

ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН»

## N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY OF  
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF  
KAZAKHSTAN

**SERIES OF PHYSICS AND MATHEMATICS**

**2 (354)**

**APRIL – JUNE 2025**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963  
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

#### CHIEF EDITOR:

**MUTANOV Galimkair Mutanovich**, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

#### EDITORIAL BOARD:

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich**, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaeovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**WOICIK Waldemar**, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**SMOLARJ Andrej**, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**KEILAN Alimkhan**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**KHAIROVA Nina**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**OTMAN Mohamed**, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**BIYASHEV Rustam Gakashevich**, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

**KAPALOVA Nursulu Aldazharovna**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>

**KOVALYOV Alexander Mikhailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**TIGHINEANU Ion Mihailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

#### News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

##### Series of Physics and Mathematics

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

Certificate No. **KZ20VPY00113741** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **28.02.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year*.

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

#### БАС РЕДАКТОР:

**МҮТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

#### РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Максат Нұрәділұлы**, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы** (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**БАЙГҮНЧЕКОВ Жүмаділ Жанабайұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**ВОЙЧИК Вальдемар**, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**СМОЛАРЖ Анджей**, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**КЕЙЛАН Әлімхан**, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**ХАЙРОВА Нина**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**ОТМАН Мохаммед**, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы**, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**БИЯШЕВ Рустам Гакашевич**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

**КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **28.02.2025** ж. берген №**KZ20VPY00113741** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 2025

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

**МУТАНОВ Галимканр Мутанович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

## Редакционная коллегия:

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович**, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сатпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**ВОЙЧИК Вальдемар**, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**СМОЛЯРЖ Анджей**, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**КЕЙЛАН Алимхан**, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**ХАЙРОВА Нина**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**ОТМАН Мохамед**, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна**, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**БИЯШЕВ Рустам Гакашевич**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

**КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

**«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ20VPY00113741**. Дата выдачи **28.02.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*  
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

## CONTENTS

## INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

<b>O. Auyelbekov, E. Bostanov, R. Berkutbayeva, A. Seidildayeva, I. Musabekova</b> ANALYSIS OF AGRICULTURAL YIELDS IN KAZAKHSTAN USING UNMANNED AERIAL VEHICLES AND AI.....	12
<b>S.T. Akhmetova, S.U. Ismailov, A.A. Batyrbekov, A.S. Ismailova</b> PREREQUISITES FOR CREATION OF A VIRTUAL 3D MODEL OF AN UNMANNED UNIVERSAL CROPPING TRACTOR.....	33
<b>A. Bekarystankyzy, O. Mamyrbayev, D. Oralbekova, A. Yerimbetova, M. Turdalyuly</b> TESTING THE AUDIO-TEXT DATASET FOR KAZAKH LANGUAGE USING THE CONFORMER ENCODER.....	50
<b>G. Bekmanova, M. Kantureeva, A. Omarbekova, B. Ergesh, A. Zakirova</b> THE USE AND IMPACT ASSESSMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION.....	61
<b>N.S. Yesmukhamedov, S. Sapakova, Syed Abdul Rahman Al-Haddad, D. Daniyarova</b> DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE FOR HEALTHCARE INSTITUTIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	74
<b>T. Zhukabayeva, V. Desnitsky, Y. Mardenov, N. Karabayev</b> INFORMATION SECURITY INCIDENT MANAGEMENT IN IIOT SYSTEMS WITH EDGE COMPUTING.....	92
<b>M. Ilesbay, A. Tynymbayev, S. Mambetov, A. Barakova, O. Joldasbayev</b> INTEGRATED METHOD OF INFORMATION PROTECTION BASED ON DATA COMPRESSION, ENCRYPTION AND SEPARATION.....	107
<b>B.A. Karibayev, N. Meirambekuly, M. Ibraim, A.S. Baikenov, G.B. Ikhsan</b> DESIGN OF A SIX-ELEMENT S-BAND ANTENNA ARRAY FOR CUBESAT.....	125
<b>N. Karymsakova, K. Ozhikenov, M. Bolysbek, R. Beisembekova</b> ARCHITECTURE OF THE MEDICAL REHABILITATION PLATFORM.....	140

