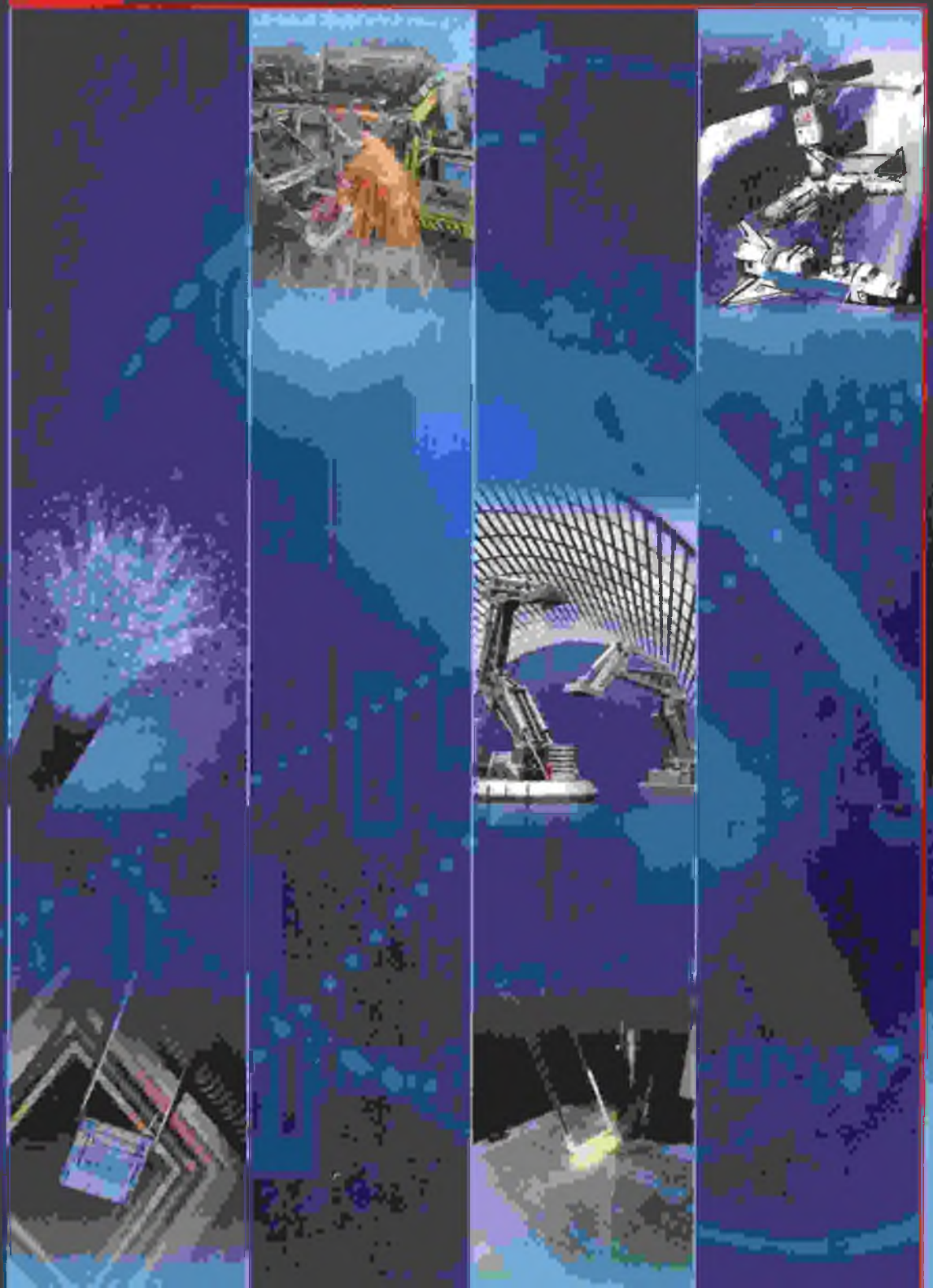
DOI 10.17587/issn.1684-6427
ISSN 1684-6427
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ



Том 18
2017
№ 10

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ

Том 18
2017
№ 10

Издается с 2000 года ISSN 1684-6427 DOI 10.17587/issn.1684-6427

**Редакционный совет:**
CHYI-YEU LIN, PhD, prof.
GROUMPOS P. P., prof.
JEN-HWA GUO, PhD, prof.
KATALINIC B., PhD, prof.
SUBUDHI B., PhD, prof.
АЛИЕВ Т. А., акад. НАНА, проф.
АНШАКОВ Г. П., чл.-корр. РАН, проф.
БОЛОТНИК Н. Н., чл.-корр. РАН, проф.
ВАСИЛЬЕВ С. Н., акад. РАН, проф.
ЖЕЛТОВ С. Ю., акад. РАН, проф.
КАЛЯЕВ И. А., акад. РАН, проф.
КРАСНЕВСКИЙ Л. Г., чл.-корр. НАНБ, проф.
КУЗНЕЦОВ Н. А., акад. РАН, проф.
ЛЕОНОВ Г. А., чл.-корр. РАН, проф.
МАТВЕЕНКО А. М., акад. РАН, проф.
МИКРИН Е. А., акад. РАН, проф.
ПЕШЕХОНОВ В. Г., акад. РАН, проф.
РЕВНИКОВ А. Ф., чл.-корр. РАН, проф.
СЕБРЯКОВ Г. Г., чл.-корр. РАН, проф.
СИГОВ А. С., акад. РАН, проф.
СОЙФЕР В. А., акад. РАН, проф.
СОЛОВЬЕВ В. А., чл.-корр. РАН, проф.
СОЛОМЕНЦЕВ Ю. М., чл.-корр. РАН, проф.
ФЕДОРОВ И. Б., акад. РАН, проф.
ЧЕНЦОВ А. Г., чл.-корр. РАН, проф.
ЧЕРНОУСЬКО Ф. Л., акад. РАН, проф.
ЩЕРБАТЮК А. Ф., чл.-корр. РАН, проф.
ЮСУПОВ Р. М., чл.-корр. РАН, проф.

