

Датчики и Системы

1 • 2016



SENSORS & SYSTEMS



Ректор ГУАП Ю. А. Антохина



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ — 75 лет

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП) — крупный международный образовательный центр. Уже 75 лет он является одним из ведущих в стране и мире научно-образовательных учреждений в области авиационно-космических комплексов, систем управления, новейших образовательных технологий.

В ГУАП работают 8 институтов, 4 факультета, более 40 кафедр, обучение ведется по более чем 200 образовательным программам. Многие выпускники ГУАП стали крупными учеными, руководителями отечественной науки и промышленности, государственными деятелями.

Первый искусственный спутник Земли, полет Юрия Гагарина, успешный старт космического корабля «Буран» и другие достижения отечественной космонавтики стали возможны и благодаря сотрудникам, студентам и выпускникам ЛИАП-ГУАП.

В Университете происходят структурные изменения, направленные на максимальную интеграцию образовательных, научных и бизнес структур. В университете работает Особое конструкторское бюро радиоэлектронных систем (ОКБ РЭС), помогающее профориентации студентов. Оно повышает их интерес к инженерной работе, здесь формируется настоящий клуб по интересам для будущих инженеров. К моменту завершения обучения выпускники являются полностью готовыми специалистами, приходящими на предприятие-заказчик с уже готовыми идеями и продуктами.

Качество диплома ГУАП обеспечивает его выпускникам интересную работу и уверенность в завтрашнем дне.



ГУАП, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А,
Санкт-Петербург, 190000, Россия
Телефоны: (812) 710-65-10, 571-15-22
Факсы: (812) 710-65-10, 494-70-57
Эл. почта: common@aanet.ru



УЧРЕДИТЕЛИ

ФГБУ науки
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН,
НП "Национальная технологическая
палата",
ООО "Сенсидат-Плюс" (издатель)

| | |
|----------------------|------------------------|
| Гл. редактор | Ф. Ф. Пашенко |
| Зам. гл. редактора | Н. Н. Кузнецова |
| Зам. гл. редактора | А. Ф. Каперко |
| Гл. редактор ИКА | В. Ю. Кнеллер |
| Отв. секретарь | Г. М. Баранова |
| Выпускающий редактор | С. В. Суханова |

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р. Р. Бабаян, д. т. н., проф.,
Г. М. Баранова,
С. Н. Васильев, акад. РАН,
Г. И. Джанджгава, д. т. н., проф.,
А. Н. Житков, к. т. н., доц.,
Э. Л. Ицкович, д. т. н., проф.,
С. И. Касаткин, д. т. н., проф.,
А. М. Касимов, д. т. н.,
А. Ф. Каперко, д. т. н., проф.,
В. Ю. Кнеллер, д. т. н., проф.,
Л. Н. Коломиец, к. т. н.,
Н. Н. Кузнецова,
Б. В. Лукин, к. т. н.,
В. П. Морозов, д. т. н.,
Д. А. Новиков, чл.-корр. РАН,
П. П. Пархоменко, чл.-корр. РАН,
Ф. Ф. Пашенко, д. т. н., проф.,
Г. А. Пикина, д. т. н., проф.,
Б. И. Подлепенский, к. т. н., доц.,
В. В. Поляков,
Н. Л. Прохоров, д. т. н., проф.,
О. С. Сироткин, чл.-корр. РАН,
В. А. Шахнов, чл.-корр. РАН,
М. С. Шкабардия, д. т. н., проф.,
И. Б. Ядыкин, д. т. н., проф.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РЕДАКТОРЫ

(руководители)

Санкт-Петербург
В. Г. Кнорринг, д. т. н., проф. — (812) 297-60-01
Нижегород
С. М. Никулин, д. т. н., проф. — (831) 436-78-40
Екатеринбург
С. В. Поршнев, д. т. н., проф. — (343) 375-97-79
Новосибирск
Ю. В. Чукуй, д. т. н., проф. — (383-3) 33-73-60
Красноярск
В. Г. Патюков, д. т. н., проф. — (391-2) 912-279
Бийск
Ю. А. Галенко, д. т. н., проф. — (3854) 43-25-69
Л. С. Звольский, д. т. н., проф. (3854) 30-59-44
Пенза
М. А. Щербаков, д. т. н., проф. — (841-2) 56-37-08
Языль
С. Н. Кириллов, д. т. н., проф. — (491-2) 92-04-55
Ульяновск
Н. Г. Ярушклина, д. т. н., проф. — (842-2) 43-03-22
Ижевск
В. А. Алексеев, д. т. н., проф. — (341-2) 21-29-33
Оренбург
М. Г. Кучеренко, д. т. н., проф. — (353-2) 77-34-19
Владимир
В. Н. Устюжанинов, д. т. н., проф. —
(492-2) 33-59-67
Тула
В. Я. Распопов, д. т. н., проф. — (487-2) 35-19-59
Воронеж
В. К. Битюков, д. т. н., проф. — (473-2) 55-36-94
Курск
В. С. Титов, д. т. н., проф. — (471-2) 58-71-12
Тамбов
С. В. Мищенко, д. т. н., проф. — (475-2) 72-10-19
Астрахань
И. Ю. Петрова, д. т. н., проф. — (851-2) 25-73-11
Минск
И. С. Манах, к. ф.-м. н. — (417) 278-13-13
Уфа
В. Г. Гусев, д. т. н., проф. — (347-2) 23-77-89