<b>D. Kuanyshbay, A. Shoiynbek, K. Rabbany, A. Bekarystankyzy, A. Mukhametzhanov</b> COMPARISON OF MACHINE LEARNING AND REINFORCEMENT LEARNING FOR DEPRESSION RECOGNITION FROM SPEECH.....	155
<b>E. Nysanov, Zh. Kemelbekova, E. Abdrashova, S. Kurakbaeva, A. Baydibekova</b> MODELING AND CALCULATION OF THE FLOW OF THREE-PHASE MEDIA WITH VARIABLE CONCENTRATIONS.....	169
<b>B. Orazbaev, Z. Kuzhukhanova, K. Orazbaeva, A. Kishubaeva</b> DEVELOPMENT OF MODELS OF ATMOSPHERIC AND RECTIFICATION COLUMNS IN PRIMARY OIL REFINING.....	181
<b>D. Rakhimova, A. Sarsenbayeva, A. Turarbek, A. Auezova</b> THE USE OF DEEP LEARNING TO IMPROVE THE ACCURACY OF ANSWERS IN MULTILINGUAL QUESTION-AND-ANSWER SYSTEMS...	196
<b>L. Rzayeva, D. Pogolovkin, A. Myrzatay</b> DEVELOPMENT OF A MODULAR NLP-BASED CORRESPONDENCE ANALYSIS SERVICE FOR DIGITAL FORENSICS.....	212
<b>A.T. Sankibayev, I. Makhambayeva, K. Kanibaikyzy, A. Temirbek</b> MODELING OF VIBRATIONAL PROCESSES IN WOLFRAM MATHEMATICA SYSTEM.....	234
<b>N.M. Temirbekov, A.K. Turarov</b> NUMERICAL SOLUTION OF THE DIRECT AND INVERSE PROBLEM OF GAS LIFT OIL PRODUCTION PROCESS BY THE METHOD OF CONJUGATE EQUATIONS.....	251
<b>Z. Utemaganbetov, Kh. Ramazanova, K. Bizhanova, R. Assylbayeva</b> AN ANALYTICAL AND NUMERICAL METHOD FOR TRANSFERRING BOUNDARY CONDITIONS FOR A ONE-DIMENSIONAL DIFFUSION EQUATION.....	280
<b>M. Khizirova, K. Chezhimbayeva, A. Kassimov, M. Yermekbayev</b> RESEARCH ON DISTRIBUTION TRAFFIC AND DISTRIBUTION METHODS IN VANET NETWORKS.....	294
<b>K. Yakunin, D. Kusain, R.I. Mukhamediev, N. Yunicheva, N. Kuldeyev</b> INTEGRATION OF FLIGHT PATH PLANNING PROGRAMS AND CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	317



## МАЗМҰНЫ

### АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

<b>Ө. Әуелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, І. Мусабекова</b> ҚАЗҚАСТАНДА АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНІМДІЛІГІН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ТАЛДАУ.....	12
<b>С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова</b> ЖҮРГІЗУШІСІЗ ӘМБЕБАП ЕГІН ЕГЕТІН ТРАКТОРДЫҢ ВИРТУАЛДЫ 3D МОДЕЛІН ҚҰРУДЫҢ АЛҒЫ ШАРТТАРЫ.....	33
<b>А. Бекарыстанқызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова, М. Тұрдалыұлы</b> CONFORMER ШИФРЛАУШЫСЫН ҚОЛДАНЫП ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ АУДИО- МӘТІН ТҮРІНДЕ ЖИНАЛҒАН МӘЛІМЕТТЕР ҚОРЫН СЫНАУ.....	50
<b>Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б. Ж. Ергеш, А.Б. Закирова</b> ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ.....	61
<b>Н.С. Есмұхамедов, С. Сапақова, Сайд Абдул Рахман Әл-Хаддад, Д. Даниярова,</b> МЕДИЦИНАЛЫҚ МЕКЕМЕЛЕРГЕ АРНАЛҒАН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНАТЫН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ АРХИТЕКТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ.....	74
<b>Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марленов, Н. Карабаев</b> ПОТ-ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ИНЦИДЕНТТЕРІН ШЕТКІ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП БАСҚАРУ.....	91
<b>М.А. Ілесбай, Ә.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова, О.К. Джолдасбаев</b> ДЕРЕКТЕРДІ СЫҒУ, ШИФРЛАУ ЖӘНЕ БӨЛУ НЕГІЗІНДЕ АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУДЫҢ БІРІКТІРІЛГЕН ӘДІСІ.....	107
<b>Б.А. Карибаев, Н. Мейрамбекұлы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан</b> CUBESAT ҮШІН АЛТЫ ЭЛЕМЕНТТІ S-ДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА ТОРЫН ЖОБАЛАУ.....	125
<b>Н.Т. Карымсакова, К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова</b> МЕДИЦИНАЛЫҚ ОҢАЛТУ ПЛАТФОРМА АРХИТЕКТУРАСЫ.....	140