**Главный редактор:**
ФИЛИМОНОВ Н. Б., д. т. н., с. н. с.

**Заместители гл. редактора:**
ПОДУРАЕВ Ю. В., д. т. н., проф.
ПУТОВ В. В., д. т. н., проф.
ЮЩЕНКО А. С., д. т. н., проф.

**Ответственный секретарь:**
БЕЗМЕНОВА М. Ю.

**Редакционная коллегия:**
АЛЕКСАНДРОВ В. В., д. ф.-м. н., проф.
АНТОНОВ Б. И.
АРШАНСКИЙ М. М., д. т. н., проф.
БУКОВ В. Н., д. т. н., проф.
ВИТТИХ В. А., д. т. н., проф.
ГРАДЕЦКИЙ В. Г., д. т. н., проф.
ЕРМОЛОВ И. Л., д. т. н., доц.
ИВЧЕНКО В. Д., д. т. н., проф.
ИДЬЯСОВ Б. Г., д. т. н., проф.
КОЛОСОВ О. С., д. т. н., проф.
КОРОСТЕЛЕВ В. Ф., д. т. н., проф.
ЛЕБЕДЕВ Г. Н., д. т. н., проф.
ЛОХИН В. М., д. т. н., проф.
ПАВЛОВСКИЙ В. Е., д. ф.-м. н., проф.
ПРОХОРОВ Н. Л., д. т. н., проф.
ПШИХОПОВ В. Х., д. т. н., проф.
РАПОПОРТ Э. Я., д. т. н., проф.
СЕРГЕЕВ С. Ф., д. пс. н., с. н. с.
ФИЛАРЕТОВ В. Ф., д. т. н., проф.
ФРАДКОВ А. Л., д. т. н., проф.
ФУРСОВ В. А., д. т. н., проф.
ЮРЕВИЧ Е. И., д. т. н., проф.

**Редакция:**
ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.

## СОДЕРЖАНИЕ

**РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

**Краснощеченко В. И.** Синтез простого робастного регулятора для финитного управления гибким однозвенным манипулятором . . . 651

**Лютов А. Г., Рябов Ю. В.** Синтез технологического процесса для роботизированного комплекса на основе знаний . . . 660

**Крахмалев О. Н., Петрешин Д. И., Крахмалев Г. Н.** Математические модели систем управления для калибровки ориентации инструмента промышленных роботов 664

**КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Гулай А. В., Зайцев В. М.** Интеллектные технологии оперативного функционального контроля многопараметрических систем . . . 670

**Климина Л. А., Шалимова Е. С.** Двухпропеллерная ветроэнергетическая установка с дифференциальной планетарной передачей . . . 679

**Еременко Ю. И., Глущенко А. И., Петров В. А.** Об использовании нейросетевого настройщика для адаптации П регулятора скорости электропривода прокатной клети . . . 685

**СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

**Инсаров В. В., Сафонов В. А., Тихонова С. В.** Использование безэталонных метрик для оценки качества текущих изображений многообъектных стационарных наземных сцен. Часть 2 . . . 693

**УПРАВЛЕНИЕ В АВИАКОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Располов В. Я., Шведов А. П.** Резервная бесплатформенная система ориентации на отечественных микромеханических инерциальных датчиках . . . 699

**Корсун О. Н., Стуловский А. В., Канышев А. В.** Анализ движения самолетов на закритических углах атаки: коррекция погрешностей бортовых измерений и моделирование отклоняемого вектора тяги . . . 705

**СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ В ОБЛАСТИ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ**

**Бобряков А. В., Зуев А. В., Кабанов А. А., Каталинич Б., Пряничников В. Е., Стажков С. М., Филаретов В. Ф., Хомченко В. Г.** Особенности и возможности использования сетевых технологий в учебном процессе и в научных исследованиях при подготовке инженерных кадров различного уровня . . . 712

***Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук: журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования***

**Информация о журнале доступна по сети Internet по адресу: http://novtex.ru/mech, e-mail: mech@novtex.ru**

**© Издательство "Новые технологии", "Мехатроника, автоматизация, управление", 2017**

THEORETICAL AND APPLIED SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

# MECHATRONICS, AUTOMATION, CONTROL

Vol. 18
2017
No. 10

# MEKHATRONIKA, AVTOMATIZATSIYA, UPRAVLENIE

Published since 2000 ISSN 1684-6427 DOI 10.17587/issn.1684-6427

**Editorial Council:**
ALIEV T. A., prof., Azerbaijan, Baku
ANSHAKOV G. P., Russia, Samara
BOLOTNIK N. N., Russia, Moscow
CHENTSOV A. G., Russia, Ekaterinburg
CHERNOUSKO F. L., Russia, Moscow
CHYI-YEU LIN, PhD, Prof., Taiwan, Taipei
FEDOROV I. B., Russia, Moscow
GROUMPOS P. P., prof., Greece, Patras
JEN-HWA GUO, PhD, Prof., Taiwan, Taipei
KALYAEV I. A., Russia, Taganrog
KATALINIC B., PhD, Prof., Austria, Vienna
KRASNEVSKIY L. G., Belarus, Minsk
KUZNETSOV N. A., Russia, Moscow
LEONOV G. A., Russia, S.-Peterburg
MATVEENKO A. M., Russia, Moscow
MIKRIN E. A., Russia, Moscow
PESHEKHONOV V. G., Russia, S.-Peterburg
REZCHIKOV A. F., Russia, Saratov
SCHERBATYUK A. F., Russia, Vladivostok
SEBRYAKOV G. G., Russia, Moscow
SIGOV A. S., Russia, Moscow
SOJFER V. A., Russia, Samara
SOLOMENTSEV Yu. M., Russia, Moscow
SOLOVIEV V. A., Russia, Moscow
SUBUDHI B., PhD, Prof., India, Sundargarh
VASILYEV S.N., Russia, Moscow
YUSUPOV R. M., Russia, S.-Peterburg
ZHELTOV S. Yu., Russia, Moscow

