывать большие потоки данных в реальном времени. В этой связи представляется актуальной разработка автоматизированных методов обработки динамических медицинских изображений на основе динамических методов, которые могли бы эффективно решать задачи распознавания патологий на внутренних органах во время проведения роботехирургических операций.

В общем случае обработку и анализ изображения медицинских изображений можно представить в виде последовательности этапов. При этом подразумевается использование больших аппаратных мощностей при обработке сложных аналитических подходах при сегментации и анализе.

У медицинских изображений имеются определенные свойства, затрудняющие их анализ, такие как:

- 1) наличие шумовой составляющей;
- 2) большое количество анатомических элементов на изображении;
- 3) нечеткость границ их визуализации;
- 4) неравномерность распределения интенсивностей сигнала.

На этапе предварительной обработки данные проблемы решаются при помощи удаления шума и улучшения четкости визуализации анатомических и патологических структур с использованием современных методов фильтрации, которые удаляют шумы, не размывая границы исследуемой патологии.

В процессе сегментации изображение разбивается на области с общими признаками. Конечный результат анализа изображения зависит от качества сегментации, так как существующие методы работают лишь для двухмерных изображений.

В настоящее время имеется большое количество методов сегментации изображений, развивающихся благодаря новым алгоритмическим и математическим методам в теоретической информатике. Несмотря на этот факт, эффективность данных методов не всегда показывает желаемые результаты. Особняком стоит использование искусственных нейронных сетей – метода с огромным потенциалом, который в последнее время завоевывает все большую популярность.

Главным преимуществом называется обучаемость нейронных сетей. Под этим термином понимается адаптация нейронной сети к различным изменениям, что в традиционных алгоритмах ведет к необходимости пересчета.

Более того, отсутствие явных закономерностей или входных данных не препятствуют нейронной сети для нахождения решения, что в условиях поставленной задачи является однозначным преимуществом. Причем не обязательно устанавливать взаимоотношения между фотографиями заранее – сеть изучает взаимосвязи на уже размеченных фотографиях.

Необходимо понимать, что основной задачей при использовании искусственных нейронных сетей является подбор верной модели, которая будет предлагать нам ожидаемые результаты при решении конкретной поставленной задачи. К примеру, сети прямого распространения имеют ограничения по наличию других объектов в кадре при распознавании, несмотря на то, что способны выполнять сложные задачи. Это ведет к тому, что сети перегружаются и выполняют некор-

ректное распознавание, а соответственно и сегментацию.

Для преодоления проблемы перегруженности нейронной сети при большом количестве объектов в кадре используются сверточные нейронные сети. Их особенность заключается в том, что исходное изображение подается на вход не целиком, а разделенным на определенные части, что ведет к тому, что последовательно уменьшается размер изображения за счет выделения наиболее характерных признаков. Получается новый уровень абстракции за счет использования карт признаков, на первый взгляд представляющие собой искаженные размытостью копии начального изображения. Нейронная

сеть же воспринимает их как характерные признаки с содержанием инвариантов. Чередование субдискретизирующих, сверточных и полносвязных слоев приводит к тому, что одна сеть содержит в себе три различные архитектуры. Такое алгоритмическое решение ведет к тому, что достигается инвариантность к искажениям и физическим сдвигам исходного изображения, и вводятся понятия локальных полей восприятия, разделяемые веса и пространственная субдискретизация. На рисунке 2 приведена архитектура сверточной нейронной сети, которая будет использоваться для решения поставленной задачи.

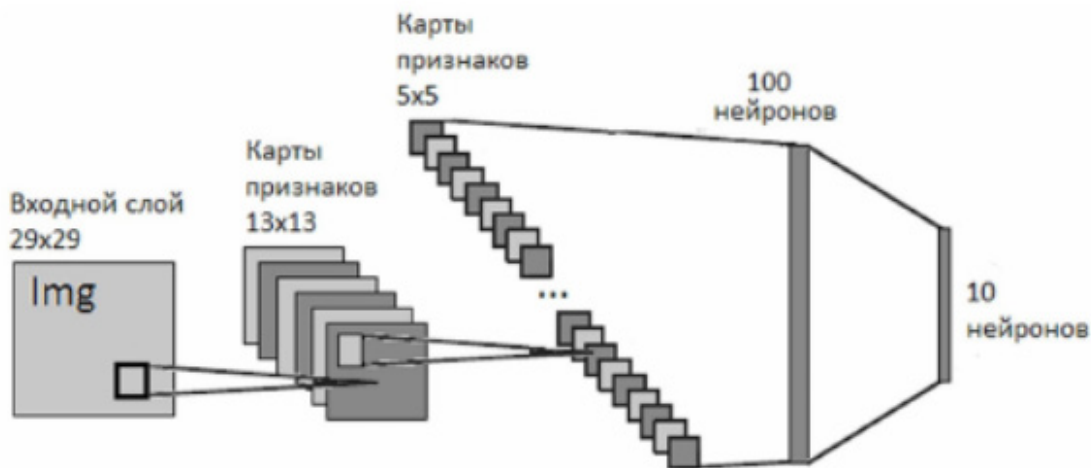


Рисунок 2. Архитектура сверточной нейронной сети.

Топология изображения будет сохраняться от слоя к слою за счет того, что на вход одного нейрона будут подаваться определенные области, например, слои. Таким образом описывается понятие локальных полей восприятия.

Идея разделяемых слоев заключена в использовании малого количества весов для большого количества связей. Пространственная субдискретизация описывается уменьшением пространственной размерности изображения.

Для обучения выбранной архитектуры нейронной сети необходимо использовать предварительно размеченную базу изображе-

ний внутренних органов с заранее выделенными областями патологии. В качестве примера использовались изображения органов малого таза при лечении воспалительных заболеваний верхних отделов половых путей. На рисунке 3 показан один из элементов, взятый в качестве обучающей выборки, на котором выделена область пиовара – яичник, заполненный гноем. Кроме того, обучение сети проводилось и на определение сактосальпинксов – мешотчатых образований маточных труб.



Рисунок 3. Пример обучающей выборки с размеченной областью

Отмечается, что модель сверточных нейронных сетей наиболее близка к строению человеческого мозга по сравнению с другими архитектурами. Это и делает данный подвид сетей предпочтительным для задач сегментации и распознавания. Обособленное извлечение признаков изображения приводит к устойчивости сети и инвариантности в изо-

бражении. Универсальность данной архитектуры сетей позволяет дополнять либо расширять ее с использованием других алгоритмов и методов из теории искусственных нейронных сетей либо из смежных областей.

Результаты, которые показывает обученная нейронная сеть при испытании, показаны на рисунке 4.

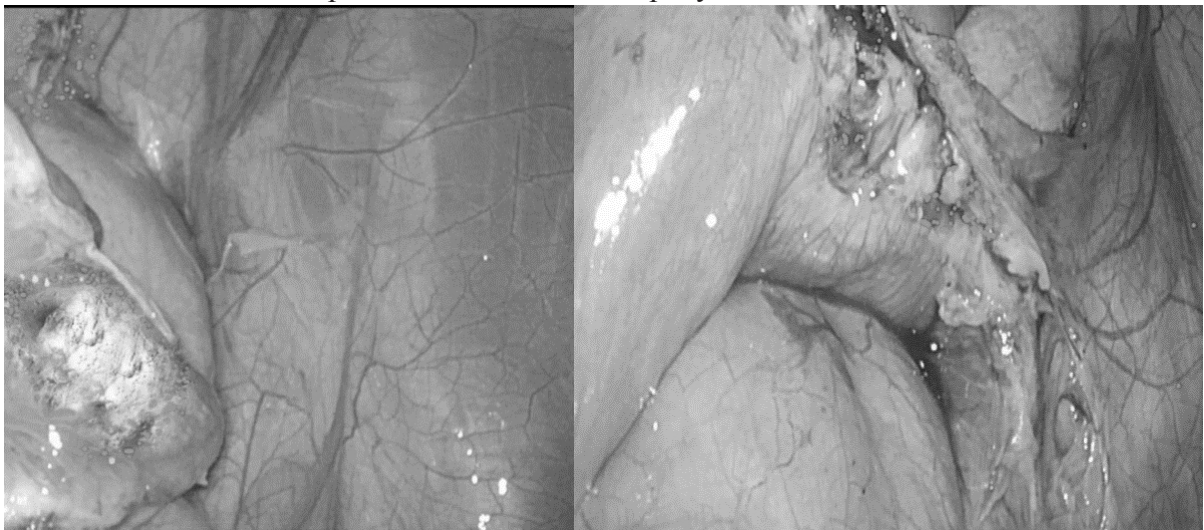


Рисунок 4. Результат работы обученной нейронной сети

### Выводы

Для исследования возможностей сверточных нейронных сетей в распознавании болезней органов малого таза была разработана автоматизированная система, реализующая модифицированную архитектуру. Предложена методика обучения сети с использованием размеченных изображений с выделенными областями патологий.

Полученные результаты работы системы говорят о большом потенциале использования искусственных нейронных сетей в качестве инструмента поддержки принятия решений в области робот-ассистированной хирургии. Использование большего количества обучающих выборок будет повышать качество сегментации изображения.

Стоит отметить, что существует взаимовлияние развития медицинской диагностики, интеллектуальных систем распознавания и сегментации. Совершенствование методики обучения позволяет существенно повысить эффективность распознавания системами искусственного интеллекта на базе нейронных сетей. С другой же стороны, развитие

теоретических аспектов теории искусственных нейронных сетей позволяет более глубоко понимать патологические отклонения и разрабатывать более совершенные методы лечения. Применение интеллектуальных систем в робот-ассистированной хирургии – очень перспективное направление.

### Список литературы

1. Барский А.Б. Логические нейронные сети. – М.: Бином, 2007.
2. Гонсалес Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Э. Вудс. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
3. Поршневу С.В. Универсальная классификация алгоритмов сегментации изображений / С.В. Поршневу // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2008. — № 3. — С. 163-172.
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.; Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. — 1104 с.
5. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений; Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — Кн. 2. — 480 с.
6. Форсайт, Дэвид А., Понс, Жан. Компьютерное зрение. Современный подход; Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.

### References

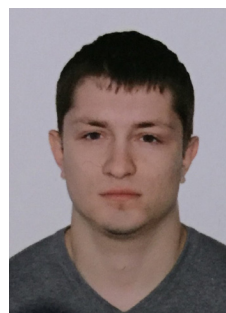
1. Barskij A.B. Logicheskie nejronnye seti. M.: Binom, 2007.
2. Gonsales, R.S. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij / R.S. Gonsales, R.EH. Vuds. — M.: Tekhnosfera, 2005. — 1072 s.
3. Porshnev, S.B. Universal'naya klassifikaciya algoritmov segmentacii izobrazhenij / S.B. Porshnev, A.O. Levashkina // Zhurnal nauchnyh publikacij aspirantov i doktorantov. — 2008. — №3. — S. 163-172.
4. Hajkin, Sajmon. Nejrionnye seti: pol'nyj kurs, 2-e izd.: Per. s angl. – M.: Vil'yams, 2006. — 1104 s.
5. Prehtt, U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij: Per. s angl. — M.: Mir, 1982. — Kn. 2/ — 480 s.
6. Forsajt, Devid A., Pons, ZHan. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyj podhod. Per. s angl. – M.: Vil'yams, 2004. – 928 s.6.





**Сабанчиев А.М.**  
**Sabanchiev A.M.**

*бакалавр Московского \*  
*государственного*  
*технического университета*  
*им. Н.Э. Баумана,*  
*г. Москва,*  
*Российская Федерация*



**Кулиев Т. И.**  
**Kuliev T.I.**

*младший научный*  
*сотрудник Института*  
*конструкторско-технологической*  
*информатики Российской академии наук,*  
*г. Москва,*  
*Российская Федерация*

УДК 629.7.08

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-80-86

## **СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В КОМПЛЕКСЕ СИМУЛЯЦИИ ПОЛЕТА**

В настоящее время большое внимание уделяется системам симуляции различных реальных процессов для тренинга определенных навыков. К таким можно отнести управление летательными аппаратами, транспортными средствами, проведение медицинских операций и т.д. Связано это с наличием очевидных преимуществ перед традиционными методами обучения, поэтому они перспективны в использовании. Но при этом остается актуальной задача создания нового уровня погружения обучаемого в ситуацию в режиме реального времени.

Применение виртуальной реальности будет рассмотрено на примере внедрения такой технологии в комплекс симуляции полета летательного аппарата. Данный комплекс представляет собой модель кабины летательного аппарата, которая способна двигаться по четырем степеням свободы по заранее записанной в нее программе либо в ручном режиме управления. Это позволяет использовать комплекс для симуляции различного рода полетов для пассажиров в целях борьбы с аэрофобией.

Добавление технологии виртуальной реальности позволит нам исследовать такую реальность, которая в иных условиях, в силу ее несопоставимости во времени, пространстве, масштабе и т.п., по причине безопасности не может быть исследована.

Использование технологий виртуальной реальности способствует вовлечению обучаемого в моделируемый процесс, а также подготавливает базу для дальнейшего развития систем обучения в виртуальной реальности, независимо от того, в какой области она используется.

На примере внедрения в существующий комплекс симуляции полета летательного аппарата системы визуализации было показано, как можно увеличить наглядность качественной концептуальной модели. При этом сама модель виртуальной реальности для большего реализма была составлена из заранее отснятого видео в формате 360°, с дальнейшей разверткой в куб. Удалось при этом встроиться в контекст с учетом механических особенностей кабины симулятора. При этом объект моделирования был представлен в пространственных и временных масштабах, соотносимых с человеком.

**Ключевые слова:** система визуализации, симулятор, хромакей, Unity, OvrVision, Skybox, кубическая текстура, реконструкция.

## VISUALIZATION SYSTEM WITH THE USE OF VIRTUAL REALITY IN THE COMPLEX OF FLIGHT SIMULATION

Currently, much attention is paid to the simulation systems of various real processes for the training of certain skills. These include control of aircraft, vehicles, medical operations, etc. This is due to the presence of obvious advantages over traditional teaching methods; therefore, the prospects for their use are justified. But at the same time, the task remains relevant. It creates a new level of immersion of the student in what is happening and in real time.

The application of virtual reality will be considered on the example of introducing such a technology into the aircraft flight simulation complex. This complex is a model of the cockpit of an aircraft, which is capable of moving along 4 degrees of freedom according to a program previously recorded in it, or in manual control mode. This allows you to use the complex for the simulation of various kinds of flights for passengers in order to combat aerophobia.

Adding virtual reality technology will allow us to explore a reality that is in different conditions – because of its incompatibility in time, space, scale, etc. due to safety cannot be investigated.

The use of virtual reality technologies contributes to the involvement of the learner in the process being modeled, and also prepares the basis for the further development of learning systems in virtual reality, regardless of what area it is used.

Using the example of introducing a visualization system into an existing flight simulation complex of an aircraft, it was shown how to increase the visibility of a high-quality conceptual model. At the same time, the virtual reality model itself for greater realism was made up of pre-shot video in the format of 360 degrees, with further scanning into a cube. At the same time, it was possible to integrate into the context taking into account the mechanical features of the simulator cabin. At the same time, the object of modeling was presented on a spatial and temporal scale, correlated with man.

**Key words:** visualization system, simulator, chromakey, Unity, OvrVision, Skybox, cubic texture, reconstruction.

### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется системам симуляции различных реальных процессов для тренинга определенных навыков. К таким можно отнести управление летательными аппаратами, транспортными средствами, проведение медицинских операций и т.д. Связано это с наличием очевидных преимуществ перед традиционными методами обучения, поэтому они перспективны в использовании. Но при этом остается актуальной задача обеспечения большего присутствия обучаемого в происходящем в режиме реального времени. Хотя исследований в данной области немного и большинство разработок являются экспериментальными, можно выделить ключевые моменты использования виртуальной реальности для обеспечения интерактивности, взаимодействия и контроля.

Применение виртуальной реальности будет рассмотрено на примере внедрения такой технологии в комплекс симуляции полета летательного аппарата. Данный комплекс представляет собой модель кабины летательного аппарата, которая способна двигаться по четырем степеням свободы по заранее записанной в нее программе либо в ручном режиме управления. Это позволяет использовать комплекс для симуляции различного рода полетов для пассажиров в целях борьбы с аэрофобией.

Добавление технологии виртуальной реальности позволит нам исследовать такую реальность, которая в иных условиях, в силу ее несопоставимости во времени, пространстве и масштабе по причине безопасности не может быть исследована.

При этом надо понимать, что максимальная степень погружения достигается при детальной реконструкции окружения, событий и особенностей определенного процесса. Таким образом, для внедрения технологии в комплекс следует решить ряд задач:

1) детальная реконструкция окружения;

2) наглядность происходящего процесса;  
3) удобство и безопасность для пользователя.

Структурная схема системы визуализации комплекса симуляции полёта представлена на рисунке 1.