**Д. Қуанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Мұхаметжанов, Б. Мералиев**  
СӨЙЛЕУ АРҚЫЛЫ ДЕПРЕССИЯНЫ ТАҢУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ  
ОҚЫТУ МЕН КҮШЕЙТУ АРҚЫЛЫ ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ.....155

**Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева,  
А.О. Байдибекова**  
АЙНЫМАЛЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫ ҮШ ФАЗАЛЫ ОРТАЛАРДЫҢ  
АҒЫНЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ.....169

**Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева**  
МҰНАЙДЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ АТМОСФЕРАЛЫҚ  
ЖӘНЕРЕТИФИКАЦИЯЛЫҚКОЛОНОЛАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН  
ӨЗІРЛЕУ.....181

**Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, Ә. Турарбек, Ә. Ауезова**  
КӨП ТІЛДІ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ЖАУАПТАРДЫҢ  
ДӘЛДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ.....196

**Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А.Мырзатай**  
ЦИФРЛЫҚ КРИМИНАЛИСТИКА ҮШІН NLP НЕГІЗІНДЕГІ МОДУЛЬДІК  
ХАТ АЛМАСУДЫ ТАЛДАУ ҚЫЗМЕТІН ӨЗІРЛЕУ.....212

**А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайқызы, А. Темирбек**  
ТЕРБЕЛІСТЕР ҮДЕРІСІН WOLFRAM MATHEMATICA ЖҮЙЕСІНДЕ  
МОДЕЛДЕУ.....234

**Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров**  
МҰНАЙ ӨНДІРУДІҢ ГАЗЛИФТТІК ПРОЦЕСІНІҢ ТУРА ЖӘНЕ КЕРІ  
ЕСЕПТЕРІН ТҮЙІНДЕС ТЕҢДЕУЛЕР ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ШЕШУ.....251

**З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева**  
БІРӨЛШЕМДІ ДИФфуЗИЯ ТЕҢДЕУІ ҮШІН ШЕКАРАЛЫҚ  
ШАРТТАРДЫ КӨШІРУДІҢ АНАЛИТИКАЛЫҚ-САНДЫҚ ӘДІСІ.....280

**М. Хизирова, К. Чежимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев**  
VANET ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ТАРАТУ ТРАФИГІН ЖӘНЕ ТАРАТУ  
ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....294

**К. Якунин, Д. Құсайын, Равиль И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев**  
ҰШУ МАРШРУТТАРЫН ЖОСПАРЛАУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫ МЕН  
ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН  
ҰШТАСТЫРУ.....317



## СОДЕРЖАНИЕ

## ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>О. Ауелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, И. Мусабекова</b> АНАЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИИ.....	12
<b>С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова</b> ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ 3D МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА.....	33
<b>А. Бекарыстанкызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова, М. Турдалыулы</b> ТЕСТИРОВАНИЕ КОРПУСА ДАННЫХ В ВИДЕ АУДИО-ТЕКСТ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CONFORMER .....	50
<b>Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б.Ж. Ергеш, А.Б. Закирова</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ.....	61
<b>Н.С. Есмухамедов, С. Сапакова, Сайед Абдул Рахман Аль-Хаддад, Д. Даниярова</b> РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	74
<b>Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марденов, Н. Карабаев</b> УПРАВЛЕНИЕ ИНЦИДЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОТ-СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	92
<b>М.А. Илесбай, А.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова, О.К. Джолдасбаев</b> ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЖАТИЯ, ШИФРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ.....	107