**Editor-in-Chief:**
FILIMONOV N. B., Russia, Moscow

**Deputy Editor-in-Chief:**
PODURAEV Yu. V., Russia, Moscow
PUTOV V. V., Russia, S.-Peretburg
YUSCHENKO A. S., Russia, Moscow

**Responsible Secretary:**
BEZMENOVA M. Yu., Russia, Moscow

**Editorial Board:**
ALEXANDROV V. V., Russia, Moscow
ANTONOV B. I., Russia, Moscow
ARSHANSKY M. M., Russia, Tver
BUKOV V. N., Russia, Zhukovsky
ERMOLOV I. L., Russia, Moscow
FILARETOV V. F., Russia, Vladivostok
FRADKOV A. L., Russia, S.-Peterburg
FURSOV V. A., Russia, Samara
GRADETSKY V. G., Russia, Moscow
ILYASOV B. G., Russia, Ufa
IVCHENKO V. D., Russia, Moscow
KOLOSOV O. S., Russia, Moscow
KOROSTELEV V. F., Russia, Vladimir
LEBEDEV G. N., Russia, Moscow
LOKHIN V. M., Russia, Moscow
PAVLOVSKY V. E., Russia, Moscow
PROKHOROV N. L., Russia, Moscow
PSHIKHOPOV V. Kh., Russia, S.-Peterburg
RAPOPORT E. Ya., Russia, Samara
SERGEEV S. F., Russia, S.-Peterburg
VITTIKH V. A., Russia, Samara
YUREVICH E. I., Russia, S.-Peterburg

**Editorial Staff:**
GRIGORIN-RYABOVA E.V., Russia, Moscow

**The mission of the Journal is to cover the current state, trends and prospectives development of *mechatronics*, that is the priority field in the technosphere as it combines mechanics, electronics, automatics and informatics in order to improve manufacturing processes and to develop new generations of equipment. Covers topical issues of development, creation, implementation and operation of mechatronic systems and technologies in the production sector, power economy and in transport.**

## CONTENTS

**ROBOTIC SYSTEMS**

**Krasnoshchechenko V. I.** Synthesis of a Simple Robust Regulator for the Rest-to-Rest Motion Control of a Flexible Single-link Manipulator . . . 651

**Lutov A. G., Ryabov Y. V.** Synthesis of the Technological Process for a Robotic Complex on the Basis of Knowledge . . . 660

**Krakhmalev O. N., Petreshin D. I., Krakhmalev G. N.** Mathematical Models of the Control Systems for Calibration of the Tools' Orientation for the Industrial Robots . . . 664

**CONTROL AND AUTOMATION IN MECHATRON SYSTEMS**

**Gulay A. V., Zaitsev V. M.** Intelligent Technologies for an Operative Functional Control of the Multivariable Systems . . . 670

**Klimina L. A., Shalimova E. S.** Dual-Propeller Wind Turbine with a Differential Planetary Gear 679

**Eremenko Yu. I., Glushchenko A. I., Petrov V. A.** Concerning the Use of a Neural Tuner for Adjustment of the Speed P-controller of a Rolling Mill's Main Drive . . . 685

**SYSTEMS OF TECHNICAL VISION**

**Insarov V. V., Safonov V. A., Tikhonova S. V.** Application of the Non-Reference Metrics for the Quality Estimation of the Current Images of the Stationary Ground Multi-object Scenes. Part 2 . . . 693

**CONTROL IN AEROSPACE SYSTEMS**

**Raspopov V. Ya., Shvedov A. P.** Backup Platformless Orientation System Based on Domestic Micromechanical Inertial Sensors . . . 699

**Korsun O. N., Stulovsky A. V., Kanyshev A. V.** Analysis of the Aircraft Motion at the Overcritical Angles of Attack: Errors of the On-Board Measurements and Simulation of the Deviated Thrust Vector . . . 705

**NETWORK TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL PROCESS IN MECHATRONICS AND ROBOTICS**

**Bobryakov A. V., Zuev A. V., Kabanov A. A., Katalinic B., Pryanichnikov V. E., Stazkov S. M., Filaretov V. F., Homchenko V. G.** Specific Features and Opportunities of Employment of the Network Technologies in the Educational Process and Scientific Research for Training of Engineers of Various Levels . . . 712

**Information about the journal is available online at: http://novtex.ru/mech.html, e-mail: mech@novtex.ru**

© Издательство "Новые технологии", "Мехатроника, автоматизация, управление", 2017

УДК 378:004

DOI: 10.17587/mau.18.712-720

**А. В. Бобряков**[1], д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой, avbob@mail.ru,
**А. В. Зуев**[2], канд. техн. наук, мл. науч. сотр., zuev@dvo.ru,
**А. А. Кабанов**[3], канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, patronne@mail.ru,
**Б. Каталинич**[4], проф., президент DAAAM International, branko.katalinic@tuwien.ac.at,
**В. Е. Пряничников**[5], д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., v.e.pr@yandex.ru,
**С. М. Стажков**[6], д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, stazhkov@mail.ru,
**В. Ф. Филаретов**[2], д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, filaretov@inbox.ru,
**В. Г. Хомченко**[7], д-р техн. наук, проф., v_khomchenko@mail.ru,
[1] Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт", г. Москва,
[2] Дальневосточный федеральный университет и Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток,
[3] Севастопольский государственный университет, г. Севастополь,
[4] Венский технический университет и DAAAM International, г. Венна (Австрия),
[5] Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, г. Москва,
[6] Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург,
[7] Омский государственный технический университет, г. Омск