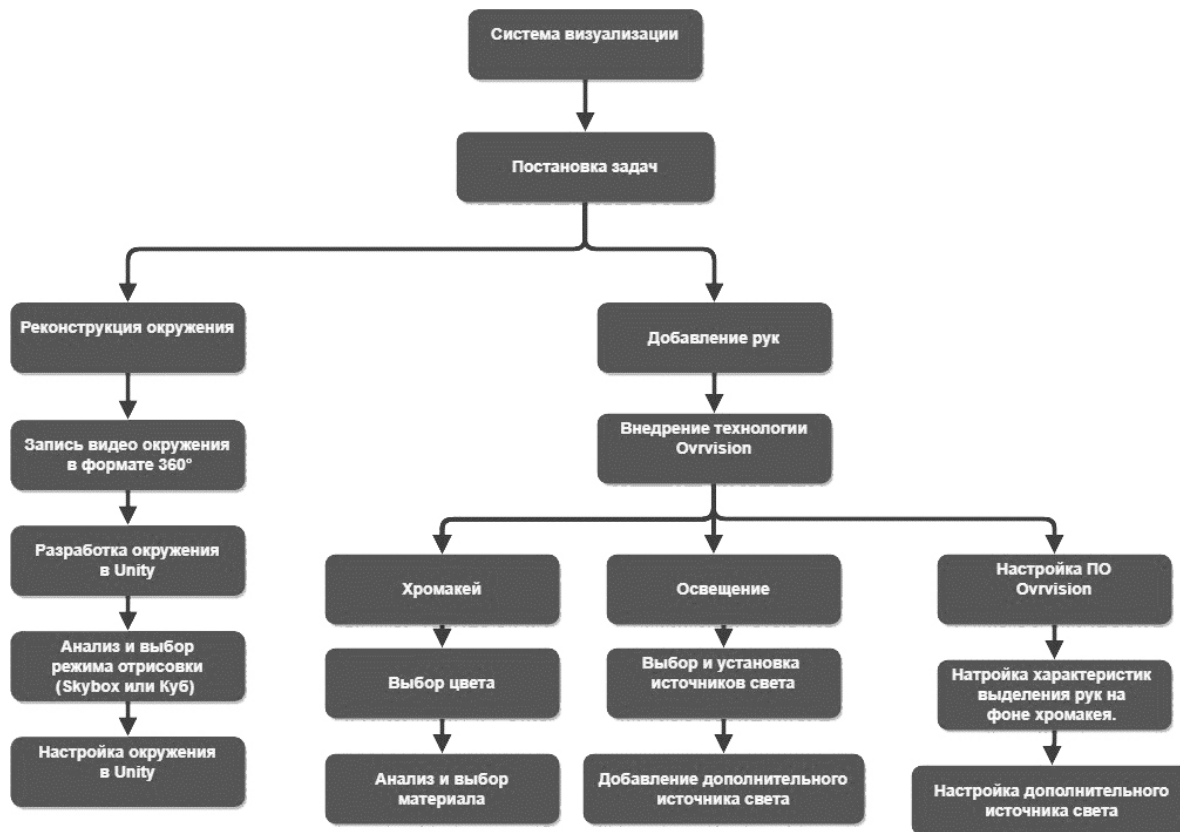


Рисунок 1. Структурная схема системы визуализации

Реконструкция процесса достигается с помощью механических особенностей самого симулятора, которые позволяют ему двигаться в четырех степенях свободы и воспроизводить практически все перемещения в пространстве, возникающие в полете. Что касается окружения, в котором оказывается пилот или пассажир, избегая 3D-моделей окружающих вещей, достаточно будет записать видео, либо фото в формате 360° и перенести его в виртуальное пространство. Разработка происходит в игровом движке Unity4.1, который обладает визуальной средой разработки, межплатформенной поддержкой и модульной системой компонентов. Проект в Unity делится на уровни – отдельные файлы, объекты и сценарии.

Skybox – это объект в трехмерной графике, играющий роль неба или горизонта. Как правило, представляет собой куб, с внутренней стороны которой натянута текстура

неба. Для переноса записанного нами видео в формате 360° было принято решение использовать данный инструмент. Первые опыты показали, что Skybox не подходит нам по ряду причин. Основной проблемой является нахождение кабины самолета на горизонте и причиной этому является масштаб отрисовки. Человек, находясь в этом виртуальном пространстве, никак не может взаимодействовать с отрисовкой. От движений головы картинка меняется столь незначительно, что изменения практически незаметны. Второстепенная проблема – это размытость и контрастность изображения.

Методы компьютерного зрения позволяют решить задачу преобразования сферического панорамного изображения или видео в кубическую проекцию. Предварительно в рабочей области необходимо создать куб, внутри которого и будет находиться человек. Геометрические размеры кабины подбира

лись эмпирическим путем, чтобы при движении головы обучаемого масштабы приближения либо отдаления от изображения соответствовали реальным.

После создания куба, сопоставимым размерами с кабиной самолета, видео формата 360° было наложено на все плоскости куба (рисунок 2).

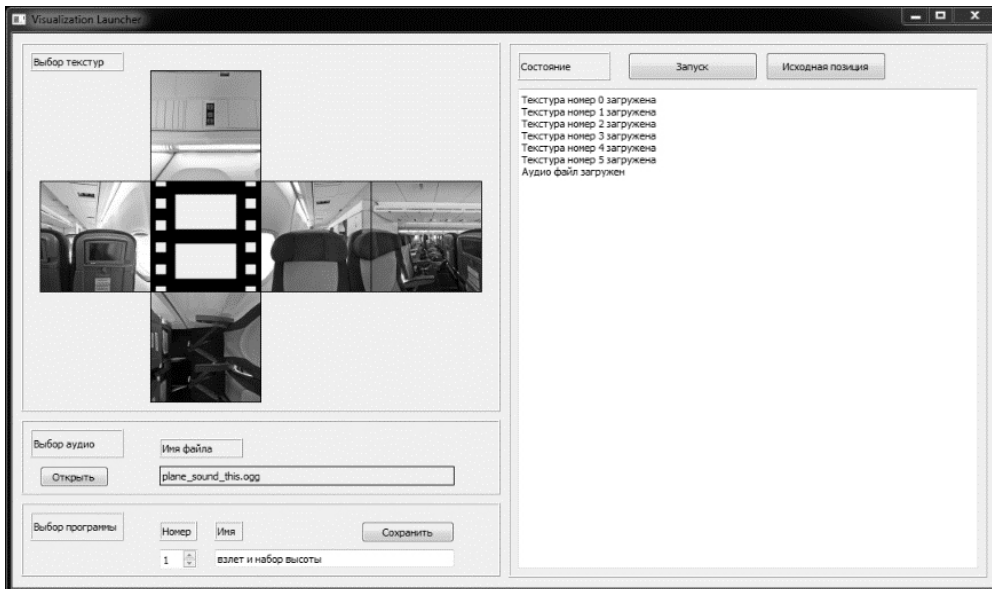


Рисунок 2. Добавление и настройка кубической текстуры

Так как видео уже было снято в формате 360°, нам не требуется его дальнейшая пост-

обработка и сглаживание углов. Результат представлен на рисунке 3.

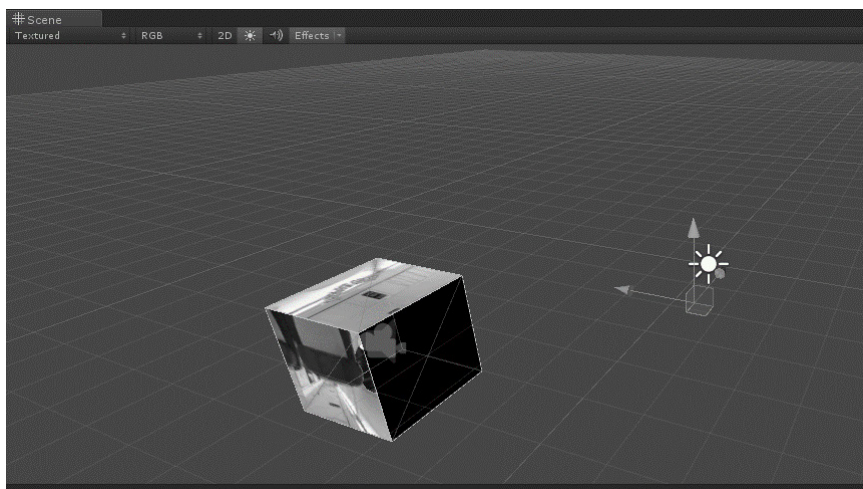


Рисунок 3. Размещение виртуальной кабины в программном пространстве Unity

Расширение виртуального пространства можно достигнуть путем введения дополнительных элементов, которые дают еще большее погружение в контекст. В рамках реализации подхода «активного восприятия», нацеленного на вскрытие взаимодействия зрительной информации и двигательной активности наблюдателя, добавление собственных рук наблюдателя является оптимальным решением. Для этого необходимо последовательно решить задачи моделирова-

ния рук, учета технических особенностей организации пространства и соответствия программы определенным концептуальным стандартам.

Моделировать кисти рук позволяют джойстики, идущие в комплекте со шлемом Oculus. Но исходя из того, что изначальной целью была глубочайшая детализация моделируемого пространства, эффективным решением является перенос реального изображения рук.

Современные информационные технологии представляют огромный выбор инструментальных и программных средств. Поставленную задачу можно решить использованием хромакея (chroma key) – технологии совмещения нескольких изображений в единую композицию. При этом в период съемки объект помещается на однотонный цветовой фон. В таком случае в результате совмещения в кадре объекта и фона существует возможность замены фона. Также в повседневной жизни хромакеем называют сам рир-экран, на фоне которого снимают.

Самыми распространёнными цветами, используемыми при рир-проецировании, являются зелёный и синий (голубой), но теоретически (и практически) может использоваться любой цвет, в том числе белый и чёрный. Единственным минусом хромакея является то, что если на одежде человека присутствует цвет, схожий с цветом фона, то человек начинает «просвечивать». Изображение в зелёном канале содержит меньше шумов, является более чистым и легче поддается качественной обработке при

композитинге. К плюсам зеленого хромакея можно еще добавить то, что цифровые камеры наиболее чувствительны к зелёным оттенкам из-за применяемых в них матриц.

При этом внедрение хромакея должно учитывать технические особенности кабины симулятора, в которой будет находиться наблюдатель. К ним можно отнести то, что она состоит из жесткого листового ПВХ. Нанесение экрана на него возможно одним из трех способов: пленочное покрытие, покраска внутреннего корпуса симулятора и тканевая обивка.

Также важной характеристикой покрытия является его реакция на освещение. Освещение в силу особенностей кабины может находиться лишь сзади наблюдателя, как показано на рисунке 4. Данное решение обусловлено тем, что наблюдатель, сидя в кресле, чаще всего смотрит перед собой и очень редко рассматривает тыльное пространство. Благодаря данному решению можно исключить прямое попадание света в камеру.

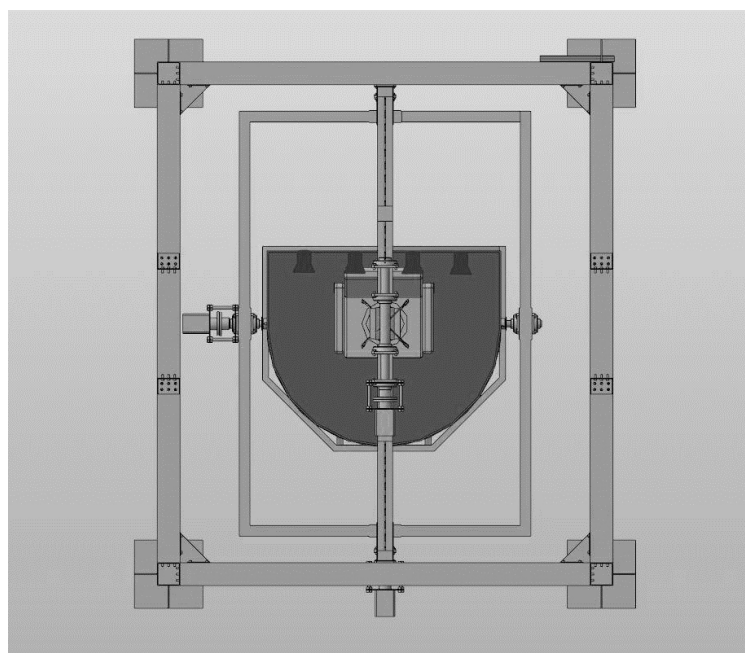


Рисунок 4. 3D-модель кабины симулятора с освещением

После установки источника света были проведены эксперименты с различного рода покрытиями.

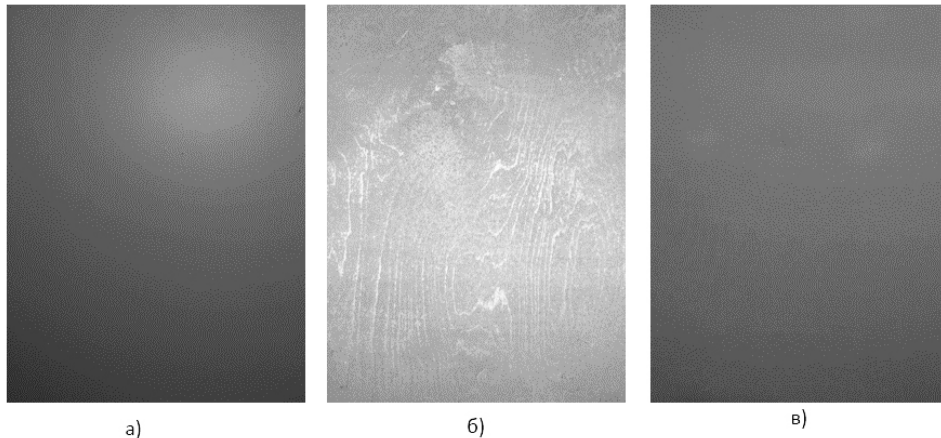
Первой была рассмотрена плёнка. После ее установки выявились явные минусы. Основная проблема заключалась в высокой концентрации отражённого света. Результат данного эксперимента показан на

рисунке 5а.

Второй проблемой является слабая износостойкость. Материал подвержен схватыванию и глубинному вырыванию. После покраски осталась основная проблема пленки: высокий уровень бликов от источника света. Выявились еще несколько проблем.

Равномерное нанесение краски – слишком трудоемкий процесс. Недостаточная укрывистость, просвечивались монтажные точки,

что наглядно показано на рисунке 5б. На рисунке 5в, в заметно, что при использовании ткани блики отсутствуют.



а) пленочное покрытие; б) покраска корпуса; в) тканевая обивка

**Рисунок 5.** Фотографии трех основных видов покрытия

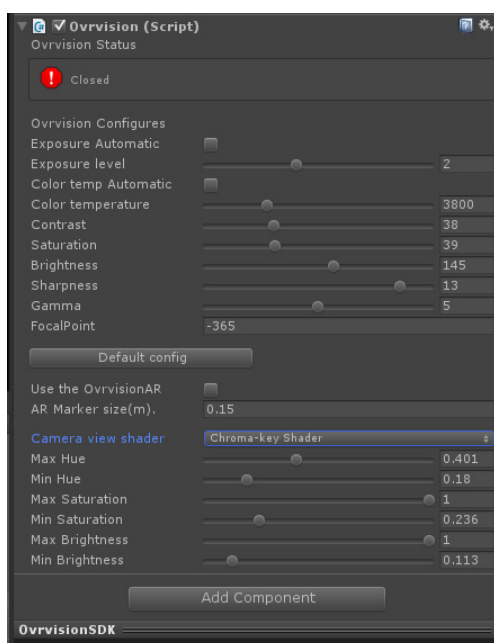
Как видно из предыдущего опыта, самым эффективным является использование тканевой обивки. Она дает преимущества в равномерном покрытии и самое главное – отсутствии бликов. На тканевой обивке свет хорошо рассеивается и не создает проблем в дальнейшей постобработке видеопотока. Упрощается задача настройки программного комплекса Ovrvision.

Что касается самого местонахождения камеры, очевидно, что она должна фиксироваться на самом шлеме виртуальной реальности. Сама камера не требует каких-либо исключительных характеристик, возможно

использование и представленных на рынке решений, например, камера от компании Ovrvision.

Предварительно необходимо произвести первоначальную настройку характеристик выделения рук на фоне хромакея.

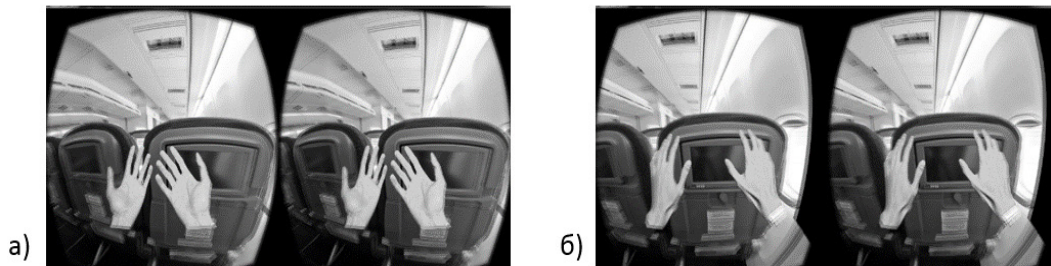
Для сохранения естественного цвета кожи рук необходимо отрегулировать показатели оттенка и насыщенности таким образом, чтобы они были оптимизированы под установленное нами освещение. Окно настройки префаба OvrVision представлено на рисунке 6.



**Рисунок 6.** Окно настройки OvrVision

При приближении рук к камере возникает негативный эффект в виде затемнения участков руки тенью от шлема и головы человека. Именно с целью устранения этого эффекта добавляется дополнительный источник освещения в виде светодиода, который крепится на корпус камеры.

Для наблюдателя виртуальное пространство будет выглядеть так, как показано на рисунке 7. Это связано с тем, что в версии 4.1 движка Unity изображение для каждого глаза настраивается отдельно.



а) без дополнительного источника света; б) с дополнительным источником света

**Рисунок 7.** Захват кадра виртуального пространства в шлеме

### Выводы

Использование технологий виртуальной реальности способствует вовлечению обучаемого в моделируемый процесс, а также подготавливает базу для дальнейшего развития систем обучения в виртуальной реальности, независимо от того, в какой области она используется.

На примере внедрения в существующий комплекс симуляции полета летательного аппарата системы визуализации было показано, как можно увеличить наглядность качественной концептуальной модели. При этом

сама модель виртуальной реальности для большего реализма была составлена из заранее отснятого видео в формате 360° градусов с дальнейшей разверткой в куб. При этом удалось встроиться в контекст с учетом механических особенностей кабины симулятора. Объект моделирования был представлен в пространственных и временных масштабах, соотносимых с человеком, что говорит о том, что технология виртуальной реальности предоставляет уникальные возможности для решения новых задач в различных областях деятельности человека.

### Список литературы

1. Карелов С.В. Виртуальная реальность станет доступна каждому // Компьютер-Пресс. – 2000. - № 8. – С.16-20.
2. Селиванов В.В. Методы Виртуальной реальности и их использование в психологии // Психология когнитивных процессов [ред. Мажар Н.Е., Селиванов В.В. и др.]. – Смоленск: Универсум, 2007. – С. 118-123. 7.
3. Зинченко Ю.П., Меньшикова Г.Я., Баяковский Ю.М., Черноризов А.М., Войскунский А.Е. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы // Национальный психологический журнал. – 2010. - № 1 (3). – С. 54-62. 10.
4. Monaha T. Virtual Reality for Collaborative E-learning / T. Monaha, G. McArdle, M. Bertolotto //Computers and Education, 2006. – December. 24.
5. Thakral S. Virtual Reality and M-Learning /S. Thakral, P. Manhas, C. Kumar // International Journal of Electronic Engineering Research. – 2010. – Vol. 2. - No. 5. – P. 659–661.

### References

1. Karelov S.V. Virtual reality will be available to everyone // Computer-Press. – 2000. - № 8.
2. Selivanov V.V. Virtual reality methods and their use in psychology // Psychology of cognitive processes [ed. Mazhar N.E., Selivanov V.V. and etc.]. – Smolensk: Universum, 2007. – P. 118-123.
3. Zinchenko Yu.P., Menshikova G.Ya., Bayakovskiy Yu.M., Chernorizov AM, Voyskunsky A.E. Virtual reality technologies: methodological aspects, achievements and prospects // National Psychological Journal. – 2010. - № 1 (3). – P. 54-62.
4. Monaha T. Virtual Reality for Collaborative E-learning / T. Monaha, G. McArdle, M. Bertolotto //Computers and Education, 2006. - December. 24.
5. Thakral S. Virtual Reality and M-Learning /S. Thakral, P. Manhas, C. Kumar // International Journal of Electronic Engineering Research. – 2010. – Vol. 2. – No. 5. – P. 659–661.