СОДЕРЖАНИЕ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ УНИВЕРСИТЕТУ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ — 75 ЛЕТ**

Антохина Ю. А. Интеграция — ключ к успеху 3

*Представляет Институт
радиотехники, электроники и связи*

Бестугин А. Р., Киршина И. А., Оводенко А. А. и др. Адгезия в микромеханических системах 5

Ваганов М. А., Казаков В. И., Москалец О. Д. Системный подход в теории оптических спектральных измерений 10

Бальшева О. Л. Возможности технологии ПАВ для построения интегрированных чувствительных элементов 15

Ларин В. П., Шелест Д. К. Комбинированный метод проектирования технологических систем приемочного контроля сложных изделий 21

Окин П. А. Повышение чувствительности МЭМ-датчиков давления оптимизацией топологии вторичных измерительных преобразователей 27

Кравец Е. В. Акустоэлектронное устройство обработки сигналов гидролокаторов кругового обзора для контроля подводных переходов трубопроводов 30

*Представляет Институт
информационных технологий в электромеханике и энергетике*

Евсеев Е. В., Тимофеев С. С., Чубраева Л. И. Система контроля намагниченности массивов высокотемпературных сверхпроводников в криогенной электрической машине 35

Соленный С. В., Солена О. Я. Математическая модель датчика тока для устройств искрозащиты электропроводок 40

Тимофеев С. С., Турубанов М. А. Система измерения и визуализации магнитного поля 45

*Представляет Институт
инноватики и базовой магистерской подготовки*

Варехов А. Г. Измерение загрязненности моторных масел по светорассеянию . . . 51

Котликов Е. Н., Новикова Ю. А., Плехоткина Г. Л., Прилипко В. К. Проектирование ахроматических просветляющих покрытий 54

Кочетков С. В., Семенова Е. Г. Методика оценки эффективности функционирования инновационного производства 58

Мишура Т. П., Скориантов Н. Н. Метрологическое обеспечение диагностических комплексов для оценки технического состояния энергетического оборудования . . 63

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых изданий ВАК и в RSCI на базе Web of Science

Подписные индексы: 79363 в каталоге Респечати; 40874 в каталоге "Пресса России"
АДРЕС РЕДАКЦИИ: 117997, ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, 65, к. 383. Тел./факс: (495) 330-42-66
www.datsys.ru. E-mail: datehik@ipu.ru, datsys@mail.ru

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ИП Прохоров О. В.
Отпечатано в типографии "Техинпресс". Заказ 2/01. Подписано в печать 15.01.2016.
Журнал перерегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций 26.12.2013.
ПИ № ФС 77-56548

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). На сайте Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей.

FOUNDERS

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences,
Russian Academy of Sciences,
Non-commercial partnership
"National technological house",
LLC "Sensidat-Plus" (publisher)

Editor-in-Chief **Pashchenko, F. F.**
Deputy Editor-in-Chief **Kuznetsova, N. N.**
Deputy Editor-in-Chief **Kaperko, A. F.**
Editor-in-Chief of MCA **Kneller, V. Yu.**
Executive Secretary **Baranova, G. M.**
Managing editor **Sukhanova S. V.**