# Особенности и возможности использования сетевых технологий в учебном процессе и в научных исследованиях при подготовке инженерных кадров различного уровня*

*Описаны важнейшие принципы, а также особенности построения и эксплуатации межуниверситетской научно-образовательной сети, предназначенной для подготовки инженерных кадров различных уровней в области автоматизации производства, робототехники и других мехатронных систем.*

***Ключевые слова:*** *межуниверситетская научно-образовательная сеть, инженерное образование, автоматизация производства, робототехника, мехатроника*

## Введение

За последние десятилетия российское инженерное образование прошло сложный путь различных преобразований и реформ, необходимость и целесообразность которых в обществе часто вызывала и вызывает полярные оценки. С одной стороны, переход к быстро развивающемуся постиндустриальному обществу, ориентированному на непрерывно обновляемое высокопроизводительное инновационное производство, требует новых подходов к подготовке современных инженеров и создания новых принципов обучения (усвоения материала) с использованием современных возможностей и технологий, а с другой — приходит осознание того, что многое полезное и важное из того, что было создано в области методики преподавания в высшей школе предшествующими поколениями российских ученых, в последние годы утрачивается или, по крайней мере, принижается. Но технический и технологический прогресс, а также постоянно расширяющиеся человеческие возможности остановить невозможно, поэтому по-прежнему остро стоит проблема эффективного использования постоянно увеличивающегося потенциала общества для максимально возможного повышения уровня и эффективности высшего образования с учетом реально существующих ограниченных временных и физиологических возможностей подрастающего поколения, которые в отличие от постоянно возрастающего объема знаний остаются практически неизменными.

Очевидно, что обновление специальных знаний и технологий постоянно ускоряется. Их становится все больше, а инженеров и специалистов, своевременно осваивающих и с требуемой компетентностью владеющих этими быстро устаревающими знаниями, объективно становится меньше. Особенно это относится к инженерным специальностям, связанным с освоением новой техники, которая, ускоренно обновляясь и совершенствуясь, существенно дорожает и становится малодоступной для

* Работа поддержана грантами РФФИ (16-29-04195, 16-07-00300), а также грантом Президента РФ (МК-8536.2016.8).

многих даже продвинутых и крупных технических университетов, которые часто уже не успевают обновлять парк учебного и научного оборудования в условиях пока еще ограниченных финансовых возможностей государства. Поэтому эффективное использование имеющегося парка новейшего учебного оборудования для подготовки требуемого числа компетентных специалистов в передовых областях техники становится важнейшей задачей высшей школы.

Наметившийся переход к "конвейерной" подготовке специалистов, дефицит высокопрофессиональных, непрерывно обновляющих свои знания преподавателей и часто бездумное (к тому же возрастающее) использование в образовании "неконтактных" технологий уже сейчас приводят к тому, что связь "преподаватель—студент" постепенно ослабевает. Но ослабление непосредственного взаимодействия преподавателя и обучающегося как основы не только учебного, но и воспитательного процесса, приводит к тому, что существенно снижается важнейшая роль и статус Учителя — Наставника. Однако в традиции российского высшего образования преподаватель всегда выполнял особую роль, осуществляя не только передачу знаний и воспитательные функции, но и формирование у молодого поколения необходимых профессиональных навыков и компетенций. Известные во всем мире выдающиеся российские научные и образовательные школы всегда возникали именно там, где Наставник был не только авторитетным и уникальным специалистом, но и незаурядной личностью. Поэтому, как бы ни реформировалось высшее образование, внедряя (притом не всегда правильно, удачно и эффективно) новые технологии обучения, ключевой фигурой по-настоящему качественного учебного процесса по-прежнему останется Наставник — преподаватель, осуществляющий, дозирующий и контролирующий передачу знаний, навыков и компетенций при постоянном и непосредственном контакте со студентами, но особенно с теми, которые имеют уникальные ярко выраженные способности к творческому развитию осваиваемой специальности.

Однако уже упомянутая проблема нехватки высококвалифицированных преподавателей-инженеров и особенно тех, которые способны параллельно с образовательным процессом одновременно активно и успешно выполнять теоретические и прикладные научные исследования и разработки на международном уровне, пока только усугубляется и обостряется. Во многом это обусловлено многолетним отсутствием в России достаточного финансирования научных исследований, а также отсутствием заинтересованности российской промышленности в результатах этих исследований и знаниях, полученных после завершения прикладных исследований.

Сейчас Россия хоть и с запозданием, но все же осуществляет значительное стимулирование научной деятельности, в том числе в рамках амбициозных программ 5-100, а также по 218 и 220 постановлениям Правительства РФ, по федеральным целевым программам, по грантам Российского научного фонда (РНФ), Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и др., но этого пока явно недостаточно для существенного повышения профессионального и научного уровня преподавательских кадров подавляющего большинства российских вузов и особенно тех, которые не отнесены к числу элитных и наиболее "продвинутых".

Еще одной важной проблемой в подготовке инженерных кадров для различных промышленных предприятий является не просто наполнение их конкретными знаниями по соответствующим специальностям, но и формирование у них реальных **компетенций** для активного решения производственных задач, связанных с освоением новой техники и с созданием производственных комплексов, в которых взаимоувязывается плохо программно и аппаратно стыкуемое мехатронное оборудование различных производителей. Как показывает опыт, этой компетенции и соответствующих навыков у инженерных кадров многих производственных предприятий совсем нет. Во многом именно поэтому наблюдается крайне медленное внедрение передовой техники и технологий в производство.