**Санников А.С.**  
**Sannikov A.S.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Шептунов С. А.**  
**Sheptunov S. A.**

доктор технических  
наук, профессор,  
директор Института  
конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Нахушев Р.С.**  
**Nakhushev R.S.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 615.849

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-87-91

## СИСТЕМА НАВИГАЦИИ В ТЕЛЕ ПАЦИЕНТА ДЛЯ РОБОТ-АССИСТИРОВАННОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В современной хирургии роботизированные комплексы получили широкое распространение. Современные хирургические вмешательства отличаются особой малоинвазивностью. Это обусловлено высоким темпом развития науки и техники. Лапароскопическая хирургия все больше заменяется робот-ассистированной, что позволяет существенно облегчить труд хирурга за счет удобства и частичной автоматизации процесса проведения операций.

Объектом исследования является задача навигации в теле пациента при проведении робот-ассистированной операции. Предметом исследования является программное обеспечение, позволяющее осуществлять распознавание изображений внутренних органов.

Актуальность темы обусловлена широким распространением робот-ассистированной хирургии, в связи с чем повышение качества проводимых операций имеет большое значение.

Целью данного исследования является разработка программного обеспечения для автоматизации задачи определения местоположения рабочей области в робот-ассистированной хирургической системе.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Рассмотрена структура робот-ассистированного хирургического комплекса.
2. Определена задача навигации в теле пациента.
3. Разработан алгоритм распознавания изображений.
4. Разработана система визуализации данных на основе технологии дополненной реальности.

Система была протестирована на видеозаписях реальных роботхирургических операций. Врачами было отмечено ускорение процесса ориентации в пространстве, повышение наглядности изображения за счет наличия информации о расположении органов. Результаты испытаний были признаны положительными, в дальнейшем планируется произвести расширенное тестирование системы.

**Ключевые слова:** искусственная нейронная сеть, распознавание изображений, роботизированная хирургия, программное обеспечение.



## NAVIGATION SYSTEM IN THE PATIENT SOMA FOR ROBOT-ASSISTANT SURGICAL COMPLEX

In modern surgery robotic complexes were widely adopted. Modern surgical interventions differ in special low-invasiveness. It is caused by the high rate of development of science and technology. The laparoscopic surgery is more and more replaced the robot-assistant that allows to facilitate significantly work of the surgeon due to convenience and partial automation of process of carrying out operations.

Object of a research is the problem of navigation in the patient's body when carrying out the robot-assistant operation. An object of research is the software allowing to carry out recognition of images of internals.

The relevance of a subject is caused by wide circulation the robot-assistant surgery in this connection improvement of quality of the performed operations is of great importance.

Objective of this research is development of the software for automation of a problem of positioning of working area in the robot-assistant surgical operation.

For achievement of a goal in work the following tasks were solved:

1. The structure the robot-assistant of a surgical complex is considered.
2. The problem of navigation in the patient's soma is defined.
3. The algorithm of recognition of images is developed.
4. The system of visualization of data on the basis of technology of augmented reality is developed.

The system was tested on videos of real robotic surgery operations. Doctors noted acceleration of process of orientation in space, increase in presentation of the image due to existence of information on an arrangement of bodies. Results of tests were recognized as positive, further is planned to make expanded testing of system.

**Key words:** artificial neural network, image recognition, robotic-surgery, software.

### Введение

В современной хирургии роботизированные комплексы получили широкое распространение. Современные хирургические вмешательства отличаются особой малоинвазивностью. Это обусловлено высоким темпом развития науки и техники. Лапароскопическая хирургия все больше заменяется робот-ассистированной, что позволяет существенно облегчить труд хирурга за счет удобства и частичной автоматизации процесса проведения операций.

Объектом исследования является задача навигации в теле пациента при проведении робот-ассистированной операции. Предметом исследования является программное обеспечение, позволяющее осуществлять распознавание изображений внутренних органов.

Актуальность темы обусловлена широким распространением робот-ассистированной хирургии, в связи с чем повышение качества проводимых операций имеет большое значение.

Целью данного исследования является разработка программного обеспечения для автоматизации задачи определения местоположения рабочей области в робот-ассистированной хирургической системе.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

1. Рассмотрена структура робот-ассистированного хирургического комплекса.
2. Определена задача навигации в теле пациента.
3. Разработан алгоритм распознавания изображений.
4. Разработана система визуализации данных на основе технологии дополненной реальности.

### Структура робот-ассистированного хирургического комплекса

Структурная схема робот-ассистированной системы представлена на рисунке 1.

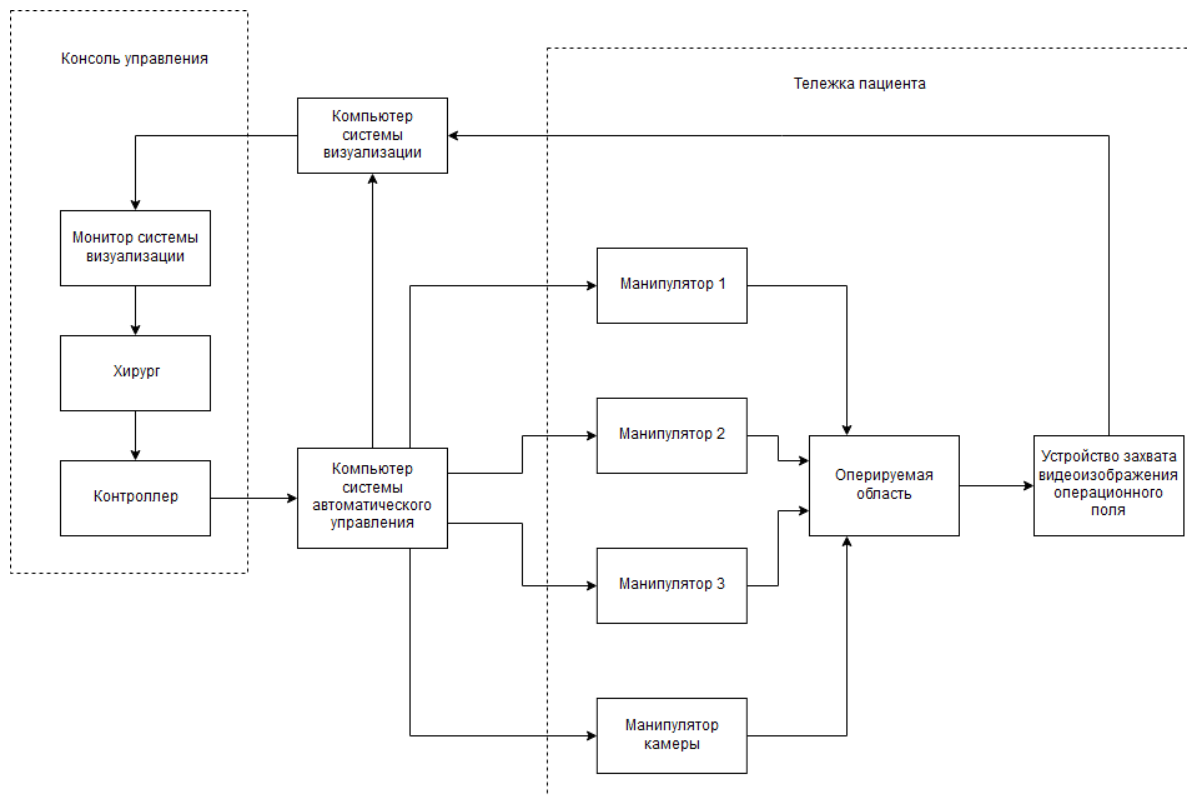


Рисунок 1. Структурная схема робот-ассистированной системы

Хирург при помощи контроллера генерирует управляющее воздействие, которое передается на компьютер системы автоматического управления. Далее сигнал передается на манипуляторы, которые взаимодействуют с рабочим полем. Изображение рабочего поля захватывается камерой и передается на компьютер системы визуализации, к которому подключен монитор.

Одним из существенных недостатков лапароскопических и робот-ассистированных операций является ограниченный угол обзора основной камеры. Частично этот недостаток компенсируется возможностью перемещения камеры. Хирург перед началом работы осматривает рабочую область с целью ориентации в теле пациента.

На сегодняшний день применяемые робото-хирургические комплексы представляют собой сложный инструмент, который выполняет команды врача и имеет минимум автоматизированных функций. Внедрение автоматизации рутинных действий позволяет упростить труд хирурга. Применение технологий машинного зрения в робототехнических системах может компенсировать недостатки ограниченного угла обзора и уменьшить время проведения операций за

счет отсутствия необходимости частого обзора рабочего поля.

#### Задача навигации в теле пациента

Навигация в теле пациента – определение местоположения манипулятора камеры, рабочих манипуляторов относительно тела пациента. В настоящее время данная задача решается хирургом вручную. Хирург, обладая сведениями о типе проводимой операции, месте ввода манипуляторов в тело, ожидает увидеть в камере известные ему внутренние органы. В ходе проведения операции хирург перемещает свою рабочую область, выполняя различные манипуляции для достижения цели операции. Если в процессе операции требуется замена хирурга, то необходимо существенное время для того, чтобы новый хирург провел осмотр рабочей зоны при помощи манипулятора камеры и решил задачу навигации.

В связи с вышеизложенными тезисами возникает необходимость в автоматизации решения задачи навигации в теле пациента. Как показано на структурной схеме робот-ассистирующего комплекса (рисунок 1), изображение рабочего поля проходит через компьютер системы визуализации.

Компьютер системы визуализации также принимает координаты манипуляторов и информацию о состоянии системы. Наличие информации о точках введения манипуляторов в тело пациента и координатами дает возможность создания алгоритма определения местоположения рабочей области хирурга в теле пациента. Существенным недостатком такого алгоритма является игнорирование анатомических особенностей пациента. Данный недостаток возможно устранить с использованием результатов предварительных обследований, таких как рентгеновские снимки, магнитно-резонансная томография. Совмещение результатов обследований с телом пациента является сложной задачей в связи с возможным изменением положений внутренних органов, а также процессом дыхания.

Задачу определения местоположения рабочего поля в теле пациента возможно решить с использованием нечетких алгоритмов. Было принято решение о реализации алгоритма навигации на основе алгоритма распознавания изображений внутренних органов. Данный подход обладает следующими преимуществами:

1. Универсальность алгоритма, подходит для большого количества операций.
2. Не требуются данные предварительных обследований пациента.
3. Не требуются данные о местах ввода манипуляторов в тело пациента.

Основными недостатками являются:

1. Необходимость точной настройки алгоритма обработки изображений.
2. Высокие требования к компьютеру системы визуализации за счет необходимости распознавания изображений в режиме реального времени.

### **Распознавание изображений органов**

Местоположение рабочего поля возможно определить на основе данных о положении соседних внутренних органов. Для этого был разработан нейросетевой алгоритм распознавания внутренних органов на двухмерном изображении.

Ядром алгоритма распознавания внутренних органов является сверточная нейронная

сеть, обученная на распознавание двумерных цветных изображений внутренних органов.

Сверточные нейронные сети обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Такие возможности достигаются за счет возможности нейросети учитывать двумерную топологию изображения.

Обучающая выборка была сформирована путем обработки видеозаписей реальных операционных вмешательств. Поскольку формирование обучающей выборки на основе видеозаписей – трудозатратный процесс, было применено программное обеспечение для коллективного формирования выборки.

### **Визуализация**

В связи с тем, что при проведении роботических операций врач воспринимает рабочую область только с использованием цифровой камеры, является целесообразным применение технологий дополненной реальности. Дополненная реальность – результат введения в поле восприятия сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации.

Результаты работы алгоритма распознавания передаются хирургу с использованием технологии дополненной реальности. Контуры распознанных органов выделяются в видеопотоке и сопровождаются названиями. Пример пользовательского интерфейса представлен на рисунке 2. Алгоритм обновления пользовательского интерфейса выполняется на компьютере системы визуализации (рисунок 2).

В процессе работы алгоритма визуализации координаты границ распознанных внутренних органов наносятся на изображение с основной камеры. Правая верхняя граница сопровождается названием внутреннего органа. Предыдущий орган, который был в кадре, сопровождается названием и стрелкой возле соответствующей границы кадра. В правом верхнем углу кадра расположены: время, имя пациента и название оперируемой полости.

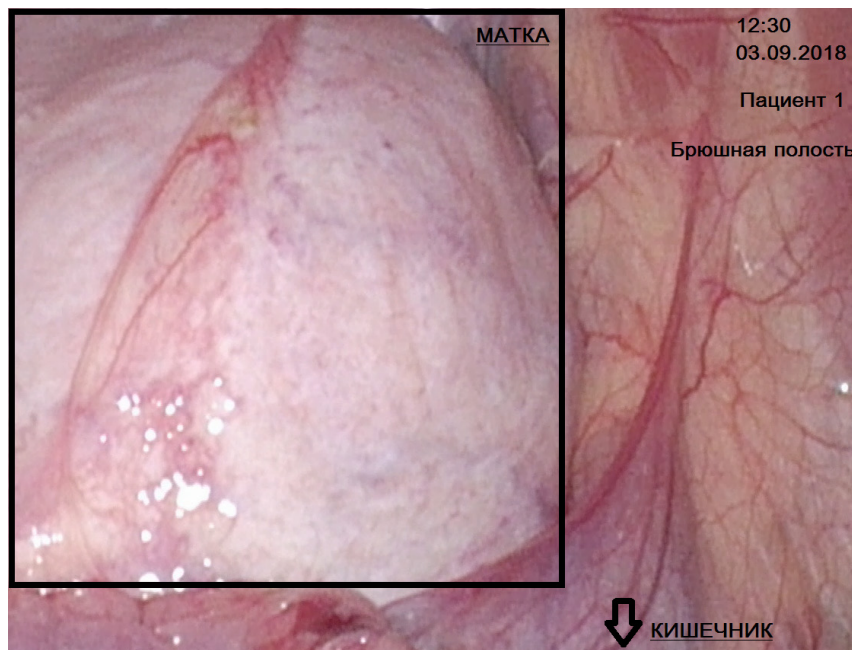


Рисунок 2. Интерфейс визуализации

#### Автоматизация перемещения манипулятора камеры

В процессе тестирования системы был предложен дополнительный прецедент использования, заключающийся в автоматическом перемещении основной камеры на указанный орган. Данный функционал был реализован, и в данный момент проводится подготовка к испытаниям. В процессе работы система, используя данные алгоритма распознавания и координаты манипулятора камеры, сохраняет в оперативную память список доступных внутренних органов. В дальнейшем хирург может выбрать орган из списка и дать команду передвижения камеры. Если в процессе автоматического перемещения возникнет нештатная ситуация, хирург может взять управление в свои руки, автоматическое перемещение будет отменено.

#### Вывод

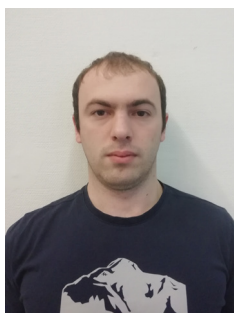
Система была протестирована на видеозаписях реальных роботохирургических операций. Врачами было отмечено ускорение процесса ориентации в пространстве, повышение наглядности изображения за счет наличия информации о расположении органов. Результаты испытаний были признаны положительными, в дальнейшем планируется произвести расширенное тестирование системы.

#### Список литературы

1. Колонтарев К.Б., Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Шептунов С.А. История развития роботических технологий в медицине.
2. Стюарт Р. Болл. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Додэка XXI, 2007.
3. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. - № 2. – М., 2016. – С. 84-88.

#### References

1. Kolontarev K. B., Pushkar D. Yu., Govorov A.V., Sheptunov S.A. The history of the development of robotic technology in medicine.
2. Stuart R. Ball. Analogue microcontroller interfaces. - M.: Dodek XXI, 2007.
3. Glazunov V.A., Dukhov A.V., Sheptunov S.A. et al. Manipulation mechanisms of a parallel structure and some of their applications in medicine // Quality. Innovation. Education. - № 2. - M., 2016. - p. 84-88.
3. Глазунов В.А., Духов А.В., Шептунов С.А. и др. Манипуляционные механизмы параллельной структуры и некоторые их применения в медицине // Качество. Инновации. Образование. - № 2. – М., 2016. – С. 84-88.



**Шаваев А.А.**  
**Shavaev A.A.**

*аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструктор-  
ско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация*



**Гирс Р.А.**  
**Girs R.A.**

*аспирант,  
Самарский университет,  
г. Самара,  
Российская Федерация*



**Цыганкова О.А.**  
**Tsygankova O.A.**

*магистрант Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва,  
Российская Федерация*

УДК 621.396

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-92-96

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА**

В данной статье описывается разработка конструкции симулятора полета летательного аппарата. Было необходимо как можно точнее симитировать все фазы полета и все возможные ощущения, возникающие при полете летательного аппарата.

Страх полетов (аэрофобия), как и любая фобия, – это навязчивое состояние, которое не связано с реальной опасностью. В последнее время аэрофобия становится все более частой. Согласно опубликованным данным Всероссийского центра изучения общественного мнения, россияне считают воздушную авиацию самым опасным видом транспорта. Количество людей, придерживающихся этой точки зрения, составило около 85 % среди опрошенных граждан страны. Различают две разновидности страха самолетов: естественное волнение перед полетом, являющееся проявлением инстинкта самосохранения, и ярко выраженную патологическую тревогу.

Лечение аэрофобии заключается в обучении пациента навыкам релаксации и контроля собственного психофизического состояния, после чего необходимым этапом является экспозиционная терапия. Для освобождения от аэрофобии пациенту необходимо раз за разом пережить под контролем психолога большое количество взлётов и посадок, тренируя навыки релаксации, пока его мозг не начнёт ассоциировать полёт с расслаблением, а не с паникой.

Для решения данной проблемы была разработана платформа, которая будет передавать все перегрузки так же, как и при взлете, посадке и во время полета летательного аппарата.

Объектом исследования является модель симулятора салона летательного аппарата. Данная задача обсуждалась и формулировалась совместно с психологами. С общей точки зрения модель симулятора должна обеспечивать эффект полного погружения в процесс моделируемого полета для достижения максимально достоверных ощущений от него при проведении терапии. Поэтому необходимо было как можно более точно симитировать все фазы полета и все возможные ощущения человека в процессе работы установки.

