

ISSN 2072-9502 (Print)  
ISSN 2224-9761 (Online)

# ВЕСТНИК

АСТРАХАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ

УПРАВЛЕНИЕ,  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И ИНФОРМАТИКА

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 2009 ГОДА  
ВЫХОДИТ ЧЕТЫРЕ РАЗА В ГОД

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий  
Высшей аттестационной комиссии РФ  
для публикации результатов диссертационных работ

ИНДЕКСИРОВАНИЕ ЖУРНАЛА,  
ВКЛЮЧЕНИЕ В БАЗЫ ДАННЫХ

База данных Ulrich's Periodicals Directory (США)

База Applied Science & Technology Source компании EBSCO Publishing (США)

Международная система библиографических ссылок CrossRef

Общероссийский математический портал Math-Net.ru

Российский индекс научного цитирования – РИНЦ (Россия)

Реферативный журнал и база данных ВИНТИ РАН (Россия)

**4** **2021**  
**октябрь**

АСТРАХАНЬ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО АГТУ

## УЧРЕДИТЕЛЬ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Астраханский государственный технический университет»

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**И. Ю. КВЯТКОВСКАЯ** – доктор технических наук, профессор,  
Астраханский государственный технический университет, Россия, Астрахань

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

**В. А. АТРОЩЕНКО** – доктор технических наук, профессор, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

**В. Ю. БАБКОВ** – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

**П. БЕДНАРЖОВА** – PhD, Технико-экономический институт в Чешских Будейовицах, Чехия

**П. А. БЕЛОВ** – доктор физико-математических наук, PhD (технические науки), профессор, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

**А. А. ВОЕВОДА** – доктор технических наук, профессор, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

**К. А. ВЫТОВТОВ** – кандидат физико-математических наук, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

**В. В. ВЯТКИН** – доктор технических наук, профессор, Оклендский университет, Окленд, Новая Зеландия

**Л. С. ГОРДЕЕВ** – доктор технических наук, профессор, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

**С. И. ДВОРЕЦКИЙ** – доктор технических наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

**Ю. КИХО** – кандидат технических наук, заслуженный профессор, Тартуский университет, Тарту, Эстония

**Ю. А. КОМИССАРОВ** – доктор технических наук, профессор, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

**В. В. КОПЫТОВ** – доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

**А. Г. КРАВЕЦ** – доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

**О. Б. МАКАРЕВИЧ** – доктор технических наук, профессор, Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

**О. Н. ПИЩИН** – кандидат технических наук, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

**Г. А. ПОПОВ** – доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

**О. М. ПРОТАЛИНСКИЙ** – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия, Москва

**Д. СМЕТАНОВА** – RNDr, Технико-экономический институт в Чешских Будейовицах, Чехия

**А. А. ХАНОВА** – доктор технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

**Т. В. ХОМЕНКО** – доктор технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

**А. В. ЧАСТИКОВ** – доктор технических наук, профессор, Вятский государственный университет, Киров, Россия

**В. Ф. ШУРШЕВ** – доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

### Адрес редакции:

414056, Астрахань, Татищева, 16,  
Астраханский государственный технический университет.  
Тел.: (8512) 61-42-98  
Факс: (8512) 61-43-66  
E-mail: [vestnik\\_astu@astu.org](mailto:vestnik_astu@astu.org)  
<http://vestnik.astu.org/>

© ФГБОУ ВО «Астраханский государственный  
технический университет»,

Вестник Астраханского государственного  
технического университета.

Серия: Управление,  
вычислительная техника и информатика, 2021

ISSN 2072-9502 (Print)  
ISSN 2224-9761 (Online)

# VESTNIK

OF ASTRAKHAN  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY

SERIES

MANAGEMENT,  
COMPUTER SCIENCE  
AND INFORMATICS

SCIENTIFIC JOURNAL

PUBLISHED SINCE JANUARY 2009  
ISSUED FOUR TIMES A YEAR

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific journals  
of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation  
for publishing theses' results

JOURNAL INDEX,  
REGISTRATION IN DATABASES

Ulrich's Periodicals Directory (USA)  
Applied Science & Technology Source of EBSCO Publishing, Inc. (USA)  
International Bibliographic Reference System CrossRef  
All-Russian Mathematical Portal Math-Net.Ru  
Russian Index of Scientific Citation (Russia)  
Abstract Journal and Data Base  
of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information  
of Russian Academy of Sciences (Russia)

4 2021  
October

ASTRAKHAN  
PUBLISHING HOUSE OF ASTU

## FOUNDER

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION  
OF HIGHER EDUCATION

“Astrakhan State Technical University”

## EDITOR-IN-CHIEF

**I. Yu. KVIATKOVSKAYA** – Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

## EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

**V. A. ATROSCHENKO** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

**V. Yu. BABKOV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia

**P. BEDNÁROVÁ** – PhD, Institute of Business and Technology, České Budejovice, Czech Republic

**P. A. BELOV** – Doctor of Physics and Mathematics, PhD (Technical Sciences), Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

**A. A. VOEVODA** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

**K. A. VYTOVTOV** – Candidate of Physics and Mathematics, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

**V. V. VYATKIN** – Doctor of Technical Sciences, Professor, University of Auckland, Auckland, New Zealand

**L. S. GORDEEV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mendelev Russian Chemical and Technological University, Russia, Moscow

**S. I. DVORETSKY** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Tambov State Technical University, Russia, Tambov

**Yu. KIHO** – Candidate of Technical Sciences, Professor Emeritus, University of Tartu, Tartu, Estonia

**Yu. A. KOMISSAROV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Mendelev Russian Chemical and Technological University, Russia, Moscow