Ранее привязку, стыковку и доводку новой техники и технологий для решения конкретных производственных задач на предприятиях осуществляли специалисты отраслевых институтов. А сейчас после минимально информационного тестового запуска поставщиками конкретного оборудования специалисты заводов оказываются один на один с новым непонятным им оборудованием, которое им еще нужно не только самостоятельно состыковать и встроить в технологическую цепь реального производства, но и осуществить мелкие доработки, необходимые при стыковке. Очень часто при отсутствии требуемой компетенции и поддержки сторонних специалистов, которых в области мехатроники и робототехники в России совсем немного, процесс внедрения сопровождается длительным "параличом" участков, на которые поставляется новая техника, и формированием на предприятиях устойчивого отторжения нового для производства оборудования и новых технологий.

### Особенности и задачи сетевого обучения специалистов по автоматизации производства, робототехнике и мехатронике

Во многом указанные выше проблемы уже сейчас можно решить посредством сетевой интеграции нескольких вузов с промышленными предприятиями и научными организациями. Но эффективность и успешность реализации сетевого образования зависит от многих его особенностей, включая широту и доступность, а также уровень непосредственного и реального контакта Наставника — преподавателя с обучающимися. Тем не менее, уже сейчас ясно, что сетевое образование, имея проч-

ную материально-техническую и научную основу, реально востребовано и будет непрерывно развиваться. Но каким будет это развитие, и как эффективно оно будет способствовать повышению уровня подготовки инженерных кадров даже при недостатке дорогостоящего учебно-научного лабораторного оборудования и высококвалифицированных преподавательских кадров (особенно в периферийных вузах или филиалах) сейчас зависит только от инициативных групп университетов, продвигающих эту форму университетского образования.

В данной работе описаны только некоторые важнейшие принципы, а также особенности построения и эксплуатации межуниверситетской научно-образовательной сети, предназначенной для подготовки инженерных кадров различных уровней в области автоматизации производства, робототехники и других мехатронных систем.

В сети реализуются четыре основные составляющие дистанционного обучения (образования):

- чтение ведущими профессорами лекционных курсов по специальным дисциплинам, для которых разработаны специальные учебно-методические материалы в виде электронных ресурсов (на нескольких языках), снабженных большим числом демонстрационных примеров и материалов (в виде роликов), иллюстрирующих реализацию изучаемого теоретического материала на практике;
- проведение лабораторных работ по этим дисциплинам с дистанционным использованием лабораторных установок, имеющихся у всех участников сети;
- дистанционное обучение проектному проектированию по материалам уже выполненных реальных проектов (в том числе и для нужд промышленных предприятий) по различным федеральным целевым программам, а также грантам РНФ и РФФИ;
- проведение различных производственных и эксплуатационных практик с использованием лабораторного и промышленного оборудования, имеющегося в распоряжении университетов — участников сети.

В одной статье с достаточной степенью детализации невозможно отразить все четыре составляющие сетевого образования, поэтому ниже будут изложены особенности дистанционной реализации только лабораторного практикума и проектного проектирования.

### Особенности реализации программно-аппаратных средств для дистанционной работы с лабораторным и промышленным оборудованием в сети

Для реализации возможности дистанционной работы с любым мехатронным оборудованием различных моделей по сети необходимы специализированные программные и аппаратные средства, позволяющие обеспечить удаленный доступ по технологии VPN. На основе этой технологии под руководством В. Е. Пряничникова в Институте прикладной математики РАН было создано программное обеспечение, в котором предусмотрены средства для решения проблем синхронизации, временных задержек, разграничения прав доступа и построения mesh-сетей с подвижными ретрансляторами, недостаточно проработанные в системах типа ROS [1]. Это программное обеспечение реализует промежуточный уровень "middleware" между аппаратной частью и прикладным уровнем, позволяя объединять несколько мехатронных устройств с возможностью удаленного доступа к ним и обеспечивая (при необходимости) динамическое изменение конфигурации (автоконфигурацию) компонентов системы без остановки устройств.

Созданное программное обеспечение обладает свойствами кроссплатформенности (поддержка процессоров x86\ARM и операционных систем Windows\Linux\Android OS) для использования на различных бортовых вычислительных устройствах, имеет малый объем и обеспечивает возможность расширения списка драйверов для работы с новыми датчиками и приводами. При его создании был использован интерпретатор языка Python, обеспечивающий работу системы в реальном масштабе времени, и Тьюринг — полные протоколы для управления роботом вместо специализированных протоколов или графических интерфейсов типа GUI MS Robotic Studio и др.

Возможности языка Python позволяют реализовать функцию перепрограммирования системы непосредственно во время ее функционирования, что обеспечивает возможность использования супервизорного управления, когда вместо управляющих команд на приводы робота подаются минипрограммы их управления. Это исключает влияние сетевых задержек при формировании управления роботами, часто приводящих к возникновению ошибок или даже аварийных ситуаций.

Впервые апробация созданного программного обеспечения была проведена при групповом управлении мобильными колесными и гусеничными роботами серии АМУР (рис. 1) на территории Дальневосточного федерального университета [2]. В состав

**Рис. 1. Внешний вид различных мобильных роботов ДВФУ**

каждого робота входил персональный бортовой компьютер, включаемый в локальную вычислительную сеть; система управления движением с усилителем сигналов управления и цифровыми дискретными входами/выходами; система измерения расстояний до обнаруживаемых предметов, построенная на основе ультразвуковых датчиков и микроконтроллера; видеокамера для визуального контроля движений роботов и видеосервер, включенный в локальную вычислительную сеть.

Бортовым компьютером робота является ноутбук ASUS Eee PC 1011CX, работающий под управлением Xubuntu Linux, получающий информацию от датчиков, установленных на роботе, и формирующий команды управления всеми его электронными и мехатронными подсистемами. Запуск управляющего программного обеспечения, установленного на ноутбуке, осуществляется с помощью средств управления процессами supervisord, которые включают два компонента: драйвер, предоставляющий интерфейс для программного взаимодействия с контроллером через локальную вычислительную сеть, и специализированное программное обеспечение для сервисных функций.