Предметом исследования является конструкция симулятора полета, которая позволит передать все динамические перегрузки, ощущаемые на борту летательного аппарата.

**Ключевые слова:** симулятор полета, летательный аппарат, эффект левитирующей кабины, система визуализации, технология хромакей.

## DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF A COMPLEX OF MODELING OF A FLIGHT

This article describes the design development of a flight simulator of an aircraft. It was necessary to accurately simulate all phases of flight and all possible sensations arising from the flight of an aircraft.

Every time you need to fly somewhere, you are panicked. Fear of flying (aerophobia), like any phobia, is an obsessive state that is not associated with a real danger. Recently, the emergence of aerophobia has become more urgent. According to published data from the All-Russian Public Opinion Research Center, Russians consider air aviation the most dangerous form of transport. The number of people holding this point of view was about 85% among the surveyed citizens of the country. There are two types of aircraft fear: the natural excitement before the flight, which is a manifestation of the instinct of self-preservation, and pronounced pathological anxiety.

Treatment of aerophobia consists in teaching the patient the skills of relaxation and control of his own psychophysical state, after which the necessary stage is exposure therapy. In order to get rid of aerophobia, the patient needs to experience, over and over again, under the control of a psychologist, a large number of takeoffs and landings, training relaxation skills until his brain begins to associate flight with relaxation, rather than panic.

To solve this problem, a platform was developed that will transmit all overloads in the same way as during takeoff, landing and during the flight of the aircraft.

The object of the study is the model of the aircraft cabin simulator. This task was discussed and formulated in conjunction with psychologists. From a general point of view, a simulator model should provide the effect of full immersion in the process of a simulated flight in order to achieve the most reliable sensations from it during therapy. Therefore, it was necessary to simulate as accurately as possible all phases of the flight and all possible human sensations during the installation operation.

The subject of research is the development of the flight simulator design, which will allow to transfer all the dynamic overloads felt on board the aircraft.

**Key words:** flight simulator, aircraft, levitating cockpit effect, visualization system, chromakey technology.

### Введение

Страх полетов (аэрофобия), как и любая фобия, – это навязчивое состояние, которое не связано с реальной опасностью. В последнее время аэрофобия становится все более частой. Согласно опубликованным данным Всероссийского центра изучения общественного мнения, россияне считают воздушную авиацию самым опасным видом транспорта. Количество людей, придерживающихся этой точки зрения, составило около 85 % среди опрошенных граждан страны. Различают две разновидности страха самолетов: естественное волнение перед полетом, являющееся проявлением инстинкта самосохранения, и ярко выраженную патологическую тревогу.

Лечение аэрофобии заключается в обучении пациента навыкам релаксации и кон-

троля собственного психофизического состояния, после чего необходимым этапом является экспозиционная терапия. Для освобождения от аэрофобии пациенту необходимо раз за разом пережить под контролем психолога большое количество взлетов и посадок, тренируя навыки релаксации, пока его мозг не начнет ассоциировать полет с ослаблением, а не с паникой.

Для решения данной проблемы была разработана платформа, которая будет передавать все перегрузки так же, как и при взлете, посадке и во время полета летательного аппарата.

Объектом исследования является модель симулятора салона летательного аппарата. Данная задача обсуждалась и формулировалась совместно с психологами. С общей

точки зрения модель симулятора должна обеспечивать эффект полного погружения в процесс моделируемого полета для достижения максимально достоверных ощущений от него при проведении терапии. Поэтому необходимо было как можно более точно симитировать все фазы полета и все возможные ощущения человека в процессе работы установки.

Предметом исследования является конструкция симулятора полета, которая позволит передать все динамические перегрузки, ощущаемые на борту летательного аппарата.

### Разработка конструкции симулятора

Для достижения максимально достоверных ощущений полета было принято решение о создании подвешенной на тросе кабины симулятора. Такая конструкция [1] обеспечивает кабину необходимой скоростью перемещения по вертикальной оси. Это дает ей возможность менять высоту, обеспечивая достаточную перегрузку при маневрах. Также важным плюсом такой конфигурации

является визуальный эффект «левитирующей» кабины. Такой вид конструкции симулятора полета оказывает положительное психологическое воздействие на пациента еще до начала проведения терапии.

К разрабатываемой конструкции [2] предъявлялись следующие требования:

1. Должна обеспечиваться возможность подъема в воздух человека и конструкций системы визуализации.

2. Наличие перемещений по трем угловым осям.

3. Кабина симулятора должна подниматься в воздух за счет тянущих механизмов в верхней части конструкции.

Симулятор полета (рисунок 1) в целом представляет собой кабину 1, закрепленную на карданном подвесе, который осуществляет перемещение [3] по осям крена 4, тангажа 3 и рыскания 2. Каждая ось приводится в движение сервоприводом.

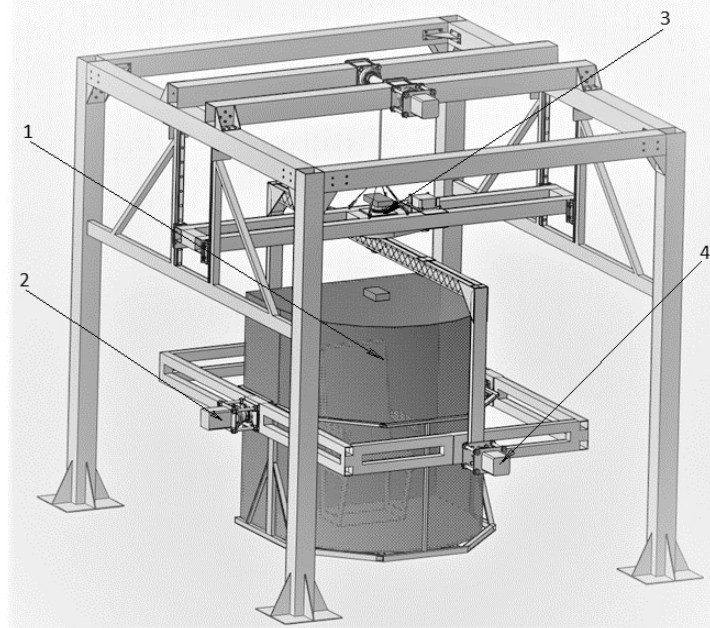
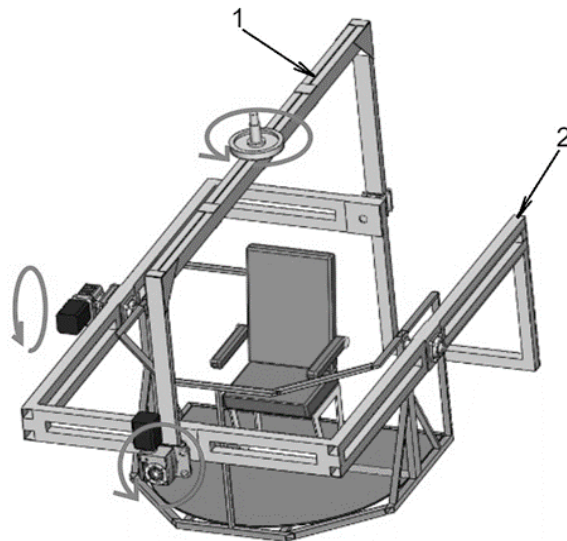


Рисунок 1. Симулятор полета

Поскольку конструкция должна быть подвешенной, существует необходимость в проработке несущих узлов (рам) без их крепления (заделок) к основанию кабины симулятора. В связи с этим был разработан карданный механизм, обеспечивающий необходимую кинематику движения. Также разработана несущая конструкция, обеспечивающая работу данного механизма. Данная конструкция состоит из двух рам.

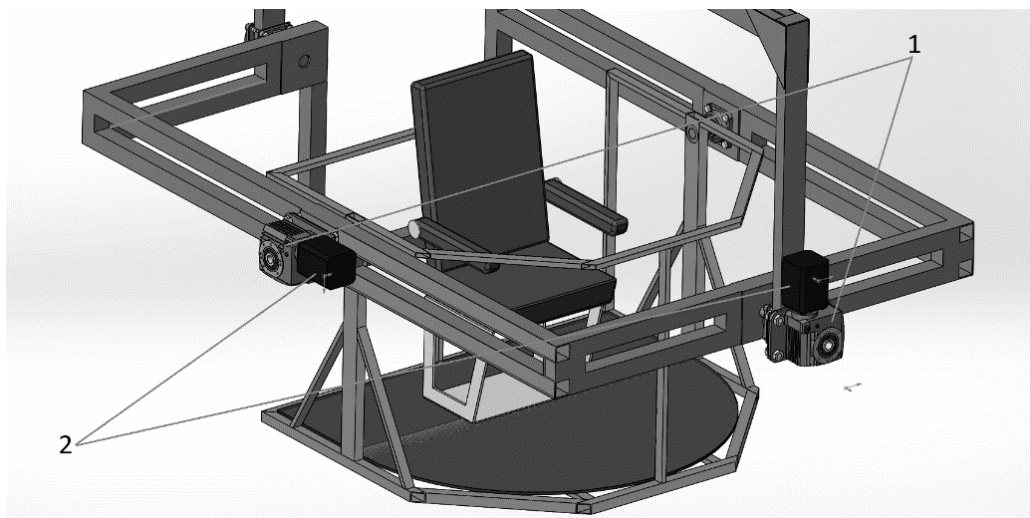
Рама 1 (рисунок 2) является основной, к ней крепится опоясывающая рама 2. На рисунке 2 стрелками показаны степени свободы, обеспечиваемые работой карданного механизма.



**Рисунок 2.** Карданный механизм

Для обеспечения необходимой точности и запаса крутящего момента приводов необходимо использование прецизионных редукторов. Целесообразно использование червячных редукторов 1 (рисунок 3), так как в процессе сборки редукторов других типов с сервоприводами 2 было бы необходимо сое-

динять их последовательно, что плохо [4] сказалось бы на развесовке кабины из-за увеличения общего габарита конструкции. Использование червячного редуктора дает возможность более компактного расположения приводных механизмов.



**Рисунок 3.** Схема расположения приводов карданного механизма

Одним из предъявляемых требований было наличие конструкций для обеспечения правильной работы системы визуализации. Система визуализации представляет собой:

1. Шлем виртуальной реальности с установленными на нем видеодинамометрами.
2. Персональный компьютер, установленный в кабине.
3. Источник бестеневого освещения.

Для максимального погружения в моделируемую обстановку в системе моделирования

полетов используется технология хромакей, которая позволяет показать испытуемому его части тела на фоне моделируемого [5] окружения. Принцип работы технологии хромакей требует равномерного фона, на котором возможна работа алгоритма выделения предметов, а также источника освещения, который создает минимальное количество теней перед испытуемым. В связи с этим было принято решение о проектировании закрытой конструкции подвижной кабины.



Система звукового сопровождения процесса моделирования состоит из следующих частей:

- 1) активная стереосистема;
- 2) пассивный сабвуфер;
- 3) виброизлучатель низких частот.

Поскольку конструкция кабины закрытая, было принято решение об установке элемен-

тов системы звукового сопровождения непосредственно в кабине, для чего были разработаны крепежные элементы. Расположение элементов системы визуализации и элементов системы звукового сопровождения представлено на рисунке 4.

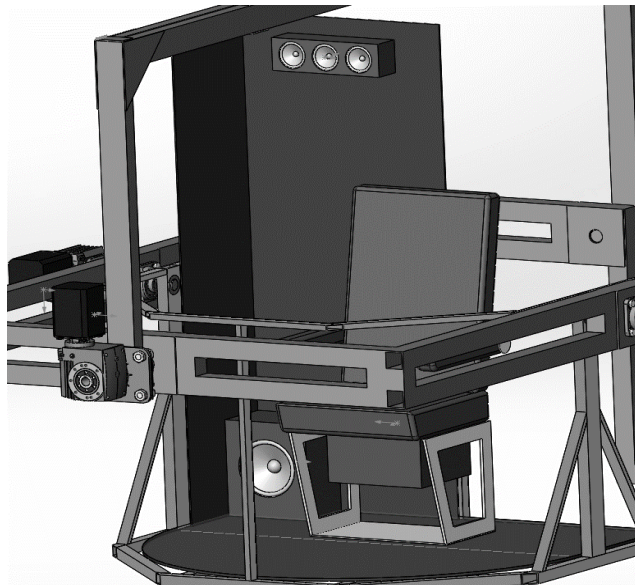


Рисунок 4. Расположение звуковой аппаратуры

#### Вывод

В данной статье рассмотрены особенности конструкции системы моделирования полетов. Были сформулированы требования, предъявляемые к конструкции, обусловленные прецедентами использования системы, а также необходимостью установки систем визуализации и звукового сопровождения.

В результате испытаний система подтвердила свою работоспособность, была произведена серия тестовых перемещений. В настоящее время разработка системы завершена, прототип находится на стадии расширенных испытаний.

#### Список литературы

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов, промышленных роботов и роботизированных комплексов: учебное пособие. – М.: Высш.школа, 1986. – 264 с.
2. Требования к данным конструкции и к данным характеристик авиационных тренажеров. IATA. – 7-е издание, 2009.
3. Проектирование самолетов / под ред. М.А. Погосьяна. – 5-е изд., перераб. и доп. –

М.: Инновационное машиностроение. — 864 с.: ил.

4. Левитан Ю.В. и др. Червячные редукторы: справочник. – Л.: Машиностроение, 1985.

5. Dr. Sunil Murthy. Motion Control: Electrifying the feel of flight. Machine Design.

#### References

1. Burdakov SF, Dyachenko V.A., Timofeev A.N. Designing of manipulators, industrial robots and robotic complexes. A study guide. – Moscow: Higher School, 1986. – 264 p.
2. Requirements for design data and data for the characteristics of aircraft simulators. IATA. – 7th edition, 2009.
3. Aircraft design / ed. M.A. Pogosyan. – 5th ed., Revised. and add. – Moscow: Innovative engineering. – 864 pp.
4. Levitan Yu.V. and other worm gearboxes. Directory. – L.:Mechanical Engineering, 1985.
5. Dr. Sunil Murthy. Motion Control: Electrifying the feel of flight. Machine Design.



**Константян В.Н.**  
**Konstantyan V.N.**

бакалавр Московского  
государственного  
технического университета  
им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Нахушев П.С.**  
**Nakhushev R.S.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация



**Яхутлов У. М.**  
**Yakhutlov U.M.**

аспирант, младший  
научный сотрудник  
Института конструкторско-технологической  
информатики  
Российской академии наук,  
г. Москва,  
Российская Федерация

УДК 621.396

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-97-103

## СИСТЕМА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ КОМПЛЕКСА СИМУЛЯЦИИ ПОЛЕТА

В данной статье рассмотрена структура и принцип работы инерциальной навигационной системы (ИНС) комплекса симуляции полета летательного аппарата, использующего технологию дополненной реальности. Проведен анализ построения таких систем, и выбрана наиболее подходящая для данной задачи её структура. Предложен комплекс доработок типовой системы ИНС для её адаптации для решения поставленной задачи. Рассмотрено проектирование и дальнейшее тестирование системы навигации кабины авиационного симулятора на основе датчиков углового положения и линейных ускорений, основанной на трехосевых МЭМС гироскопах и акселерометрах. Использована бесплатформенная ИНС (БИНС) без гиросtabilизированной платформы. Решены главные проблемы – уход нулевой точки гироскопов и высокий уровень шумов показаний акселерометров, приводящие со временем к неточным выходным данным. Повышена точность навигации за счет добавления магнетометра в систему. Концепция реализована в виде электронной системы управления комплексом и протестирована. Тестирование показало, что уход координат нулевых точек гироскопов не существенен. Помехи акселерометров хорошо фильтруются фильтром Маджвика, а возможные проблемы с определением магнитного полюса Земли магнетометром, находящимся в непосредственной близости от металлических частей конструкции, решены закреплением постоянного магнита перед модулем ИИМ. Важный вклад в повышение точности внесло разделение модулей, при котором один ИИМ, расположенный на оси вращения кабины в плоскости рыскания, дополняет датчик, находящийся непосредственно на кабине.

Таким образом, была разработана простая в изготовлении, функциональная и универсальная замена энкодерам для тех случаев, когда их применение затруднено или нецелесообразно. Перспективы применения данной системы включают в себя сферу роботизации, высокоточного производства с помощью станков ЧПУ, ассистированной или автоматизированной медицины и другие сферы деятельности человека, где необходимо точно определять положение объекта в пространстве и управлять им.

**Ключевые слова:** система инерциальной навигации, гироскопы, управление положением, фильтр Маджвика, симулятор полета, система ориентации.

## FLIGHT SIMULATOR INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

In this article, Virtual Reality Flight Simulator Inertial Navigation System (INS) main structure and operation principles was reviewed. INS design methods was analyzed, after that the optimum scheme have been chosen. The complex of improvements of the basic INS for its adaptation is offered. Design and further testing of cabin navigation system on the basis of MEMS gyroscopes and accelerometers is considered. INS without the gyrostabilized platform was used. The main problems float of a zero point of gyroscopes and high noise of accelerometers are solved. Navigation accuracy due to addition of the magnetometer in system is increased. The concept is realized in the form of an electronic control system and tested. Testing showed that floating gyroscopes zero points of is not essential. Hindrances of accelerometers are well filtered by the Madgwick filter. Possible problems with undefinition of the Earth magnetic pole by the magnetometer is solved by placing a permanent magnet in front of the IMU module. The important contribution of increasing accuracy was made by division of modules where one IMU located on yaw axis of a cabin and another one – directly on a cabin. So, functional and universal replacement of encoders was developed for cases when their application is complicated or not needed. The prospects of use of this system include the robotics, high-precision CNC machines, assisted or automated medicine and other fields of activity where it is necessary to define precisely the position of object and operate it.

**Key words:** Inertial navigation system, gyro sensors, position control, Madgwick filter, flight simulator, orientation system.

### Введение

Современные манипуляторы и подвижные механизмы имеют сложную конструкцию, большой диапазон перемещений и большие, развиваемые ими, усилия, при этом обладая достаточно малыми размерами и компактной внутренней структурой. Такие сочетания характеристик стали возможными за счет применения сервоприводов на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока и прецизионных редукторов, рассчитанных на большие крутящие моменты. На этом фоне важной задачей становится возможность точного определения положения рабочего органа манипулятора или отдельного элемента конструкции. Обычно такие задачи решаются применением конечных выключателей для определения границ безопасного перемещения и энкодеров на валах электродвигателей сервоприводов. Однако не всегда такие методы удовлетворяют требованиям технического задания в плане точности определения положения и соответственно не обеспечивают безопасности и надежности работы привода автоматизированной системы. Концевые выключатели подвержены коррозии, механические энкодеры – износу, магнитные – требовательны к расположению относительно металлических частей конструкции, а оптические – подвержены загрязнению и влиянию температур [1].