EDITORIAL BOARD

Babayan R. R., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Baranova G. M.,
Vasilyev S. N., Acad., RAS,
Dzhandzhgava G. I., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Zhitkov A. N., Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
Itskovich E. L., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Kasatkin S. I., D. Sc. (Tech.), prof.,
Kasimov A. M., D. Sc. (Tech.),
Kaperko A. F., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Kneller V. Yu., Prof., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Kolomiets L. N., Ph. D. (Tech.),
Kuznetsova N. N.,
Lunkin B. V., Ph. D. (Tech.),
Morozov V. P., D. Sc. (Tech.),
Novikov D. A., Corr. mem., RAS,
Parkhomenko P. P., Corr. mem., RAS,
Pashchenko, F. F., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Pikina G. A., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Podlepetskiy B. I., Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
Polyakov V. V.,
Prokhorov N. L., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Sirotkin O. S., Corr. mem., RAS,
Shakhnov V. A., Corr. mem., RAS,
Shkabaridnya M. S., D. Sc. (Tech.), Prof.,
Yadykin I. B., D. Sc. (Tech.), Prof.

REGIONAL EDITORIAL COUNCILS

(leaders)

Saint-Petersburg

Knoring, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (812) 297-60-01

Nizhny Novgorod

Nikulin, S. M., D. Sc. (Tech.), Prof. — (831) 436-78-40

Ekaterinburg

Porshnev, S. V., D. Sc. (Tech.), Prof. — (343) 375-97-79

Novosibirsk

Chuguy, Yu. V., D. Sc. (Tech.) — (383-3) 33-73-60

Krasnoyarsk

Patyukov, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (391-2) 912-279

Biysk

Galenko, Yu. A., Dr. Sci. (Tech.) — (3854) 43-25-69

Zvolskiy, L. S., D. Sc. (Tech.) — (3854) 30-59-44

Penza

Shecherbakov, M. A., D. Sc. (Tech.), Prof. —
(841-2) 56-37-08

Ryazan

Kirillov, S. N., D. Sc. (Tech.), Prof. — (491-2) 92-04-55

Ulyanovsk

Yarushina, N. G., D. Sc. (Tech.), Prof. —
(842-2) 43-03-22

Izhevsk

Alekseev, V. A., Dr. D. Sc. (Tech.), Prof. —
(341-2) 21-29-33

Orenburg

Kucherenko, M. G., D. Sc. (Phys.-Math.), Prof. —
(353-2) 77-34-19

Vladimir

Ustyuzhaninov, V. N., D. Sc. (Tech.), Prof. —
(492-2) 33-59-67

Tula

Raspopov, V. Ya., D. Sc. (Tech.), Prof. —
(487-2) 35-19-59

Voronezh

Bityukov, V. K., D. Sc. (Tech.), Prof. — (473-2) 55-36-94

Kursk

Titov, V. S., D. Sc. (Tech.), Prof. — (471-2) 58-71-12

Tambov

Mishchenko, S. V., D. Sc. (Tech.), Prof. —
(475-2) 72-10-19

Astrakhan

Petrova, I. Yu., D. Sc. (Tech.), Prof. — (851-2) 25-73-11

Minsk

Manak, I. S., Ph. D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof. —
(417) 278-13-13

Ufa

Gusev, V. G., D. Sc. (Tech.), Prof. — (347-2) 23-77-89

CONTENT

SAINT-PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF AEROSPACE INSTRUMENTATION — 75 YEARS

Antokhina Yu. A. Integration — the key to success 3

*Institute of Radioengineering,
Electronics and Communication presents*

Bestugin A. R., Kirshina I. A., Ovodenko A. A., et al. Adhesion in micromechanical systems 5

Vaganov M. A., Kazakov V. I., Moskaletz O. D. System approach in the theory of optical spectral measurements 10

Balysheva O. L. SAW technology capabilities to design an integrated sensing elements . . 15

Larin V. P., Shelest D. K. The combined method of acceptance control systems engineering of complex products 21

Okin P. A. Increasing the sensitivity of MEMS pressure sensors by optimization of topology of the secondary transducers 27

Kravets E. V. Acousto-electronic device for processing of signals from azimuth search sonar for submarine pipeline 30

*Institute of Innovation Technology in Electromechanics
and Power-Engineering presents*

Evseyev E. V., Timofeyev S. S., Chubraeva L. I. System for control of high-temperature superconductor bulks magnetizing in cryogenic electrical machine 35

Soleniy S. V., Solenaya O. Ya. Mathematical model of electric current sensor for the device protecting electrical wiring from sparks 40

Timofeyev S. S., Turubanov M. A. Measurement and visualization system of the magnetic field 45

Institute of the Innovation and Magistracy presents

Varekhov A. G. Measurement of engine oils contamination on light scattering 51

Kotlikov E. N., Novikova Iu. A., Plekhotkina G. L., Prilipko V. K. Designing of achromatic antireflection coatings 54

Kochetkov S. V., Semenova E. G. The evaluation methodic of effectiveness for functioning of the innovative manufacturing 58

Mishura T. P., Skoriantov N. N. Measurement assurance diagnostic complex for the evaluation of technical condition power equipment 63

The journal is included into the list of the leading reviewed by Higher Attestation Commission's periodicals, publishing basic results of doctoral and candidate dissertations (2015).