Система управления роботами построена на основе микроконтроллера "Робокон" версии C2b, который передает информацию от одометрических датчиков робота на бортовой компьютер и формирует сигналы управления всеми приводами в соответствии с командами, получаемыми от компьютера. Синтез сигналов управления осуществляется с помощью двухканального электронного ключа, работающего в режиме ШИМ, параметры которого задает микроконтроллер. Для измерения дистанций используются два ультразвуковых датчика типа SRF05, их сигналы обрабатываются микроконтроллером Arduino UNO, который, в свою очередь, подключен к бортовому компьютеру. Этот микроконтроллер имеет более восьми цифровых входов-выходов, что позволяет расширять состав сенсоров и элементов управления.

Бортовая видеосистема роботов использует цветные аналоговые видеокамеры, сигналы которых оцифровываются с помощью видеосервера модели Axis M7001, обеспечивая одновременное сжатие получаемого изображения по выбранному алгоритму с частотой кадровой развертки 50 Гц.

Описанные программно-аппаратные средства используются для дистанционного выполнения студентами лабораторного практикума по нескольким дисциплинам специальностей, связанных с робототехникой, автоматизацией производства и мехатроникой. В условиях дефицита дорогого современного оборудования это расширяет круг дистанционных пользователей (студентов, магистрантов и аспирантов), выполняющих реальное проектирование в рамках конкретных научно-технических проектов по федеральным целевым программам, а также грантам РНФ и РФФИ. Только работа по конкретным техническим проектам с использованием реального учебного и промышленного оборудования способна формировать у наиболее одаренных учащихся соответствующий уровень не только теоретических знаний и некоторых навыков практической работы, но и соответствующих компетенций по указанным специальностям, которые, несомненно, помогут им успешно решать задачи ускоренной, целенаправленной и качественной модернизации производственных процессов с использованием самых последних мировых достижений науки и техники.

### Примеры лабораторного практикума и проектного проектирования студентов, дистанционно реализуемых с помощью сети

***Групповое управление мобильными роботами.*** В настоящее время важным направлением развития мобильных робототехнических систем является реализация их групповых действий в процессе выполнения сложных миссий. Групповое управление колесными и гусеничными роботами типа "Амур" с помощью сети при их перемещении различным строем (рис. 1, 2) выполняется студентами в лабораторных работах. Целью лабораторного практикума является получение теоретических знаний и практических навыков реализации сложных систем управления (СУ). При подготовке и выполнении лабораторных работ студенты изучают состав оборудования (рис. 3) мобильных роботов (МР), структуру их СУ, особенности формирования и обмена данными между всеми роботами, перемещающимися различным строем.

Изучаемая студентами система группового управления строится на основе стратегии "ведущий—ведомые". В группе назначается лидер. Только он имеет полную информацию о заданной траектории движения. Лидер сканирует окружающее пространство своими сенсорами, выявляя препятствия на пути следования группы, а остальные МР формируют свои траектории движения на основе информации о текущем положении лидера (рис. 4).

Студенты проверяют работоспособность и анализируют преимущества используемого подхода при организации группового управления в условиях ограниченной пропускной способности каналов

**Рис. 2. Строй из пяти мобильных роботов**

Рис. 3. Содержимое мобильных роботов

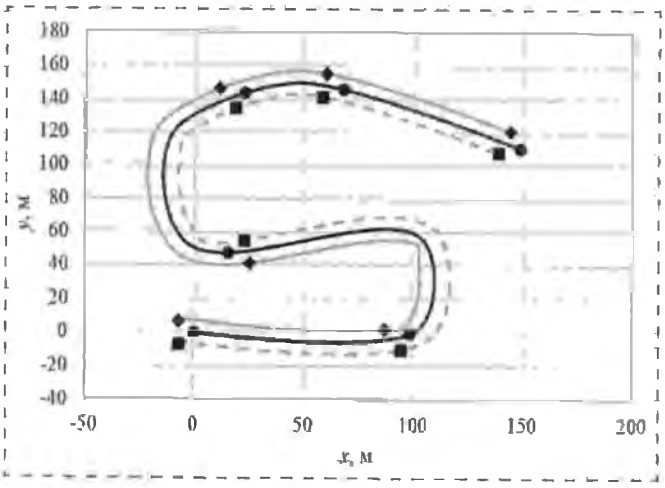



Рис. 4. Результирующая траектория движения трех роботов в составе группы, построенная информационно-управляющей системой

связи между всеми МР группы, изучают особенности передачи широковещательных сообщений от робота-лидера к роботам-ведомым (это исключает многократную передачу данных от лидера каждому ведомому или между ведомыми) и оценивают эффективность используемых систем по сравнению с известными. Затем студенты изучают и реализуют возможности системы по смене лидера и по изменению строя в процессе движения группы.

После проведения лабораторного практикума (в том числе и дистанционно с помощью сети) в ходе выполнения уже курсовых проектов по дисциплине "Автоматизированные информационно-управляющие системы", получив индивидуальные задания, студенты последовательно разрабатывают: архитектуру распределенной информационно-управляющей системы (ИУС), обеспечивающей взаимодействие с локальными ИУС отдельных МР группы; создают необходимые коммуникационные компоненты, позволяющие передавать данные между отдельными МР группы; строят, а затем и реализуют алгоритмы управления МР в зависимости от заданной миссии. Окончательной базовой задачей для выполняемого курсового проекта является демонстрация согласованного движения группы МР по заданной траектории в заданном строю (рис. 4). Эта демонстрация осуществляется и по сети, если курсовой проект выполняется студентами из различных университетов.

Курсовой проект по групповому управлению МР может быть усложнен, если он выполняется несколькими студентами. В этом случае лидеру дополнительно ставится задача обхода неожиданно появившихся заранее неизвестных препятствий. Задача обхода препятствий рассмотрена ниже.