При условии, что выходное звено системы имеет несколько степеней свободы, определение его пространственного положения через параметры положений валов сервоприводов может быть затруднено или невозможно. В данном случае объектом исследования является кабина авиационного симулятора, у которой имеется 4 степени свободы.

Данные условия поднимают актуальность проблемы проектирования альтернативных методов определения пространственного положения сложных механических систем с большим количеством степеней свободы.

Предметом исследования данной статьи как раз является проектирование и дальнейшее тестирование системы навигации выходного звена роботизированной системы (кабины авиационного симулятора), которая построена на основе датчиков углового положения и датчиков линейных ускорений.

В рассматриваемом случае комплекса симуляции полета летательного аппарата традиционные методы определения положения оказались не применимы, поэтому его систему ориентации было решено проектировать на основе инерциальной системы навигации, основанной на трехосевых МЭМС гироскопах и акселерометрах.

Симулятор полета представляет собой модель кабины летательного аппарата, закрепленную на подвесе, оси которого приводятся в действие сервоприводами. Таким образом осуществляется перемещение по осям крена, тангажа и рыскания. Данная конструкция подвешена на тросе и салазках в воздухе, что дает ей возможность изменять высоту, обеспечивая перегрузку при маневрах. В кабине закреплено кресло пассажира, а её стенки покрыты экраном зеленого цвета для создания эффекта дополненной реальности

сти путем замены фона на трехмерную модель кабины или салона самолета. Для создания дополненной реальности используется программно-аппаратный продукт от компании Oculus VR. Данное устройство снабжено своей встроенной инерциальной системой навигации, и использование гироскопов в качестве датчиков положения кабины позволит проще интегрировать шлем виртуальной реальности в состав системы в будущем.

Внешний вид комплекса представлен на рисунке 1.

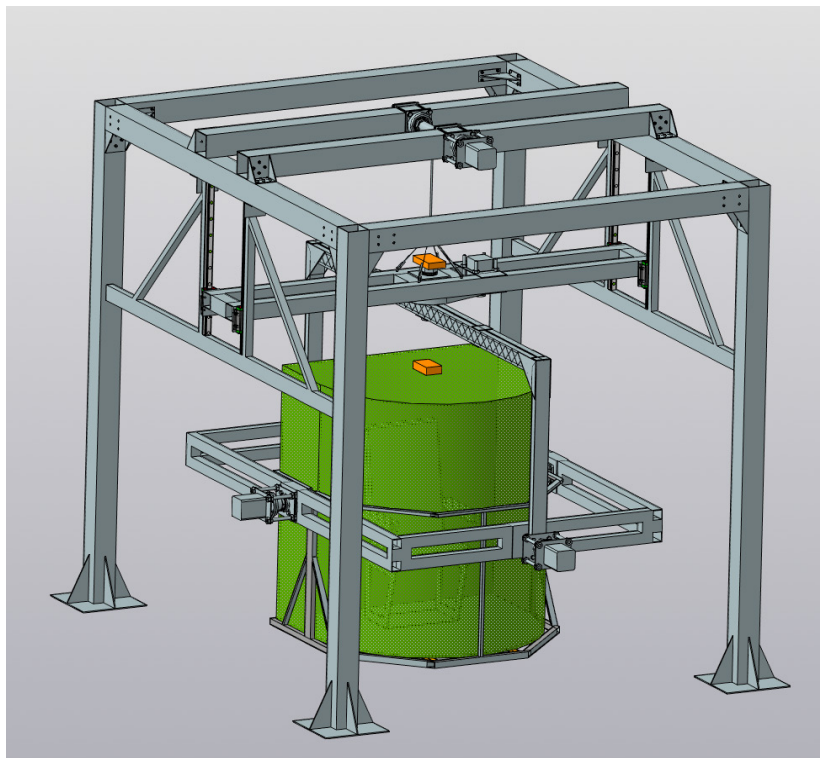


Рисунок 1. Внешний вид комплекса

Особенностью такой конструкции является относительно низкая ее жесткость и наличие люфтов в редукторах сервоприводов, что препятствует точному определению углов Эйлера кабины с опорой на показания энкодеров бесколлекторных электродвигателей системы. Еще одной проблемой являются большие диапазоны перемещений кабины, что приводит к сложностям при проводке кабелей передачи данных и увеличивает их длину и, как следствие, понижает помехозащищенность системы в условиях одновременной работы 4 приводов мощностью по 1,5 кВт и большого количества управляющей электроники.

### Обзор принципов построения систем инерциальной навигации

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) являются наиболее востребованными на сегодняшний день [2]. Перед другими навигационными системами БИНС имеют такие преимущества, как:

- 1) высокая универсальность;
- 2) полная автономность действия, высокая помехозащищенность;
- 3) возможность высокоскоростной выдачи информации.

Бесплатформенные ИНС (БИНС) не используют для стабилизации своих инерциальных датчиков сложных и дорогостоящих технических устройств, таких как гиросtabilизированные платформы. К числу

потенциальных преимуществ БИНС по сравнению с платформенными ИНС можно отнести: меньшие размеры, массу и энергопотребление, существенное упрощение механической части системы и ее компоновки и повышение надежности системы, сокращение времени установки начальных параметров, универсальность системы, поскольку переход к определению параметров навигации осуществляется алгоритмически.

В аналитических системах гироскопы и акселерометры смонтированы жестко на объекте. Эти системы называют бескарданными или бесплатформенными инерциальными

системами. Угловые скорости объекта измеряются гироскопами, а переносные ускорения – акселерометрами. Вычислитель «запоминает» начальную ориентацию и определяет местоположение объекта в любой момент времени.

Для всех типов систем необходим вычислительный комплекс, чтобы рассчитывать координаты движущегося объекта.

В общем случае ИНС представляет собой систему, состоящую из блока гироскопов и блока акселерометров, а также систему интеграторов и сумматоров. Структура системы показана на рисунке 2.

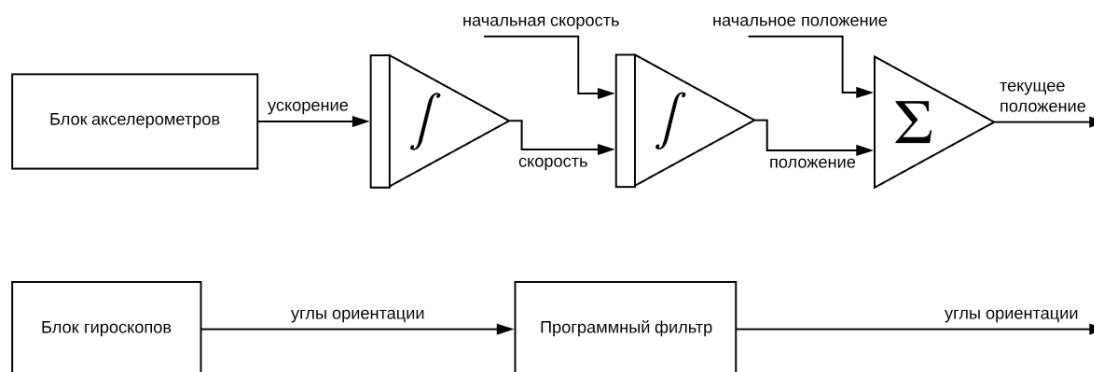


Рисунок 2. Типовая система БИНС

Данная схема имеет ряд существенных недостатков, основной из которых – дрейф значений датчиков и как следствие – постепенное накопление ошибки определения положения. При разработке системы ориентации комплекса ставилась задача минимизировать или исключить накопление данной ошибки и добиться безопасной стабильной работы ИНС.

#### Адаптация БИНС для применения в качестве датчика положения выходного звена

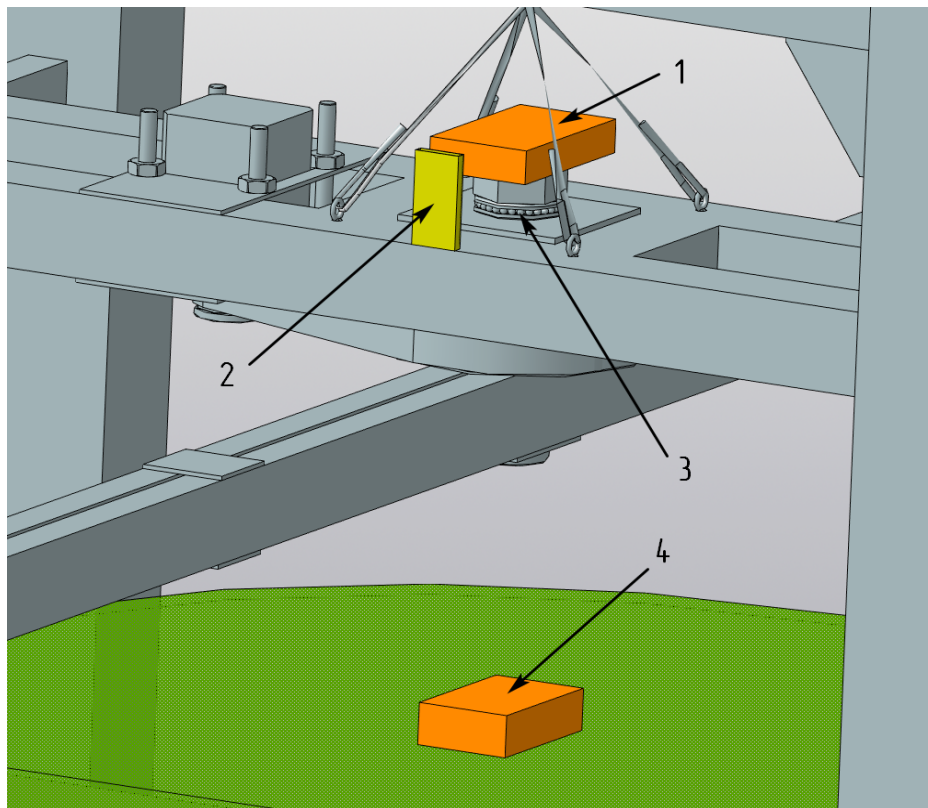
В ходе анализа вышеперечисленных проблем и методов их решения был выявлен перечень изменений в структуре системы, определяющий её конечный состав. Главными проблемами являются уход нулевой точки гироскопов и высокий уровень шумов показаний акселерометров, приводящие со временем к неточным выходным

данным. Как следствие, может возникнуть ошибка определения положения горизонта, при котором вертикальные перемещения могут стать причиной изменения показаний координат в других осях из-за паразитной составляющей силы, направленной вдоль перпендикулярных осей чувствительности датчиков. В данных условиях повысить точность навигации можно добавив магнетометр в систему. Он позволит определять положение относительно магнитных полюсов планеты.

В этих условиях было решено использовать две независимые БИНС, первую – для определения крена и тангажа кабины и вторую – для рыскания и высоты. При этом датчики второй системы было решено расположить непосредственно на валу, который вращает кабину и ее подвес в горизонтальной плоскости.

При наличии большого количества металлических деталей показания магнетометра могут искажаться, поэтому для его стабильной работы на конструкции комплекса симу-

ляции был закреплен постоянный магнит на стойке. Взаимное расположение компонентов БИНС показано на рисунке 3.



1 – модуль ИНС определения высоты и рыскания, 2 – стойка с постоянным магнитом, 3 – опорный подшипник, 4 – модуль ИНС определения крена и тангажа

**Рисунок 3.** Расположение компонентов

В качестве математического обеспечения работы системы выступает фильтр Маджвика, который по результатам тестирования показал наилучшие результаты характеристик стабильности и точности ориентации. Большим плюсом данного фильтра является невысокая вычислительная сложность (277 операций) и за счет этого возможность использования недорогих микроконтроллеров (МК) STM32F303VCT6 в качестве вычислителя модуля с сохранением высокой частоты вывода данных. Согласно проведенным исследованиям среднеквадратическая ошибка определения положения при использовании данного фильтра составляет  $0,6^\circ$  при статичном положении и не превышает  $0,8^\circ$  при движении [3].

Выбранная структура требует калибровки перед использованием, что вызывает необходимость включения в состав системы БИНС средств для ее проведения. Калибровка

системы проходит благодаря срабатыванию в четко определенных положениях конечных выключателей. Их использование также позволяет реализовать механизм аварийного отключения приводов при отклонении кабины на углы, превышающие максимально допустимые.

В качестве инерциальных измерительных модулей (ИИМ) были использованы готовые отладочные платы STM32F3DISCOVERY со встроенными гироскопами L3GD20 и блоком акселерометров, совмещенным с магнитометром LSM303DLHC производства компании STMicroelectronics [4]. Данное решение позволяет добавлять в систему дополнительные модули и функции благодаря наличию у этих МК большого количества встроенных интерфейсов передачи данных и достаточно высокой их вычислительной мощности и

большому количеству оперативной (48 КБайт) и постоянной памяти (256 КБайт) [5], что позволяет усложнять ПО без значительного уменьшения частоты расчета фильтра.

В данном случае были реализованы дополнительные возможности периферии выбранного МК. В каждый ИИМ был добавлен модуль Bluetooth для связи с остальными компонентами системы. Данный протокол передачи данных был выбран, потому что обеспечивает необходимую скорость обмена информацией и радиус стабильной работы. Его использование обусловлено сложностью

проводки кабелей через большое количество сочленений конструкции и, как следствие, возможностью их обрыва и последующего возникновения внештатной ситуации. Помимо этого, использование данной технологии позволяет легко интегрировать другие устройства (например, пульт управления установкой) в состав системы, что и было сделано в рассматриваемом случае. Окончательный состав и структура системы управления комплексом симуляции представлена на рисунке 4.

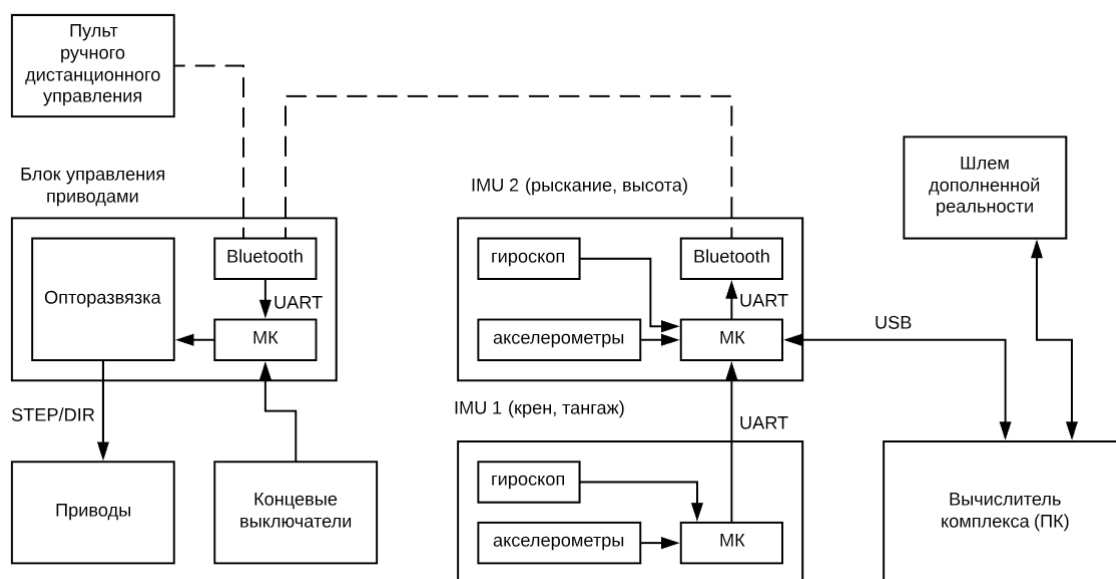


Рисунок 4. Структурная схема электрооборудования комплекса

### Выводы

В ходе решения проблемы определения пространственных координат кабины симуляционного комплекса было предложено использование системы инерциальной навигации в качестве датчика её положения. Данная концепция была реализована в виде электронной системы управления комплексом и протестирована. В ходе реализации типовая структура БИНС была адаптирована для использования в качестве датчика положения, для чего в ее структуру были внесены изменения.

Тестирование показало, что уход координат нулевых точек гироскопов не приводит к значительным неточностям выходных данных позиции кабины в ходе процесса симуляции, если проводить процедуру калибровки перед началом работы установки.

Помехи акселерометров хорошо фильтруются выбранным фильтром Маджвика, а возможные проблемы с определением магнитного полюса Земли магнетометром, находящимся в непосредственной близости от металлических частей конструкции, решены закреплением постоянного магнита перед модулем ИИМ. Важный вклад в повышение точности внесло разделение модулей, при котором один ИИМ, расположенный на оси вращения кабины в плоскости рыскания, дополняет датчик, находящийся непосредственно на кабине.

Разработанная конструкция использует уже готовые модули ИИМ на основе отладочных плат, недорогих и широко распространенных в продаже, вычислительная мощность установленного в них МК позволяет решать другие задачи без вреда для

частоты обновления координат, что позволяет подключать дополнительные устройства к системе и расширяет область её применения.

Таким образом, была разработана простая в изготовлении, функциональная и универсальная замена энкодерам для тех случаев, когда их применение затруднено или нецелесообразно, позволяющая к тому же определять положение непосредственно выходного звена привода или приводов, если речь идет

об устройстве с большим количеством степеней свободы. Перспективы применения данной системы включают в себя сферу роботизации, высокоточного производства с помощью станков ЧПУ, ассистированой или автоматизированной медицины и другие сферы деятельности человека, где необходимо точно определять положение объекта в пространстве и управлять им.

### Список литературы

1. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. – Ч. 5. Новые перспективы бесконтактных угловых измерений в диапазоне угла 360°, снова датчики Холла – угловые магнитные энкодеры // Компоненты и технологию. – 2005. - № 6. – С. 34.
2. Селиванова Л.М. Инерциальные навигационные системы: учебное пособие. – Ч. 1: Одноканальные инерциальные навигационные системы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – С. 84-91.
3. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays Sebastian O.H. Madgwick
4. Discovery kit with STM32F303VC MCU July 2016 DocID023596 Rev 4
5. STM32F303xB STM32F303xC ARM®-based Cortex®-M4 32b MCU+FPU, up to 256KB Flash+ 48KB SRAM, 4 ADCs, 2 DAC ch., 7 comp, 4 PGA, timers, 2.0-3.6 V Datasheet - production data May 2016 DocID023353 Rev 13.