Subscription codes: 79363 in the Russian press catalogue; 40874 in the catalogue "The Press of Russia"

EDITORIAL ADDRESS: 65 Profsoyuznaya st., office 383, Moscow, 117997. Tel./fax: (495) 330-42-66
www.datsys.ru E-mail: datchik@ipu.ru, datsys@mail.ru

The layout and the electronic version are prepared by IE Prokhorov O. V.

Printed by "Tekhinpress" print house Order 2/01. Signed for press on 15.01.16.

The journal is reregistered in the Federal service for supervision in the sphere of communication and mass communications 26.12.2013. PI № FS 77-56548

The journal is included into the Russian Science Citation Index (RSCI in Web of Science). On the website of the Scientific electronic library (www.elibrary.ru) articles' full-texts are available.



ИНТЕГРАЦИЯ — КЛЮЧ К УСПЕХУ INTEGRATION — THE KEY TO SUCCESS

Государственный университет аэрокосмического приборостроения вот уже 75 лет является одним из ведущих в стране и мире научно-образовательных учреждений в области авиационно-космических комплексов, систем управления, новейших образовательных технологий.

Выпускники Университета — главные инженеры, генеральные конструкторы, руководители крупных промышленных предприятий, экономисты, правovedы — в течение многих десятилетий определяли и продолжают определять облик авиационной, космической отраслей, народно-хозяйственного комплекса России в целом.

При этом ГУАП не просто растет и развивается, но и неизменно соответствует потребностям и трендам текущего времени. Свою особую миссию в настоящий момент Университет видит в создании системы подготовки не просто специалистов высокого уровня, а специалистов жизненно необходимых, востребованных, максимально отвечающих запросам даже не сегодняшнего, а завтрашнего дня.

Мы верим, что ключ к успеху — это максимальная интеграция образовательных, научных, промышленных и бизнес-структур. В связи с этим в вузе происходят серьезные структурные изменения, направленные на скорейшее достижение указанных целей.

В первую очередь это интеграционные процессы в образовательной деятельности. Так, в настоящее время ГУАП возглавляет работу Национального объединенного аэрокосмического университета — консорциума из 9 аэрокосмических вузов России. Кроме того, сегодня ГУАП — это Международный исследовательский университет, который имеет около 200 договоров о сотрудничестве с ведущими зарубежными вузами.

Второе направление, которое мы успешно реализуем — интеграция с ведущими предприятиями аэрокосмической отрасли. Так, именно ГУАП возглавляет работу по координации Санкт-Петербургского территориального инновационного аэрокосмического кластера. Нашему Универси-

тету отведена ключевая роль в реализации этого проекта — именно он является “якорным” научным центром и центром подготовки кадров для Северо-Западного аэрокосмического кластера.

В группу “якорных предприятий” кластера входят ФГУП КБ “Арсенал”, ХК “Ленинец”, ГНЦ ЦНИИ РТК, “Концерн “Гранит-Электрон”, ВНИИРА, ФГУП “Электроавтоматика”, НИИ Телевидения, “КБСМ” и другие научные центры и промышленные предприятия

Третье направление — внедрение новых технологий и методик в образовательные процессы, а также развитие наиболее успешных практик, применяющихся в системе высшего образования нашей страны.

Большинство стандартных методов обучения не позволяет в должной мере решить проблему подготовки молодых специалистов. Обученный или переподготовленный персонал все равно приходится переподготавливать на местах, преобразовывать теоретические представления в практические навыки. Сегодня одним из важнейших направлений развития вузов является восстановление тесных связей с промышленными предприятиями и организациями в регионах и профильных отраслях, являющихся потребителями выпускников.

Именно поэтому в настоящее время в ГУАП разработана и успешно внедряется система целевой проектно-технологической магистратуры. Стратегическое партнерство образовательной системы вуза с предприятиями в области целевой профессиональной подготовки инновационно-ориентированных кадров должно стать основой скорейшей адаптации выпускников к работе на конкретных предприятиях.