***Управление автономными мобильным роботами в среде с препятствиями.*** Расширение области применения МР требует увеличения их автономности при перемещении в нестационарном (изменяющемся) рабочем пространстве с заранее неизвестными препятствиями. Основным источником информации о наличии препятствий вблизи МР являются их бортовые дальномеры. Целью лабораторной работы и последующих курсовых проектов является получение студентами навыков создания ИУС МР, содержащих элементы искусственного интеллекта и обеспечивающих их безопасное перемещение в заранее неизвестном окружении (обход препятствий).

В лабораторной работе рассматриваются два подхода к решению указанной задачи. Первый — традиционный — основан на использовании метода потенциальных полей. Для реализации этого подхода студенты создают архитектуру ИУС, обеспечивающую возможность использования и настройки функций, описывающих потенциальные поля, а также исключающую появление эффектов попадания в локальный минимум потенциального поля. Второй подход заключается в формировании гладких траекторий движения МР и их подстройке на основе данных, поступающих от бортовых дальномеров. При реализации этого подхода студенты разрабатывают модуль формирования программных сигналов перемещения МР, обеспечивающих их движение по траекториям, описываемым сплайнами Безье второго порядка. Движение МР по этим траекториям происходит с заданной скоростью (возможно переменной).

Пример движения МР Robotino в среде с препятствиями показан на рис. 5 (см. третью сторону обложки).

Перед выполнением работы студенты изучают теорию и публикации, подготовленные коллективом кафедры "Автоматизация и управление" ДВФУ

процессе выполнения реальных научных проектов на русском и английском языках [4—6].

***Выполнение манипуляторами технологических операций с использованием систем технического зрения при наличии неизвестных деформаций в процессе закрепления заготовки перед механической обработкой.*** При выполнении крупных научных проектов с промышленными предприятиями Приморского края (ПАО "Дальприбор" и ПАО ААК "ПРОГРЕСС") создана новая технология точной обработки гибких изделий произвольной геометрической формы с помощью многозвенных манипуляторов (ММ), оснащаемых системами технического зрения (СТЗ) [7—11]. Эта технология предполагает простую и быструю фиксацию изделия в универсальной оснастке с возможной произвольной деформацией ее геометрической формы; сканирование закрепленного изделия с помощью СТЗ; совмещение эталонной CAD-модели изделия с его моделью, полученной после сканирования, для точного определения мест механической обработки; автоматическое построение траекторий движения рабочего инструмента ММ.

Целью этой лабораторной работы является освоение студентами созданной новой интеллектуальной роботизированной технологии точной и быстрой обработки сложных деталей. При проведении лабораторной работы студенты вначале произвольно деформируют и произвольно закрепляют выданную деталь. Затем осуществляют ее сканирование с помощью лазерного сканера Gocator 3280 A и получают компьютерную модель детали в виде облаков точек (рис. 6, см. третью сторону обложки). С помощью созданного программного обеспечения уплотняют облако, убирая просветы, и совмещают CAD-модель с полученной трехмерной моделью отсканированной произвольно деформированной детали. После этого по специальному алгоритму определяются недеформированные и деформированные участки детали и обеспечивается перенос точек траекторий обработки детали с CAD-модели на трехмерную модель деформированной детали. В заключение осуществляется (и наблюдается студентами) точное перемещение манипулятором Mitsubishi RV-2FB-D рабочего инструмента вдоль поверхности детали, имитирующее ее обработку (рис. 7, см. третью сторону обложки).

Более детально все расчеты с поэтапным моделированием всех указанных выше процессов выполняются студентами при курсовом проектировании в рамках дисциплины "Роботы и их системы управления". При групповом выполнении проекта с демонстрацией полученных результатов в задании на проектирование наиболее способным студентам добавляется раздел, касающийся задания максимально возможной скорости перемещения рабочего инструмента в пределах заданной динамической точности управления [12, 13].

***Управление роботом с избыточными степенями подвижности при обработке крупногабаритных изделий.*** В процессе непрерывного выполнения с помощью ММ различных технологических операций часто возникают ситуации, когда некоторые их степени подвижности выходят на ограничения или появляется неоднозначность в решении обратной задачи кинематики, определяющем закон движения всех степеней подвижности многозвенника. В результате при работе ММ могут появляться неожиданные реверсы некоторых его приводов, часто приводящие к возникновению аварийных ситуаций или, в лучшем случае, к появлению брака.

Для устранения указанного явления могут использоваться избыточные линейные степени подвижности ММ, которые позволяют им не только обрабатывать протяженные объекты, но и выбирать такие расположения в пространстве, при которых неожиданные реверсы приводов не происходят. Схема лабораторной установки, реализующей использование дополнительных степеней подвижности ММ, показана на рис. 8. Эта система состоит из ММ KUKA и транспортера, имитирующего его дополнительную линейную степень свободы.

При выполнении лабораторной работы студенты составляют математическую модель всей системы, выбирают программную траекторию движения рабочего инструмента ММ относительно обрабатываемой детали и проводят математическое моделирование процесса обработки этой детали в целях определения участков траектории, на которых могут появляться непредсказуемые реверсы электроприводов. Деталь и программная траектория движения заранее задается такой, чтобы эти реверсы обязательно появлялись. Проведя специальный анализ, студенты определяют требуемое положение основания манипулятора относительно детали, при котором эти реверсы исключаются. Затем основание ММ перемещается в это заданное положение. После того как студенты при моделировании убеждаются в правильности выбранного нового положения, проводятся натурные испытания при выполнении ММ двух указанных движений на установке, показанной на рис. 8. При этом линейная степень подвижности ММ, имитирующая перемещение его основания относительно детали, обеспечивается транспортером.

В курсовых проектах студенты решают задачу выполнения рабочих операций с помощью ММ, когда места обработки изделий заранее неизвестны, а формируются с помощью СТЗ только в процессе выполнения конкретных технологических операций. При этом отсутствует возможность предварительного определения участков обработки, где могут происходить незапланированные реверсы. Поэтому синтезируемая студентами СУ содержит дополнительный блок, обеспечивающий автоматическое смещение основания ММ в случае обнаружения опасных участков непрерывно формируемой траектории обработки изделия. После математического моделирования рассмотренных ситуаций студенты также исследуют их с помощью натурной системы (рис. 8).