### References

1. Car position sensors. Modern technologies and further perspectives. – Part 5. New perspectives of contactless angular 360° measurements, Hall sensors again – rotary magnetic encoders // Components and technologies. – 2005. - № 6. – P. 34.
2. Selivanova L.M. Inertial Navigation Systems: manual. – part. 1: One-channel INS. – М.: BMSTU publishing house, 2012. – P. 84-91.
3. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays Sebastian O.H. Madgwick
4. Discovery kit with STM32F303VC MCU July 2016 DocID023596 Rev 4
5. STM32F303xB STM32F303xC ARM®-based Cortex®-M4 32b MCU+FPU, up to 256KB Flash+ 48KB SRAM, 4 ADCs, 2 DAC ch., 7 comp, 4 PGA, timers, 2.0-3.6 V Datasheet – prod uction data May 2016 DocID023353 Rev 13.





**Куликов Г.Г.**  
**Kulikov G.G.**

*д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Автоматизированные системы  
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет», г. Уфа,  
Российская Федерация*



**Антонов В.В.**  
**Antonov V.V.**

*д-р техн. наук, заведующий кафедрой  
«Автоматизированные системы  
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет», г. Уфа,  
Российская Федерация*



**Фахруллина А.Р.**  
**Fakhrullina A.R.**

*канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Автоматизированные системы  
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет», г. Уфа,  
Российская Федерация*



**Родионова Л.Е.**  
**Rodionova L.E.**

*старший преподаватель кафедры  
«Автоматизированные системы  
управления», ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет», г. Уфа,  
Российская Федерация*

УДК 004

DOI: 10.17122/1999-5458-2018-14-4-104-111

## **ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО ПОДХОДА**

В статье рассматривается организация функционального взаимодействия программных систем, с учетом динамических свойств формальной модели предметной области, и процессы обработки информации в рамках рассматриваемого взаимодействия. Показан метод перехода к количественному многовариантному описанию информационных процессов и применения требований стандарта ISO/IEC 15288. Представлен фрактальный подход для оптимизации процесса реинжиниринга программной системы. Предложен метод выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования программного обеспечения. Построена модель программных средств обработки данных и знаний. Построена схема взаимосвязей между

категориями объектов. Предложено проектирование информационной аналитической программной системы на основе метода декартово замкнутой категории и ее фрактальной устойчивости.

Научная новизна заключается в том, что коэффициент подобия представлен как объект учета, т.е. как категория. Применен формальный язык теории категорий, позволяющий выявить и описать связи между объектами посредством морфизмов, сохраняя их логические и топологические свойства во времени и в пространстве как внутри одной категории, так и между категориями. В работе предложено формальное представление предметной области на основе системной модели в форме категории процессов. Предложено правило синтеза самоорганизующейся структуры моделей процесса из условия структурной минимизации. Показано, что последовательность композиций-декомпозиций процессов обладает свойством фрактальных преобразований (самоподобных). Ядром этих преобразований являются коммутативные треугольники, определяющие структуру взаимодействующих процессов при композиции-декомпозиции. Показана возможность построения ряда тождественных формальных алгоритмов контроля целостности структуры исходных процессов. Показана возможность параметрического контроля состояния процессов.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что для формирования взаимосвязей программного комплекса может быть использована многомерная матрица, параметры которой определяются на основе категориальных отношений с применением некоторого коэффициента подобия фрактала. Это расширяет возможности управления жизненным циклом создаваемой программной системы в соответствии с требованиями стандартов системной инженерии.

**Ключевые слова:** фрактал, фрактальные отношения, модели и методы обработки данных и знаний, программная система, категория объектов, коэффициент подобия, функторные отношения, морфизмы, предметная область, модель предметной области, модель данных, категориальные отношения.

## A FORMAL MODEL OF PROCESSES OF INTERACTION OF COMPONENTS OF A SOFTWARE SYSTEM BASED ON A FRACTAL APPROACH

**Abstract:** the article deals with the organization of functional interaction of software systems, taking into account the dynamic properties of the formal model of the domain and the processes of information processing in the framework of the interaction. The method of transition to quantitative multivariate description of information processes and application of requirements of ISO/IEC 15288 is shown. A fractal approach for optimization of the software system reengineering process is presented. A method of building relationships for further development and design of software is proposed. The model of data and knowledge processing software is constructed. The scheme of interrelations between categories of objects is constructed. The design of an information analytical software system based on the Cartesian closed category method and its fractal stability is proposed. The scientific novelty lies in the fact that the similarity coefficient is presented as an object of accounting, i.e. as a category. The formal language of category theory is applied, which allows to reveal and describe connections between objects by means of morphisms, preserving their logical and topological properties in time and space both within one category and between categories. The paper proposes a formal representation of the domain on the basis of a system model in the form of a category of processes. The rule of synthesis of self-organizing structure of process models from the condition of structural minimization is offered. It is shown that the sequence of compositions-decompositions of processes has the property of fractal transformations (self-similar). The core of these transformations are commutative triangles that determine the structure of interacting processes in composition-decomposition. The possibility of constructing a number of identical formal algorithms to control the integrity of the structure of the initial processes is shown. The possibility of parametric control of the processes state is shown.

The practical value of the study lies in the fact that for the formation of the relationships of the software complex can be used multidimensional matrix, the parameters of which are determined on the basis of categorical relations with the use of a certain coefficient of similarity of the fractal. This extends the life cycle management capabilities of the created software system in accordance with the requirements of system engineering standards.

**Key words:** fractal, fractal relations, models and methods of data and knowledge processing, software system, object category, similarity coefficient, functor relations, morphisms, domain, domain model, data model, categorical relations.

До настоящего времени остается актуальной проблема обеспечения полноты представления предметной области и ее семантического описания, выраженного соответствующими методологиями и моделями различных уровней. При этом возрастает значимость адекватности формализованных правил и алгоритмов нормативной базе соответствующей предметной области. При описании предметной области основной проблемой является то, что невозможно структурировать и описать все знания единообразно. В данном случае можно представить их с помощью двух типов: структурированной части знаний и неструктурированной части. Процесс выделения объектов и отношений между ними будет непрерывно-последовательным при работе с предметной областью. Сам процесс также структурирован стандартами ISO/IEC 15288 «Системная инженерия».

Исходя из предложенного и проведенного анализа [1-3], приходим к выводу о возможности структурировать отношения объектов в виде функторных отношений. При дальнейшей декомпозиции возможно выделение подобъектов внутри больших объектов, и в конечном счете приходим к уменьшению неструктурированной части внутри этого большого объекта и увеличению общей структурированной части предметной области по определенным нами правилам.

В итоге приходим к тому, что в результате такой декомпозиции сложность объектов снижается, а сложность отношений увеличивается. В пределе, с точки зрения моделирования, получается полное покрытие информационной области информационными объектами и отношениями между ними, где отношения между объектами хорошо формализованы и структурированы, и могут быть описаны на основе функторных отношений

объектов категорий, т.е. могут быть категорированными.

Проводя последовательно декомпозицию или композицию объектов в форме коммутативных треугольников, далее в квадраты декарта, получая в итоге декартов многогранник, приходим к «самоорганизованной» структуре процессов соглашения [1-3].

Учитывая изложенное, при проектировании программного комплекса представим его в виде множества объектов, структурированных по категориям. Проведенными исследованиями [1-4] установлено, что отношения между объектами разных категорий соответствуют понятию функторного отношения. В результате приходим к множеству функторов, которые определяем как отдельную категорию, т.е. отношения между элементами фрактала [1-3] строятся на уровне категориального отношения [4].

Таким образом, подобъекты, составляющие фрактал, могут быть описаны в виде функторных отношений, т.е. элементы разных категорий относятся к друг к другу через функтор. В результате можем говорить о наличии связи между категориями на основе отношения «самоподобия» для конкретной предметной области.

Фрактальный подход был впервые применен Б. Мальденбротом в 90-е годы для описания объектов реального мира [5].

Фрактал представляет собой определенный объект, получившийся непредсказуемым образом, который возможно представить логическими формулами. Основное свойство фракталов – это самоподобие, т.е. отдельные фракталы самоподобны в целом самой фигуре [5, 9].

На основе вышеизложенного и проведенных исследований [4, 5], фрактальные решетки могут определяться не только функциями, но и функторными отношениями. Сам

фрактал в данном случае выступает не как геометрическое место точек, а как объект категориального отношения. Назовем его «категориальный фрактал».

В нашем случае под фракталом будем понимать некий категориальный объект, связанный каким-то подобием, а подобие обладает некоторыми свойствами, в частности многогранностью, «мультииерархичностью» и самоподобием.

В терминах теории категорий свойства фрактала будут удовлетворять определенным условиям.

В данном случае каждый объект – это программный модуль, который определяется цепочкой отношений, т.е. чем ниже уровень фрактала, тем больше количество отношений.

Таким образом, программное обеспечение – комплекс программ, связанных между собой какими-то параметрами (вектором

связи), который и является предметом рассмотрения.

Предлагаем следующий метод: выстраивания отношений для дальнейшей разработки и проектирования программного обеспечения, т.е. отношения между модулями [4].

Рассмотрим категории объектов: предметную область, модель предметной области и модель СУБД для предметной области. При выделении категорий объектов с использованием теории категорий целесообразно использование аналога решетки Серпинского, а именно фракталом. Верхний уровень этой решетки является аналогом предметной области.

Выберем две категории объектов – предметную область и модель предметной области. Получаем, что предметная область отображается в модели предметных областей, которых может быть большое количество (рис. 1).

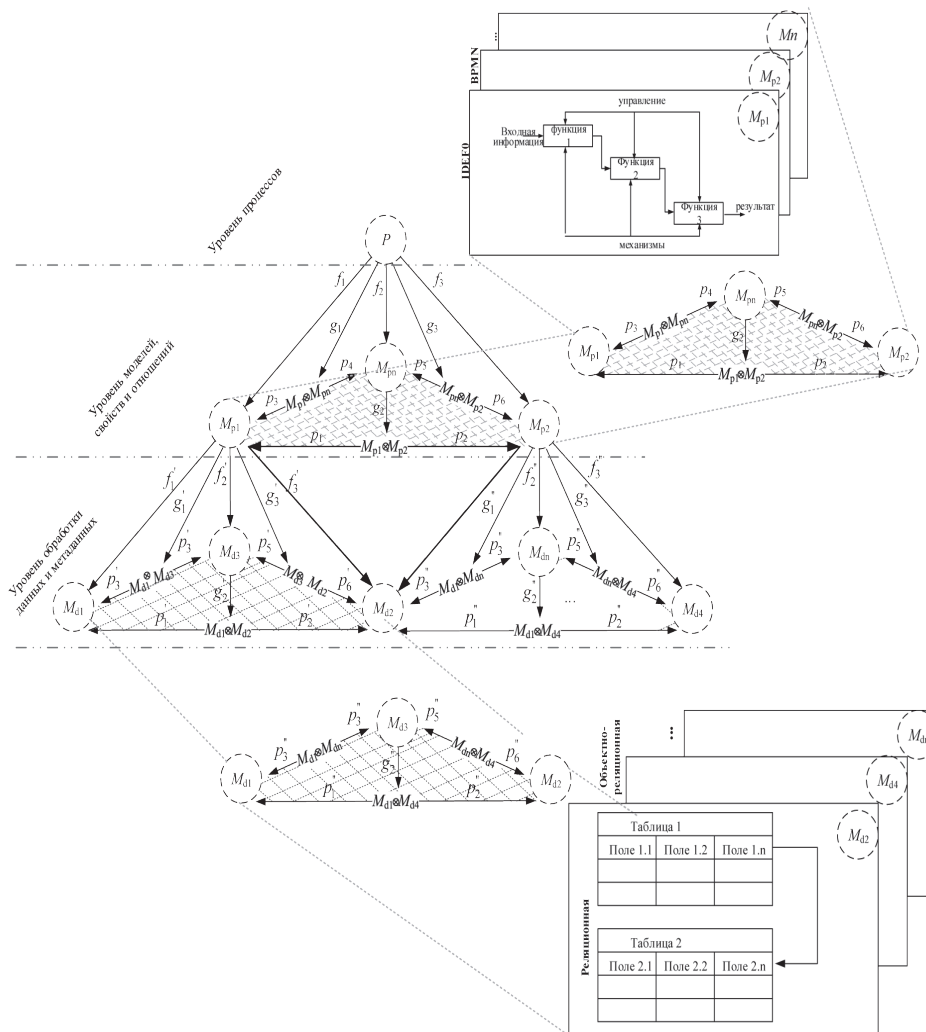


Рисунок 1. Схема отображения категорий объектов

Таким образом, предметная область формализуется в виде морфизмов, обладающих следующими свойствами [9]:

– результат взаимодействия информационных объектов может быть представлен декартовым произведением  $M_{p_1} \otimes M_{p_2}$  с мор-

физмами  $p_1: M_{p_1} \otimes M_{p_2} \rightarrow M_{p_2}$  и

$p_2: M_{p_1} \otimes M_{p_2} \rightarrow M_{p_1}$ , такими, что для любого объекта  $M_{p_1}$  с морфизмами

$f_1: P \rightarrow M_{p_1}$  и  $f_2: P \rightarrow M_{p_2}$  существует

единственный морфизм  $g_1: P \rightarrow M_{p_1} \otimes M_{p_2}$  при котором выделяется диаграмма в форме коммутативного треугольника, где

$\otimes$  – декартово произведение,

$g$  – морфизм, являющийся результатом процесса.

Результатом данного отображения являются модели предметной области, которые могут быть построены в различных нотациях (рис. 2). Взаимодействие информационных

объектов  $M_{d_1}$  и  $M_{d_2}$  может быть представлено декартовым произведением –

$M_{d_1} \otimes M_{d_2}$  с морфизмами

$p'_1: M_{d_1} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_1}$  и

$p'_2: M_{d_1} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_2}$ , такими, что для

любого информационного объекта  $M_{p_1}$  с

морфизмами  $f'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1}$  и

$f'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_2}$  существует единственный

морфизм  $g'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1} \otimes M_{d_2}$ , который определяется коммутативной диаграммой.

Аналогично рассматривается взаимодействие объектов с морфизмами

$p'_3: M_{d_1} \otimes M_{d_3} \rightarrow M_{d_1}$  и

$p'_4: M_{d_1} \otimes M_{d_3} \rightarrow M_{d_3}$ , при котором для

любого объекта  $M_{p_1}$  с морфизмами

$f'_1: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1}$  и  $f'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3}$  существует единственный морфизм

$g'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_1} \otimes M_{d_3}$ ,

который определяется коммутативной диаграммой.

Таким же образом рассматривается взаимодействие объектов  $M_{d_3} \otimes M_{d_2}$  с морфиз-

мами  $p'_5: M_{d_3} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_3}$  и

$p'_6: M_{d_3} \otimes M_{d_2} \rightarrow M_{d_2}$  такими, что для

любого объекта  $M_{p_1}$  с морфизмами

$f'_2: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3}$  и  $f'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_2}$  существует единственный морфизм

$g'_3: M_{p_1} \rightarrow M_{d_3} \otimes M_{d_2}$ , который определяется коммутативной диаграммой.

Результатами данного отображения являются модели данных, например, реляционная, сетевая, иерархическая и т.д. На примере управления кадрового резерва представлена одна из данных моделей (рис. 2).

Получаем отображение предметной области в модель предметной области, модель предметной области – в модель данных, при отображении коэффициент подобия будет тот же самый [8].

Функторные отношения – это набор функций. В данном случае под функцией будем понимать функцию описания отношений. Таким образом, описание отношений может быть представлено в виде наборов атрибутов. Моделей предметной области может быть множество, и отношения между моделями подчинено правилам сохранения отношений. Эти отношения и являются элементом фрактала. Согласно структуре аналога решетки Серпинского, получаем множество путей. Модель предметной области должна быть адекватной предметной области. Значит, функторные отношения являются сохранением адекватности модели. Таким образом, представляется возможным использовать различные языки программирования в одном программном комплексе, соединённые определённым правилом.

Получается, что коэффициент подобия фрактала определяется категориями, категорией функторных связей между объектами учета и является вектором связи между модулями программной системы.

В качестве коэффициента подобия выступают не геометрические расстояния, а отношения. Совокупность всех этих множеств и

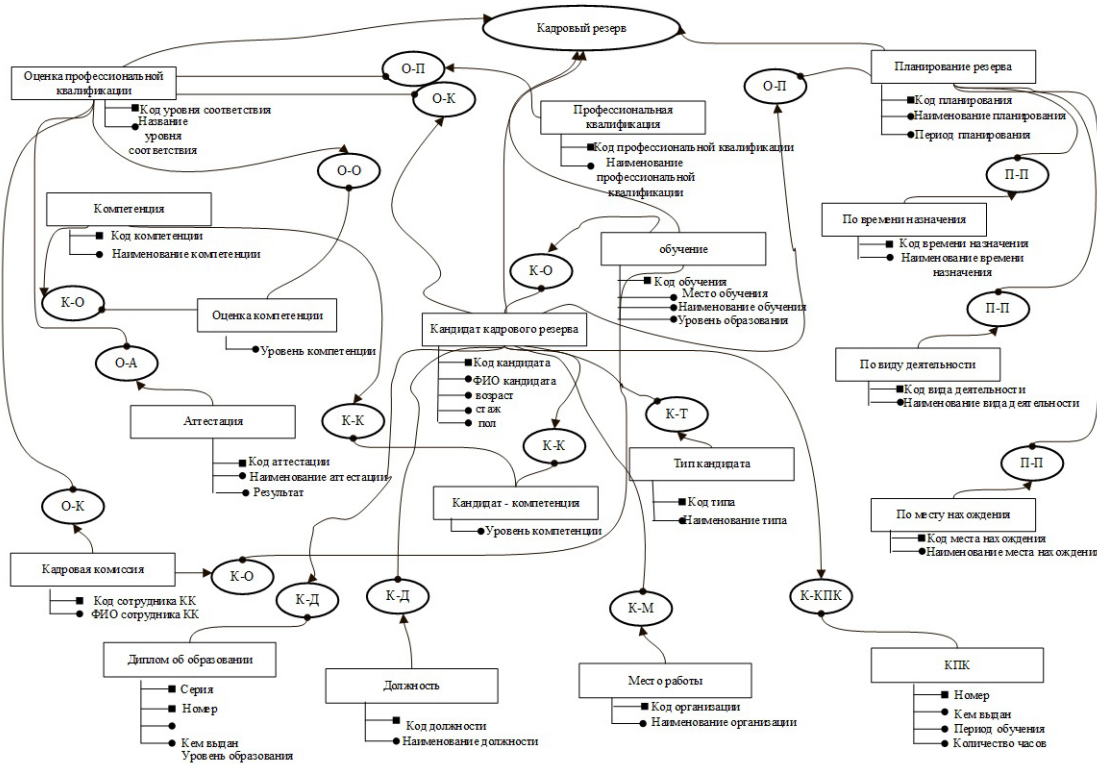


Рисунок 2. Пример ER-модели формирования кадрового резерва

отношений определяется отдельной категорией, согласно ранним исследованиям в данной работе. В данном случае определим следующие свойства категорий множеств [7]:

- 1) тождественный морфизм действует тривиально;
- 2) операция композиции ассоциативна.