Не случайно именно наш Университет является лидером среди технических вузов Санкт-Петербурга по целевому набору студентов — в 2015 г. ГУАП принял более 600 студентов-“целевиков”.

Одним из ярких примеров эффективности интеграционных процессов является созданное в 2012 г. Особое конструкторское бюро радиоэлек-

тронных систем (ОКБ РЭС), максимально реализующее все описанные выше возможности. Эта структура имеет серьезные исторические корни — первые шаги по реализации действующей модели ОКБ были сделаны еще в 1985 г., когда в стенах вуза был открыт факультет целевой интенсивной подготовки. Основная задача, которая на тот момент стояла перед новой структурой, заключалась в реорганизации процесса подготовки, нацеленной на приобретение молодыми специалистами практического опыта путем замены части теоретических курсов практической работой на базе ведущих предприятий отрасли.

Продолженная работа дала значительные результаты уже в начале 2000-х, когда началось восстановление предприятий ВПК и потребовалось массовое привлечение кадров. С использованием модели целевой интенсивной подготовки было проведено масштабное комплектование кадрами таких предприятий ВПК, как “Котлин-Новатор” и НТЦ “Ленинец”, где доля молодых выпускников нашего вуза в различных структурах составляла около 50 % от общего количества ИТР.

При всей привлекательности интенсивной “практической” подготовки подобный подход имеет существенный недостаток в виде “разрыва” процессов как обучения, так и работы. Но в настоящее время с развитием информационных технологий открываются новые перспективы реализации идеи целевой интенсивной подготовки.

Сегодня ОКБ РЭС — это не просто конструкторское бюро, а целая идеология. Наличие подобной структуры в вузе позволяет максимально эффективно решать ряд сложнейших вопросов, касающихся подготовки молодых специалистов.

В первую очередь ОКБ решает вопросы, связанные с профессиональной ориентацией — повышает интерес студентов к инженерной работе, формирует настоящий “клуб по интересам” для будущих инженеров, в котором происходит взаимное обучение нескольких поколений разработчиков. При этом профессиональная ориентация происходит далеко не сразу. На первом этапе перед будущими специалистами раскрывается весь спектр деятельности современного инженера, и только после погружения в специфику происходит самоопределение и коррекция развития студентов. Благодаря этому эффективность работы ОКБ РЭС значительно превышает аналогичные показатели многих “классических” конструкторских бюро предприятий отрасли.

Во-вторых, студенты, с третьего курса начинающие работать в ОКБ, к моменту завершения

обучения являются полностью готовыми специалистами, которые приходят на предприятие-заказчик с уже готовыми идеями и даже продуктами, что исключает возможные риски для работодателей.

В-третьих, ОКБ РЭС несет важнейшую функцию “первого потребителя”, который помогает вузу видеть недочеты и пробелы в образовании студентов и гибко изменять программу подготовки для того, чтобы молодые специалисты могли соответствовать реальным потребностям текущего времени.

В-четвертых, ОКБ РЭС разрабатывает и успешно реализует различные схемы взаимодействия с предприятиями, некоторые из которых уже подразумевают не “подчиненную”, а координирующую и даже управляющую функцию вузовской структуры в процессе разработки и производства высокотехнологичной продукции.

При этом уже сейчас в портфеле ОКБ РЭС имеется ряд продуктов, прошедших “госприемку”, а в ближайших планах — расширение объемов заказов и увеличение численности студентов и аспирантов, проходящих подготовку по системе целевой проектно-технологической магистратуры.

Таким образом, всего за три года новая структура не просто прошла этап становления, накопления опыта, но и помогла нам убедиться в правильном выборе направления для развития не только вуза, но и всей отрасли.

Конечно, крайне сложно в рамках одной статьи изложить все аспекты той значительной работы по модернизации образовательных процессов, которая сейчас происходит в нашем Университете. Однако можно с уверенностью сказать, что интеграция с ведущими отечественными и мировыми научными центрами, наукоемкими предприятиями аэрокосмической отрасли, широкое взаимодействие с бизнес-структурами уже сейчас обеспечивают ГУАП особое положение на рынке образовательных услуг и огромный потенциал для будущего развития.

Наш Университет открыт для сотрудничества и в преддверии своего 75-летия с уверенностью смотрит в будущее!

*Юлия Анатольевна Антохина — д-р экон. наук,
ректор Университета.*

☎ 8 (812) 710-65-00

E-mail common@aanet.ru

Yulia A. Antokhina — D. Sc. (Econ.), Rector of University

☎ 7 (812) 710-65-00

E-mail common@aanet.ru