**V. V. KOPYTOV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

**A. G. KRAVETS** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

**O. B. MAKAREVICH** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Taganrog, Russia

**O. N. PISHCHIN** – Candidate of Technical Sciences, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

**G. A. POPOV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

**O. M. PROTALINSKIY** – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University “Moscow Power Engineering Institute”, Russia, Moscow

**D. SMETANOVA** – RNDr, Institute of Business and Technology, České Budejovice, Czech Republic

**A. A. KHANOVA** – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

**T. V. KHOMENKO** – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

**A. V. CHASTIKOV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vyatka State University, Vyatka, Russia

**V. F. SHURSHEV** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Astrakhan State Technical University, Russia, Astrakhan

### Editors address:

Astrakhan State Technical University  
16 Tatishcheva Street, Astrakhan,  
414056, Russia  
Tel.: (8512) 61-42-98  
Fax: (8512) 61-43-66  
E-mail: [vestnik\\_astu@astu.org](mailto:vestnik_astu@astu.org)  
<http://vestnik.astu.org/>

© FSBEI HE “Astrakhan State Technical University”,

Vestnik of Astrakhan State Technical University.  
Series: Management, Computer Science  
and Informatics, 2021

# СОДЕРЖАНИЕ

## УПРАВЛЕНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

<i>Федорова Н. В.</i> Сложные классификаторы формальной теории классификации технических систем: иерархо-матричные, зональные, циклические .....	7
<i>Крушель Е. Г., Потафеева Е. С., Озар Т. П., Степанченко И. В., Харитонов И. М.</i> Возможности киберфизического подхода для исследования частотных свойств замкнутой системы при неполной информации о модели объекта управления .....	21
<i>Чичерин И. В., Федосенков Б. А.</i> Формирование сигналов текущих траекторий в автоматизированной системе модального управления движением беспилотных транспортных средств в условиях открытых горных работ .....	35
<i>Амелин С. А., Амелина М. А., Дроздецкий С. В., Якименко И. В.</i> Модель переключаемой ШИМ-структуры для анализа импульсных преобразователей напряжения с произвольной топологией.....	45

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Афонин В. В., Савкина А. В., Никулин В. В.</i> Алгоритм и методика ранжирования группы растровых изображений .....	58
<i>Фейламазова С. А., Ахмедова З. Х., Абдуразакова З. Ш.</i> Разработка аппаратно-программного комплекса дистанционного управления микроклиматом теплицы .....	68
<i>Potapova R. K., Dzhunkovskiy A. V.</i> Potential applications of linguistic steganographic trigger-containers for text watermarking purposes .....	76

## УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Михеев А. В.</i> Вероятностный подход к определению производственных функций.....	82
<i>Носков С. И., Вергасов А. С.</i> Регрессионные модели оценки влияния экономических показателей на объемы услуг в сфере информационных и коммуникационных технологий .....	95
<i>Аверченков А. В., Алидодов А. М.</i> Формализация систем управления процессом обучения иностранных студентов в вузах Российской Федерации.....	104

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Пустовалова Н. В.</i> Онтологическая модель процесса взаимодействия образовательного контента и обучаемого в архитектуре интеллектуальных обучающих систем .....	113
<i>Казначеева Н. В., Полетайкин А. Н., Данилова Л. Ф., Сеница С. Г.</i> Гибридная модель построения индивидуальной образовательной траектории на основе цифровых двойников.....	126

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА

<b>«ВЕСТНИК АСТРАХАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ: УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА».....</b>	<b>137</b>
---	------------

# CONTENTS

## MANAGEMENT, MODELING, AUTOMATION

<i>Fedorova N. V.</i> Complex classifiers of formal classification theory of technical systems: hierarcho-matrix, zone, cyclic.....	7
<i>Krushel E. G., Potafeeva E. S., Ogar T. P., Stepanchenko I. V., Kharitonov I. M.</i> Possibilities of cyber-physical approach to studying frequency properties of closed system with incomplete information about control object model .....	21
<i>Chicherin I. V., Fedosenkov B. A.</i> Forming signals of current trajectories in computer-aided system of modal controlling unmanned vehicles in open pit mining .....	35
<i>Amelin S. A., Amelina M. A., Drozdetsky S. V., Yakimenko I. V.</i> Model of switch-controlled PWM structure for analysis of pulse voltage converters with arbitrary topology .....	45

## COMPUTER SOFTWARE AND COMPUTING EQUIPMENT

<i>Afonin V. V., Savkina A. V., Nikulin V. V.</i> Algorithm and methods of ranking group of bitmap images.....	58
<i>Feilamazova S. A., Akhmedova Z. Kh., Abdurazakova Z. Sh.</i> Developing hardware and software complex for remote control of greenhouse microclimate .....	68
<i>Potapova R. K., Dzhunkovskiy A. V.</i> Potential applications of linguistic steganographic trigger-containers for text watermarking purposes .....	76

## SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS MANAGEMENT

<i>Mikheev A. V.</i> Probabilistic approach to determining production functions .....	82
<i>Noskov S. I., Vergasov A. S.</i> Regression models of assessing influence of economic indicators on amount of services in information and communication technologies .....	95
<i>Averchenkov A. V., Alidodov A. M.</i> Formalization of control systems for process of training foreign students in universities of Russian Federation .....	104

## INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL ACTIVITY

<i>Pustovalova N. V.</i> Ontological model of interaction between educational content and learner in intelligent tutorial system architecture .....	113
<i>Kaznacheeva N. V., Poletaikin A. N., Danilova L. Ph., Sinitsa S. G.</i> Hybrid model for constructing individual educational trajectory based on digital twins.....	126

## INSTRUCTIONS TO THE AUTHORS OF THE JOURNAL

“VESTNIK OF ASTRAKHAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. SERIES: MANAGEMENT, COMPUTER SCIENCE AND INFORMATICS” .....	137
---	-----