Все свойства выполняются, значит, это категория, поэтому мы можем все отношения, коэффициент самоподобия представить в виде аналога решетки Серпинского, как отдельный объект.

В итоге получаем, что любую структуру можем определить как фрактал, а отношения между ними – как между категориями. В результате возможно рассматривать любое состояние системы на данный момент времени, выразив его через формулу рекурсии [4].

Таким образом, получаем, что объекты в категориях определяются взаимодействием функторов.

Связь между уровнями (рис. 1) прослеживается. Если строим модель, то она находится на определенном уровне (рис. 1). Связь между ними определяется функторными отношениями и может быть представлена в

виде технического задания. Это открывает возможность полуавтоматического (или в ряде случаев и автоматического) создания (написания) программы. В качестве примера могут быть представлены следующие системы моделирования: BPMN, RUNA, Rational Rose. Например, сравнивая по параметрам данные системы моделирования, получаем программное обеспечение, которое необходимо для моделирования ПО. Приходим к возможности оптимизации по требуемому ряду параметров, определяемому в каждом конкретном случае. Так, BPMN, RUNA, Rational Rose на выходе дают исходный текст программы, который схож с СИ++, но может потребоваться не СИ, а Java. Более того, программная система развивается, меняется ее жизненный цикл, в свою очередь может потребоваться изменение платформы применения и языка программирования. В результате становится необходимым некоторый реинжиниринг. Предлагаемый метод позволяет при описании предметной области в терминах теории категорий прийти к возможности выбора другого программного продукта, не проводя реинжиниринг всей системы.

Таким образом, появляются некоторые формализованные условия выбора программного обеспечения, с помощью которого мы будем производить реинжиниринг модели процесса. В результате можем выбрать наиболее оптимальную для каждого конкретного случая программную систему (например, BPMN, RUNA), а их может быть много. Причем, можем говорить о некоторой связи получаемых с их помощью моделей и, как следствие, о возможности перехода в дальнейшем, согласно схеме, приведенной на рисунке 1, к модели на основе другой программной системы. В результате фрактальная структура позволяет выстроить отношения, т.е. переорганизовать выбор другого объекта, если один объект будет RUNA, R/3, которые описаны в тех же терминах. Далее происходит выбор наиболее подходящего программного обеспечения для реализации кода. В случае изменения на верхнем уровне появляется автоматический выбор кода и средства для программирования (например, RUNA Agis, между ними можно выбрать отноше-

ния), отношения являются неоднозначными, появляется необходимость прописать функцию отображения. Эта функция будет содержать параметры программной системы. Таким образом, получаем готовое техническое задание на реинжиниринг программной системы со связью двух видов: по горизонтали и по вертикали. Основная цель – это оптимизировать процесс реинжиниринга.

### Вывод

В результате получается построение связей между объектами, параметрическая связь заменена на фрактальную. Имеется возможность не полностью менять структуру программного комплекса, а только отдельную ее часть, добавляя новый модуль, преобразовывая матрицу отношений. В качестве матрицы отношений выступает аналог решетки Серпинского. Получаем возможность построения информационной аналитической системы, управляемой по времени.

### Список литературы

1. Формальное представление модели реализации функций системной инженерии на основе принципа необходимого разнообразия структурных связей / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17. - № 4. – С. 146-153
2. Подход к формированию структуры самоорганизующейся интеллектуальной системы в форме декартово замкнутой категории (на примере проектирования информационной аналитической программной системы) / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Фахруллина, Л.Е. Родионова // Вестник ПНИПУ Серия «Электротехника, информационные технологии, системы управления». – 2018. – № 27. – С. 49-68
3. Method of dynamic programming on the basis of dekartovozamknuty category with the qualifier of subobjects / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.Р. Шилина М.А, Фахруллина, Л.Е. Родионова, Попкова Е.Е. // VI Всероссийская научная конференция «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (с приглашением зарубежных ученых). – 2018. – Т. 1. – С. 111-116.
4. Куликов Г.Г., Антонов В.В., Антонов Д.В. Теоретические и прикладные аспекты построения моделей информационных систем. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. – 134 с.
5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
6. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. – 2016. – Т. 6. - № 2 (20). – С. 149-161.
7. Теория категорий [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Теория\\_категорий](https://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_категорий) (дата обращения: 24.10.18)
8. Method of structuring the self-organized intellectual system on the basis of requirements of the ISO/IEC 15288 standard in the form of the Cartesian closed category. (On the example of design of information and analytical system) International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0". – 2018. – Vol. 3. – P. 165-167.

9. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. – 128 с.

### References

1. The formal representation of the model implement the functions of system engineering based on the principle of the necessary diversity of structural bonds / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Fakhrullin, L.E. Rodionova // Bulletin of SUSU. Series "Computer technologies, control, radio electronics". – 2017. - Vol. 17. - № 4. – P. 146-153.

2. Approach to the formation of the structure of self-organizing intelligent systems in the form of a Cartesian closed category (for example, the design of information and analytical software system) / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Fakhrullin, L.E. Rodionova // Vestnik pnpu Series "Electrical engineering, information technologies, control systems". – 2018. - № 27. – P. 49-68.

3. Method of dynamic programming on the basis of dekartovozamknuty category with the qualifier of subobjects / G.G. Kulikov, V.V. Antonov, A.R. Shilina M.A., Fakhrullin, L.E. Rodionov, E.E. Popkova // VI all – Russian scientific conference "information technologies

of intellectual decision support" (with invitation of foreign scientists). – 2018. – Vol. 1. – P. 111-116.

4. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Theoretical and applied aspects of building models of information systems. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. – 134 с.

5. Mandelbrot the Fractal geometry of nature. – М.: Institute of computer research, 2002. – 656 p.

6. Massel L.V. Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application // Ontology of design. – 2016. – Vol. 6. - № 2 (20). – С. 149-161.

7. Category theory [Electronic resource]. Mode of access: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Teoreti> (date accessed: 24.10.18)

8. Method of structuring the self-organized intellectual system on the basis of requirements of the ISO/IEC 15288 standard in the form of the Cartesian closed category. (On the example of design of information and analytical system) International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0". – 2018. – Vol. 3. – P. 165-167.

9. Bozhokin S.V., Parshin D.A. Fractals and multifractal. – Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001. – 128 p.



## ОБ АВТОРАХ

### **Алиев Магомедимин Ибрагимович**

младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

### **Антонов Вячеслав Викторович**

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: lurik@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

### **Гирс Роман Алексеевич**

аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», e-mail: secretary@ikti.ru, г. Самара, Российская Федерация

### **Глашев Расул Мурадинович**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: glaha.rasik@gmail.com, г. Москва, Российская Федерация

### **Глашев Тахир Жамботович**

хирург экстренной службы, Государственное Бюджетное Учреждение Здравоохранения «Межрайонная многопрофильная больница», e-mail: glaha.rasik@gmail.com, г. Нарткала Российская Федерация

### **Закиров Ринат Исакович**

аспирант, Федеральное государственное автономное учреждение науки Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

### **Константян Владислав Николаевич**

студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», e-mail: vlad.konstantyan@yandex.ru, г. Москва, Российская Федерация

### **Кулиев Расул Ибрагимович**

младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: ship@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

### **Кулиев Таусо Ибрагимович**

младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: ship@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

### **Куликов Геннадий Григорьевич**

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: gennadyg\_98@yahoo.com, г. Уфа, Российская Федерация

---

**Морозов Александр Игоревич**

младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Нахушев Рахим Суфьянович**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Родионова Людмила Евгеньевна**

старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы управления», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: lurik@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

**Сабанчиев Аслан Мухамедович**

студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», e-mail: aslan.sir@ya.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Санников Александр Сергеевич**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: alex.sannikov.zero@gmail.com, г. Москва, Российская Федерация

**Фахруллина Альмира Раисовна**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», e-mail: lurik@mail.ru, г. Уфа, Российская Федерация

**Цыганкова Ольга Андреевна**

магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Четвертаков Александр Александрович**

магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Шаваев Азамат Алиевич**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: aza.shavaev@gmail.com, г. Москва, Российская Федерация

**Шевхужев Астемир Османович**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

---

**Шептунов Сергей Александрович**

доктор технических наук, директор, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация

**Яхутлов Умар Мартинович**

аспирант, младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное учреждение науки «Институт конструкторско-технологической информатики» Российской академии наук, e-mail: secretary@ikti.ru, г. Москва, Российская Федерация.

## ABOUT THE AUTHORS

**Aliyev Magomedimin I.**

Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Antonov Vyacheslav V.**

Dr. Sci. Tech., Head of Automated Control Systems Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: lurik@mail.ru, Ufa, Russian Federation

**Chetvertakov Alexander A.**

Undergraduate, Federal State Budgetary Institution Of Higher Professional Education «Bauman Moscow State Technical University (National Research University), e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Fahrullina Almira R.**

Cand. Sci. Tech., Assistant Professor of Automated Control Systems Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: lurik@mail.ru, Ufa, Russian Federation

**Girs Roman A.**

Postgraduate Student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Samara National Research University», e-mail: secretary@ikti.ru, Samara, Russian Federation

**Glashev Rasul M.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: glaha.rasik@gmail.com, Moscow, Russian Federation

**Glashev Tahir Zh.**

Emergency Surgeon, State Budgetary Health Care Institution «Interdistrict Multidisciplinary Hospital», e-mail: glaha.rasik@gmail.com, Nartkala, Russian Federation

**Konstantyan Vladislav N.**

Student, Federal State Budgetary Institution Of Higher Professional Education «Bauman Moscow State Technical University (National Research University), e-mail: vlad.konstantyan@yandex.ru, Moscow, Russian Federation

**Kuliev Rasul I.**

Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ship@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

---

**Kuliev Tauso I.**

Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: ship@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Kulikov Gennady G.**

Dr. Sci. Tech., Professor of Automated Control Systems Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: gennadyg\_98@yahoo.com, Ufa, Russian Federation

**Morozov Alexandr I.**

Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Nakhushev Rakhim S.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Rodionova Lyudmila E.**

Senior Lecturer of Automated Control Systems Chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Aviation Technical University», e-mail: lurik@mail.ru, Ufa, Russian Federation

**Sabanchiev Aslan M.**

Student, Federal State Budgetary Institution Of Higher Professional Education «Bauman Moscow State Technical University (National Research University), e-mail: aslan.sir@ya.ru, Moscow, Russian Federation

**Sannikov Alexandr S.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: alex.sannikov.zero@gmail.com, Moscow, Russian Federation

**Shavaev Azamat A.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: aza.shavaev@gmail.com, Moscow, Russian Federation

**Sheptunov Sergey A.**

Dr. Sci. Tech., director, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Shevhezhev Astemir O.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Tsygankova Olga A.**

Undergraduate, Federal State Budgetary Institution Of Higher Professional Education «Bauman Moscow State Technical University (National Research University), e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

---

**Yakhutlov Umar M.**

Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics» of the Russian Academy of Sciences, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

**Zakirov Rinat I.**

Postgraduate Student, Federal State Autonomous Institution of Science «Institute of Design and Technological Informatics», Russian Academy of Sciences, Federal Scientific and Clinical Center for Resuscitation and Rehabilitation, e-mail: secretary@ikti.ru, Moscow, Russian Federation

## СПИСОК СТАТЕЙ, ИЗДАНЫХ В 2018 ГОДУ

*Андрианов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н.* Экспериментальное исследование смесителя на микросхеме LTC5553, № 1, с. 68.

*Артюшенко В.М., Воловач В.И.* Модели плотности распределения вероятности и статистические характеристики сигнала, отраженного от протяженного объекта, № 2, с. 79.

*Бондарев А.В.* Формирование субъективных и объективных критериев оценки и определение функции пригодности при генетическом моделировании сложных систем (на примере системы MicroGrid), № 2, с. 46.

*Бухаров Д.С.* О методах обработки массивов значений тока в задаче настройки устройства автоматической ликвидации асинхронного режима, № 3, с. 54.

*Важдаев К.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б.* Разработка системы детектирования информационных сигналов звукового диапазона с использованием микроконтроллеров STM32 для мониторинга состояния биологических объектов, № 3, с. 80.

*Возмилов А.Г., Мельников А.В., Астафьев Д.В., Звездакова О.В., Пархомчук Г.Е.* Разработка схем замещения однозонного и двухзонного электрофильтров, № 3, с. 37.

*Гизатуллин Ф.А., Хакимьянов М.И.* Разработка требований к интеллектуальным станциям управления для электроприводов скважинных насосов, № 2, с. 5.

*Гиниятуллин В.М., Габитова Э.А.* Кластеризация данных по кредитным заявкам в троичный вектор, № 1, с. 49.

*Глашев Р.М., Шептунов С.А., Глашев Т.Ж.* Использование сверточной нейронной сети для поддержки принятия решения в робот-ассистированной хирургии, № 4, с. 73.

*Денисова О.А.* Механизм ориентационной поляризации при флексоэлектрическом эффекте в жидких кристаллах, № 2, с. 95.

*Денисова О.А., Абрамишвили Р.Л.* Система контроля сейсмической активности для нефтегазовой отрасли, № 1, с. 61.

*Дунаев Д.И.* Исследование пусковых режимов асинхронного дебалансного вибродвигателя при влиянии статического момента, № 3, с. 22.

*Евдокимов А.А., Чарыков В.И., Саттаров Р.Р., Игнатьев С.Г., Городских А.А.* Расчет магнитной системы магнитоэлектрических генераторов мощностью до 10 кВА для ветроэнергетических установок, № 1, с. 27.

*Ефанов В.Н., Саяпова Л.Р.* Исследование метрологических характеристик информационно-измерительной системы позиционирования транспортных средств, № 3, с. 88.

*Закиров Р.И., Алиев М.И., Морозов А.И.* Определение кинематических характеристик дельта-робота по заданным параметрам рабочей области, № 4, с. 11.

*Закиров Р.И., Шептунов С.А., Шевхужев А.О.* Обзор существующих роботизированных реабилитационных комплексов, № 4, с. 37.

*Зикий А.Н., Зламан П.Н.* Варакторный умножитель частоты 400 МГц, № 3, с. 98.

- Иванова О.В., Халиков Р.М., Короткова Л.Н.* Результативное управление электротехническим оборудованием технологической схемы производства качественной воды, № 2, с. 21.
- Киреева Н.А., Родионов А.С., Фархутдинов Р.И., Хусаинов И.Р.* Разработка чат-бота по истории для применения в техническом вузе, № 3, с. 73.
- Климаш В.С., Соколовский М.А.* Система управления и контроля энергопотребления, № 1, с. 19.
- Конесев С.Г., Хазиева Р.Т.* Оценка стабилизационных свойств индуктивноёмкостных преобразователей 13, № 2, с. 13.
- Константян В.Н., Нахушев Р.С., Шаваев А.А.* Взаимодействие шлема виртуальной реальности и комплекса симуляции полета, № 4, с. 17.
- Константян В.Н., Нахушев Р.С., Яхутлов У.М.* Система инерциальной навигации комплекса симуляции полета, № 4, с. 97.
- Константян В.Н., Шептунов С.А., Яхутлов У.М.* Устройство дистанционного управления комплексом симуляции полета, № 4, с. 54.
- Крымский В.Г., Сафиуллина Р.Р.* Поддержка принятия решений при мониторинге воздушной среды с помощью высокочувствительных MEMS-сенсоров, № 3, с. 103.
- Кулиев Р.И., Шептунов С.А., Шевхужев А.О.* Программное обеспечение для автоматизации измерений на лабораторном стенде, № 4, с. 5.
- Кулиев Т.И., Глашев Р.М., Яхутлов У.М.* Автоматизация процесса измерения усилия разрушения шва для исследования характеристик различных комбинаций материалов и клеевых составов, № 4, с. 66.
- Кулиев Т.И., Кулиев Р.И., Сабанчиев А.М.* Отслеживание динамически изменяющихся объектов робототехнических систем с помощью видеокамеры, № 4, с. 31.
- Куликов Г.Г., Антонов В.В., Фахруллина А.Р., Родионова Л.Е.* Формальная модель процессов взаимодействия компонентов программной системы на основе фрактального подхода. № 4, с. 104.
- Кушнир В.Г., Кошкин И.В., Глушко Д.В.* Обоснование установки мини-ГЭС для электропитания системы освещения моста, № 1, с. 13.
- Линенко А.В., Камалов Т.И., Халилов Б.Р.* Математическая модель виброцентробежного сепаратора с линейным электроприводом, № 3, с. 47.
- Мукаева В.Р., Горбатков М.В., Фаррахов Р.Г., Парфенов Е.В.* Исследование акустических характеристик процесса плазменно-электролитического оксидирования алюминия, № 3, с. 60.
- Мустафаев В.А., Салманова М.Н.* Модель функционирования производственной системы механообработки в виде раскрашенных временных сетей Петри, № 2, с. 37.
- Муфтеев В.Г., Зиатдинов Р.А., Зелев А.П., Набиев Р.И., Марданов А.Р., Ахметшин Р.И., Тальтов М.А.* Программа FairCurveModeler моделирования кривых и поверхностей класса «F» и разработка на ее основе прикладных САПР, № 2, с. 53.
- Рогинская Л.Э., Горбунов А.С., Шило Д.В., Породинский И.А., Таназлы И.Н.* Некоторые вопросы структурного и параметрического синтеза системы индуктор-нагреваемое тело для технологии силицирования графитовых изделий, № 3, с. 12.
- Родионов А.С., Фархутдинов Р.И., Хусаинов И.Р.* Разработка программного комплекса моделирования температурных полей в скважине с учетом диаметра скважины, № 1, с. 43.
- Рыжиков О.Л.* Сканирующие элементы зондового микроскопа с управлением из программно-аппаратной среды NI ELVIS II, № 1, с. 75.
- Сабанчиев А.М., Кулиев Т.И.* Система визуализации с использованием виртуальной реальности в комплексе симуляции полета, № 4, с. 80.

Санников А.С., Нахушев Р.С., Глашев Р.М. Программное обеспечение для автоматизации и распределения задачи формирования обучающей выборки для нейросети из видеозаписей, № 4, с. 48.

Санников А.С., Шевхужев А.О. Система имитации перегрузок при управлении мультикоптером, № 4, с. 24.

Санников А.С., Шептунов С.А., Нахушев Р.С. Система навигации в теле пациента для робот-ассистированного хирургического комплекса, № 4, с. 87.