**Рис. 8. Схема лабораторной установки, создающей ММ дополнительную степень подвижности**

Все рассмотренные и другие лабораторные установки подключены к сети. Это позволяет выполнять лабораторный практикум дистанционно.

Но проведением лабораторного практикума и выполнением практических частей курсовых проектов возможности сети не исчерпываются. Наиболее способные студенты непосредственно участвуют в грантах федеральных целевых программ, РНФ и РФФИ, реализуя новые системы, защищаемые патентами на изобретения и свидетельствами на программные продукты. Только это в конечном итоге способствует приобретению компетенций в области проектирования и внедрения на различных производствах интеллектуальных информационно-управляющих систем ММ с СТЗ.

Однако наиболее ценная особенность сети заключается в том, что с ее помощью реальные разработчики и проектировщики различных мехатронных систем могут изложить слушателям, находящимся в различных регионах мира, важнейшие особенности и этапы создания этих систем. Могут поделиться соображениями, методами и подходами, которые они использовали при решении неожиданно появляющихся проблем и задач. А учащиеся могут задать интересующие их вопросы и получить ответы от непосредственных исполнителей успешно реализованных проектов. Это бесценная форма получения слушателями необходимого опыта и компетенций, которые нельзя почерпнуть ни в каких опубликованных учебниках и учебных пособиях.

## Заключение

С учетом ограничения объема представляемого материала в данной статье даны только некоторые фрагменты построения и использования возможностей сетевого обучения. Несмотря на уже накопленный опыт успешной эксплуатации сети в нескольких российских и иностранных университетах, а также в академических институтах и в промышленности, этот вид обучения еще только развивается. Безусловно, в будущем появятся новые сетевые формы передачи знаний и формирования у учащихся требуемых навыков и компетенций. Но главный успех сетевого образования будет обеспечен только в том случае, если, получив необходимый опыт, навыки и компетенции работы с реальным оборудованием, выпускники университетов или курсов переподготовки перестанут бояться новой, на первый взгляд, сложной техники и начнут интенсивное внедрение передовых технологий не только на различных отечественных предприятиях, но и в любых сферах человеческой деятельности.

### Список литературы


1. **Пряничников В. Е., Биелич Т., Вицан Д., Каталинич Б., Кирсанов К. Б., Кувшинов С. В., Марзанов Ю. С., Полураев Ю. В., Хелемендик Р. В., Прысев Е. А., Углешик А., Харин К. В.** Разработка образовательных технологий и сети ассоциированных лабораторий-роботариумов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13. С. 7—25.
2. **Pryanichnikov V. E., Filaretov V. F.** Autonomous Mobile University Robot AMUR: Technology and Application to Extreme Robotics // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 269—277.
3. **Pryanichnikov V. E., Andreev V. P., Prysev E. A.** Group control of mobile robots, based on the net-technologies // Proc. of the Int. Conference on Robotics for Security & Space (Planet & Earth rovers). St. Peterburg: Politechnika service. 2010. P. 279—283.
4. **Filaretov V., Yukhimets D.** The method of formation of AUV smooth trajectory in unknown environment // Proc. Of Int. Conf. OCEANS'2016. Shanghai, Chaina. 2016. P. 1—8.
5. **Filaretov V., Yukhimets D., Novitsky A.** The Mobile Robot Navigation Method Based on Onboard Sensors and Camera Data Fusion // Pros. of the Int. Conf.on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing. Madeira, Portugal. 2016. P. 179—186.
6. **Yukhimets D.** Neuron Net for Forming Optimal Smooth Trajectories Based on Bezier Splines // Applied Mechanics and Materials. 2017. Vol. 865. P. 442—449.
7. **Филаретов В. Ф., Юхимец Д. А., Зуев А. В., Губанков А. С., Мурсалимов Э. Ш.** Разработка метода совмещения трехмерных моделей обрабатываемых деталей с их CAD-моделями при наличии деформаций // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. № 3. С. 60—69.
8. **Филаретов В. Ф., Юхимец Д. А., Зуев А. В., Губанков А. С.** Метод автоматической обработки гибких изделий сложной пространственной формы на основе информации, получаемой от систем технического зрения и их CAD-моделей // Автоматизация в промышленности. 2016. № 12. С. 53—58.
9. **Filaretov V., Zuev A., Yukhimets D., Gubankov A., Mursalimov E.** Method of combination of three-dimensional models of details with their CAD-models at the presence of deformations // Proc. of 12th IEEE Conf. on Automation Science and Engineering. Fort Worth, Texas, USA. 2016. P. 257—261.
10. **Filaretov V., Zuev A., Gubankov A., Yukhimets D.** A new approach to automatization of non-rigid parts machining at their deformation by using multilink manipulators with vision system // Proc. of the 2016 IEEE Intern. Conf. on Computer, Control, Informatics and its Applications. Jakarta, Indonesia. 2016. P. 227—232.
11. **Filaretov V., Yukhimets D., Zuev A., Gubankov A., Mursalimov E.** The Automatization Method of Processing of Flexible Parts without their Rigid Fixation // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 4—13.
12. **Filaretov V. F., Gubankov A. S., Gornostaev I. V.** The Formation of Motion Laws for Mechatronics Objects Along the Paths with the Desired Speed // Proc. of International Conference on Computer, Control, Informatics and Its Applications. Jakarta, Indonesia. 2016. P. 93—96.
13. **Filaretov V. F., Gubankov A. S.** Adaptive system forming extremely high speed of multilink manipulator gripper // Proc. of 23rd International DAAAM Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Zadar, Croatia. 2012. Vol. 1. P. 473—476.