Сироткин С.Л., Коньков А.Н. Непрерывное преобразование в код произведения двух частот и разности фаз между ними, № 2, с. 89.

Султанов А.Х., Мешков И.К., Ишмияров А.А. Метод снижения пик-фактора в системах OFDM, основанный на предкодировании поднесущих, № 3, с. 66.

Талыбов Н.Г. Создание базы правил нечетких продукций для выбора элементов захватывающих устройств, № 1, с. 34.

Татаринев А.И. Структурная идентификация системы дистанционного управления мобильными измерительными пунктами, № 2, с. 64.

Федосеева Е.А., Бурдыгина Е.В., Уразаева Д.Ф., Салихов А.Р. Возможность использования солнечной энергии в нефтегазовой отрасли, № 2, с. 28.

Федосов А.В., Федосов В.А., Бадртдинова И.И., Мухаметзянов Н.З. Место неопределенности в системе обеспечения единства измерений, № 1, с. 88.

Фетисов В.С., Табет Науф Кайед Абдулла. Проблемы измерений толщины асфальтосмолопарафиновых отложений в нефтепроводах и пути их решения, № 1, с. 55.

Цыбов Н.Н. Проектирование анализаторов реактивных компонентов в электронных системах контроля и управления, № 3, с. 110.

Четвертаков А.А., Санников А.С., Глашев Р.М. Система ЧПУ для комплекса моделирования полета в кабине пассажирского самолета, № 4, с. 60.

Четвертаков А.А., Шаваев А.А., Кулиев Р.И. Система управления комплексом для лечения аэрофобии, № 4, с. 43.

Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Леонтьева Т.А., Резник Е.С. Оценка длительности кратковременного нарушения электроснабжения предприятия при внешних коротких замыканиях, № 1, с. 5.

Шаваев А.А., Гирс Р.А., Цыганкова О.А. Разработка конструкции комплекса моделирования полета, № 4, с. 92.

Шapiro С.В., Гумерова М.Б., Бабилова Н.Л., Гареев Р.И., Юшкова О.А. Каскадный асинхронно-синхронный бесконтактный двигатель, № 3, с. 28.

Шаринов Т.И., Акбутин Г.Д., Долматов М.Ю., Бахтизин Р.З. Особенности надмолекулярной структуры асфальтенов, выделенных из остатков термокрекинга, № 2, с. 106.

Шатуновский В.Л., Портнягин Н.Н., Мелик-Шахназарова И.А. Комплекс для измерения электрических величин в системах электропитания на базе микроконтроллерных плат «Ардуино», № 1, с. 81.

Шилин А.Н., Дементьев С.С. Моделирование сопротивления воздушных линий электропередачи, № 3, с. 5.

Шмелев А.А. Применение интеллектуальных магнитострикционных датчиков в геофизической аппаратуре, № 1, с. 96.

Янтилина Л.З., Виноградова И.Л., Султанов А.Х. Математическая модель распространения chirпированного оптического сигнала в RoF, № 2, с. 71.

---

## LIST OF ARTICLES PUBLISHED IN 2018

*Andrianov A.V., Zikiy A.N., Zlaman P.N.* Experimental study of the mixer LTC5553, № 1, p. 68.

*Artyushenko V.M., Volovach V.I.* Models of probability density and statistical characteristics of the signal reflected from an extended object, № 2, p. 79.

*Bondarev A.V.* Formation of subjective and objective criteria of evaluation and determination of suitability function in genetic modeling of complex systems (on the example of MicroGrid system), № 2, p. 46.

*Bukharov D.S.* On methods of current values sets processing for adjustment of automatics for elimination of asynchronous operation, № 3, p. 54.

*Chetvertakov A.A., Sannikov A.S., Glashev R.M.* The CNC system for the flight modelling complex in the cabin of the passenger plane, № 4, p. 60.

*Chetvertakov A.A., Shavaev A.A., Kuliev R.I.* Control system of the complex for the aerophobia therapy, № 4, p. 43.

*Denisova O.A.* The orientation polarization mechanism for flexoelectric effects in liquid crystals, № 2, p. 95.

*Denisova O.A., Abramishvili R.L.* Seismic activity control system for petroleum and gas industry, № 1, p. 61.

*Dunaev D.I.* Investigation of starting regimes of the asynchronous debalancial vibration engine the influence of the static moment, № 3, p. 22.

*Efanov V.N., Sayapova L.R.* Research of metrological characteristics of information and measuring system of positioning of vehicles, № 3, p. 88.

*Evdokimov A.A., Charykov V.I., Sattarov R.R., Ignatyev S.G., Gorodskikh A.A.* The calculation of the magnetic system of magneto-electric generators up to 10 kVA for wind turbines, №1, p. 27.

*Fedoseeva E.A., Burdygina E.V., Urazaeva D.F., Salikhov A.R.* Possibility of use of solar energy in the oil and gas industry, № 2, p. 28.

*Fedosov A.V., Fedosov V.A., Badrtdinova I.I., Mykhametzyanov N.Z.* The place of uncertainty in the system for measurement uniformity ensurance, № 1, p. 88.

*Fetisov V.S., Thabet Nayef Kayed Abdulla.* Issues of oil pipelines asphaltic resinous paraffin sediments thickness measurements and feasible solutions, № 1, p. 55.

*Giniyatullin V.M., Gabitova E.A.* Clusterization of data on credit applications in the ternary vector, № 1, p. 49.

*Gizatullin F.A., Khakimyanov M.I.* Development of requirements to the smart control stations for electric drives of well pumps, № 2, p. 5.

*Glashev R.M., Sheptunov S.A., Glashev T.Zh.* Using convolutional neural networks to machine learning in robotic surgery, № 4, p. 73.

*Ivanova O.V., Khalikov R.M., Korotkova L.N.* The efficient management of electrotechnical equipment for the qualitative water production technological scheme, № 2, p. 21.

*Kireeva N.A., Rodionov A.S., Farkhutdinov R.I., Khusainov I.R.* Development of a chatbot on history for use in a technical university, № 3, p. 73.

*Klimash V.S., Sokolovsky M.A.* Control system and energy consumption monitoring, № 1, p. 19.

*Konesev S.G., Khazieva R.T.* Assessment of inductive-capacitive converters stabilization properties, № 2, p. 13.

*Konstantyan V.N., Nakhushhev R.S., Shavaev A.A.* Virtual reality googles interaction with the flight simulator complex, № 4, p. 17.



- 
- Konstantyan V.N., Nakhushev R.S., Yakhutlov U.M.* Flight simulator inertial navigation system, № 4, p. 97.
- Konstantyan V.N., Sheptunov S.A., Yakhutlov U.M.* Flight simulator wireless handheld position controller, № 4, p. 54.
- Krymsky V.G., Safiullina R.R.* Decision support within air monitoring using high sensitive MEMS-sensors, № 3, p. 103.
- Kuliev R.I., Sheptunov S.A., Shevkhuzhev A.O.* Software for automation of measurements on a laboratory bench, № 4, p. 5.
- Kuliev T.I., Glashev R.M., Yakhutlov U.M.* Automation of the process of measuring the failure force of a seam to study the characteristics of various combinations of materials and adhesives, № 4, p. 66.
- Kuliev T.I., Kuliev R.I., Sabanchiev A.M.* Tracking dynamically changing objects of robotic systems with a video camera, № 4, p. 31.
- Kulikov G.G., Antonov V.V., Fakhrullina A.R., Rodionova L.E.* A Formal model of processes of interaction of components of a software system based on a fractal approach, № 4, p. 104.
- Kushnir V.G., Koshkin I.V., Glushko D.V.* Substantiation of mini hydroelectric power plant for power supply of bridge lighting system, № 1, p. 13.
- Linenko A.V., Kamalov T.I., Khalilov B.R.* A mathematical model of a vibrocentrifugal grain separator with a linear electric drive, № 3, p. 47.
- Mufteev V.G., Ziatdinov R.A., Zelev A.P., Nabiev R.I., Mardanov A.R., Akhmetshin R.I., Talypov M.A.* The program FairCurveModeler modeling of curves and surfaces class «F» and the development on its basis of application of CAD, № 2, p. 53.
- Mukaeva V.R., Gorbatkov M.V., Farrakhov R.G., Parfenov E.V.* A study on the acoustic characteristics of plasma electrolytic oxidation of aluminum, № 3, p. 60.
- Mustafaev V.A., Salmanova M.N.* Model of functioning of production system of mechanical processing in the form of colored timed Petri nets, № 2, p. 37.
- Rodionov A.S., Farkhutdinov R.I., Khusainov I.R.* Development of the software complex of temperature fields modeling in the well with the account of the well diameter, № 1, p. 43.
- Roginskaya L.E., Gorbunov A.S., Shilo D.V., Porodzinsky I.A., Tanazly I.N.* Some questions of the structural and parametric synthesis of the system of «Inductor-Heated Part» for the technology of siliconizing of graphite products, № 3, p. 12.
- Ryzhikov O.L.* Scanning elements of a probe microscope under NI ELVIS DAQ system hardware and software environment, № 1, p. 75.
- Sabanchiev A.M., Kuliev T.I.* Visualization system with the use of virtual reality in the complex of flight simulation, № 4, p. 80.
- Sannikov A.S., Nakhushev R.S., Glashev R.M.* Training sample from video records formation for neural network automation and distribution software, № 4, p. 48.
- Sannikov A.S., Sheptunov S.A., Nakhushev R.S.* Navigation system in the patient soma for a robot-assisted surgical complex, № 4, p. 87.
- Sannikov A.S., Shevkhuzhev A.O.* Overloads imitation system at control of multicopter, № 4, p. 24
- Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Leontyeva T.A., Reznik E.S.* Estimation of duration of enterprise's short-term power supply interruption in case of external short circuits, № 1, p. 5.
- Shapiro S.V., Gumerova M.B., Babikova N.L., Gareev R.I., Yushkova O.A.* Cascading asynchronous-synchronous non-contact motors, № 3, p. 28.
- Sharipov T.I., Akbutin G.D., Dolomatov M.Yu., Bakhtizin R.Z.* Features of the supramolecular structures of asphaltenes isolated from thermal cracking residues, № 2, p. 106.

---

*Shatunovskiy V.L., Portnyagin N.N., Melik-Shakhnazarova I.A.* System for measurement of electrical quantities in power systems on the basis of the microcontroller boards ARDUINO, № 1, p. 81.

*Shavaev A.A., Girs R.A., Tsygankova O.A.* Development of the design of a complex of modeling of a flight, № 4, p. 92.

*Shilin A.N., Demytyev S.S.* Simulation of resistance of air transmission lines, № 3, p. 5.

*Shmelev A.A.* Intelligent magnetostrictive sensors application in geophysical equipment, № 1, p. 96.

*Sirotkin S.L., Konkov A.N.* Continuous transformation in the works of the two frequencies and the phase difference between them, № 2, p. 89.

*Sultanov A.Kh., Meshkov I.K., Ishmiyarov A.A.* OFDM system peak-factor decrease method based on precoding subcarriers, № 3, p. 66.

*Talibov N.G.* Creation of basis of rules of fuzzy production for choosing key components of grasping devices, № 1, p. 34.

*Tatarinov A.I.* Structural identification of remote control systems of mobile measuring points, № 2, p. 64.

*Tsybov N.N.* Designing analyzers reactive components in electronics systems of control and management, № 3, p. 110.

*Vazhdaev K.V., Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B.* The development of a system for the detection of information signals of a sound range using the STM32 microcontroller to monitor the state of biological objects, № 3, p. 80.

*Vozmilov A.G., Melnikov A.V., Astafev D.V., Zvezdakova O.V., Parkhomchuk G.E.* Substitution schemes development for single-stage and two-stage electric precipitators, № 3, p. 37.

*Yantilina L.Z., Vinogradova I.L., Sultanov A.Kh.* Mathematical model of distribution of the chirped optical signal in RoF systems, № 2, p. 71.

*Zakirov R.I., Aliyev M.I., Morozov A.I.* Determination of the kinematic characteristics of a delta robot by specified parameters of the working area, № 4, p. 11.

*Zakirov R.I., Sheptunov S.A., Shevkhuzhev A.O.* Review of existing robotic rehabilitation systems, № 4, p. 37.

*Zikiy A.N., Zlaman P.N.* Varactor frequency multiplier 400 MHz, № 3, p. 98.

---

## Требования к оформлению материалов, предоставляемых для публикации в журнале:

1. Статьи, предоставляемые авторами в журнал, должны соответствовать профилю журнала, обладать новизной, интересовать широкий круг научной общественности.
2. Редакция принимает к публикации только открытые материалы на русском и английском языках (для иностранных авторов).
3. Поля — 2,5 см с каждой стороны; шрифт — Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал — полуторный; ссылки на литературу — в квадратных скобках. При наличии ссылок список литературы обязателен (в порядке цитирования, в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008).
4. В правом верхнем углу жирным курсивом: фамилия, имя, отчество авторов (обязательно полностью), ученая степень, ученое звание, должность, структурное подразделение (обязательно полностью), наименование организации (полностью), город, страна.
5. По центру, жирным шрифтом, заглавными буквами: название статьи, УДК в правом верхнем углу.
6. В конце статьи укажите почтовый адрес с указанием индекса, фамилию и инициалы получателя (по этому адресу будет выслан журнал), телефон (сотовый), e-mail контактного лица. Файл со статьей оформить: Фамилия И.О.doc (или docx). Отправлять по адресу: uor-ugaes@mail.ru.
7. Обязательно прислать фото авторов отдельными файлами.
8. К статье должны быть приложены на русском и английском языках: название статьи, аннотация (240 слов, определяющих теоретическую ценность и практическую новизну статьи), ключевые слова (не менее 10), список литературы обязателен (не менее 5 источников) на русском и английском языках.
9. Автор дает согласие на воспроизведение на безвозмездной основе в сети Интернет на сайте ФГБОУ ВО «УГНТУ» электронной версии своей статьи, опубликованной в журнале «Электротехнические и информационные комплексы и системы».
10. Графический и табличный материал должен быть представлен в черно-белом варианте в приложении к WORD, например, Microsoft Graph, без использования сканирования; для диаграмм применять различную штриховку, размер шрифта 10 или 11 pt, математические формулы оформляются через редактор формул Microsoft Equation, а их нумерация проставляется с правой стороны. Таблицы, диаграммы, рисунки подписываются 12 шрифтом в правом верхнем углу.
11. Сокращение слов, имен и названий, как правило, не допускается. Разрешаются лишь общепринятые сокращения мер физических, химических и математических величин и терминов и т. д.
12. Поступившие в редакцию статьи в обязательном порядке будут проходить рецензирование. Рецензии отклоненных работ высылаются авторам и содержат аргументированный отказ от публикации. В рецензиях работ, отправленных на доработку, указываются замечания к статье.
13. Все статьи, поступившие в редакцию, в обязательном порядке проходят проверку в системе «Антиплагиат».
14. С аспирантов плата за публикацию не взимается. При отправлении статьи на электронный адрес также необходимо отправить отсканированную справку из аспирантуры, заверенную отделом кадров.

### Памятка авторам

В статье настоятельно рекомендуется:

- НЕ использовать табуляцию (клавиша Tab);
- НЕ устанавливать свои стили абзацев (кроме принятых по умолчанию);
- НЕ расставлять автоматические списки (при нумерации строк и абзацев);
- НЕ ставить двойные, тройные и т. д. пробелы между словами.

Рекомендуется применять в статье только один тип кавычек («»).

Помнить о том, что необходимо различать дефис и тире. Тире выставляется сочетанием двух клавиш («Ctrl» + «-»).

**Все цитаты в статье должны быть соотнесены со списком литературы, при прямом цитировании обязательно указывать номера страниц.** Список литературы не следует смешивать с примечаниями, которые должны располагаться перед списком литературы.

**Статьи, не соответствующие требованиям, отклоняются для доработки.**

---

## **Requirements for the materials, provided for publication in the journal:**

1. Articles provided by the authors in the Journal should match the profile of the magazine, be new, be interesting for a wide range of scientific community.
2. Revision accepted for publication only open materials in Russian and English (for foreign authors).
3. Fields — 2.5 cm on each side; font — Times New Roman, font size — 14, line spacing — one and a half; References in square brackets. If there is a list of literature references is required (in order of citation in accordance with GOST R 7.05-2008).
4. In the upper right corner in bold italics: surname, name, patronymic of the author (certainly in full), academic degree, academic rank, position, name of organization (in full), country, city.
5. Centered, bold capital letters: title of the article. UDC — in the upper right corner.
6. At the end of the article specify the e-mail address with ZIP code, name and initials of the recipient (the address will be sent to the magazine), telephone (mobile), e-mail of the contact person. Article File Contents: Surname N.P.doc (or docx). Send to the address: uop-ugaes@mail.ru.
7. Be sure to send color photos of the authors in separate files (at least 1 MB and not more than 5 MB).
8. To the article must be accompanied by the Russian and English languages: the article title, abstract (240 words, determine the theoretical value and practical novelty of the article), keywords (at least 10), references required (at least 5 sources).
9. Author agrees to play free of charge on the Internet at the website FSBEI HE «USPTU» electronic version of his article published in the journal «Electrical and data processing facilities and systems».
10. Graphical and table material should be presented in the annex to the WORD. For example, Microsoft Graph, without scanning; diagrams for applying a different shading, font size 10 or 11 pt, mathematical formulas should be made through the formula editor Microsoft Equation, and their numbers stamped on the right side. Table signed by the 12th print in the upper right corner, diagrams, drawings — at the bottom center.
11. Reductions of words of names usually are not permitted. Allowed only standard abbreviations measures, physical, chemical and mathematical quantities and terms, etc.
12. Received articles will necessarily be reviewed. Reviews of rejected papers are sent to the authors and contain a reasoned rejection of the publication. In reviews of works sent for revision, specify comments on the article.
13. All articles received by the editorial compulsorily tested in the «Anti-plagiarism».
14. Article volume with the summary and the list of references shouldn't exceed 12 pages.

### **Memo to authors**

The article is highly recommended:

- NOT TO use the tab key (Tab);
- NOT TO place your paragraph styles (other than the defaults);
- NOT TO set automatic lists (with line numbers and paragraphs);
- NOT TO put double, triple and so. D. The spaces between words.

Recommended in the article is only one type of quotes («») or ("").

Remember that it is necessary to distinguish hyphens and dashes. Dash is exhibited by a combination of two keys («Ctrl» + «-»).

**All quotations in the article should be correlated with the list of literature, with direct quotations necessarily indicate page numbers.** References should not be confused with the notes that must be placed before the bibliography.

**Articles that do not meet the requirements will be rejected for revision.**