<b>Б.А. Каримаев, Н. Мейрамбекулы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЕСТИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ S-ДИАПАЗОНА ДЛЯ CUBESAT.....	125
<b>Н.Т. Карымсакова К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова</b> АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ.....	140
<b>Д. Куанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Бекарыстанкызы, А. Мухаметжанов</b> СРАВНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕПРЕССИИ ПО РЕЧИ.....	155
<b>Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева, А.О. Байдибекова</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ СРЕД С ПЕРЕМЕННЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ.....	169
<b>Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева</b> РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНЫХ И РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ.....	181
<b>Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, А. Турарбек, А. Ауезова</b> ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТВЕТОВ В МУЛЬТИЯЗЫЧНЫХ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМАХ.....	196
<b>Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А. Мырзатай</b> РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО СЕРВИСА АНАЛИЗА ПЕРЕПИСОК НА ОСНОВЕ NLP ДЛЯ ЦИФРОВОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ.....	212
<b>А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайкызы, А. Темирбек</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ WOLFRAM MATHEMATICA.....	234
<b>Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров</b> ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГАЗЛИФТНОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ НЕФТИ МЕТОДОМ СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ.....	251

<b>З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева</b> АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПЕРЕНОСА КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ.....	280
<b>М. Хизирова, К. Чежимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА И МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЕТЯХ VANET.....	294
<b>К. Якунин, Д. Кусайын, Р.И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев</b> СОПРЯЖЕНИЕ ПРОГРАММ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	317

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2. Number 354 (2025). 33–49

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.342>

UDC 629.113

©S.T. Akhmetova\*, S.U. Ismailov, A.A. Batyrbekov, A.S. Ismailova, 2025.

South Kazakhstan University named after. M. Auezova, Shymkent, Kazakhstan.

E-mail: sabdas65@mail.ru

### PREREQUISITES FOR CREATION OF A VIRTUAL 3D MODEL OF AN UNMANNED UNIVERSAL CROPPING TRACTOR

**Akhmetova S.T.** — Candidate of sciences in physics and math, Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Department of Computer engineering and software, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: sabdas65@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5164-2028;

**Ismailov S.U.** — Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, South Kazakhstan University named after Mukhtar Auezov, Department of Automation, Telecommunication and Control, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: sicomaz@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9077-2463;

**Batyrbekov A.A.** — Master, South Kazakhstan University named after Mukhtar Auezov, Department of Automation, Telecommunication and Control, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: Aman\_batyr@mail.ru, ORCID: 0009-0009-9390-5709;

**Ismailova A.S.** — Master, South Kazakhstan University named after Mukhtar Auezov, Department of Automation, Telecommunication and Control, Shymkent, Kazakhstan,

E-mail: aleka\_91\_91@mail.ru, ORCID: 0009-0006-8015-9469.

**Abstract.** This paper provides a literature review and analytical analysis of autonomous vehicles. The main trends in the development of unmanned vehicles for various purposes are identified. Achievements in the development of unmanned agricultural machines created by large foreign companies are shown. Based on the review and analytical analysis, the composition of the subsystems of the developed automation system of an unmanned row-crop tractor is determined. The relationships between these subsystems are determined. The purpose and functions of each automation system of an unmanned tractor are described. The main automation tools, modules and control and management units are selected, their placement on the tractor is shown. Unmanned ground vehicles are currently moving from the direction of developing driver assistance systems to a complete transition. The paper presents and discusses the purpose, aspects and advantages of virtual modeling in the development and testing of various unmanned vehicles. A comparative analysis of the existing tools used in virtual modeling, methods and procedures for creating virtual 3D models of unmanned vehicles is carried out. Based on the comparative analysis, the Gazebo software tool was selected. The

advantages of using the Gazebo software environment relative to other software tools are described. Further use of Gazebo in virtual modeling is described. In conclusion, conclusions are made based on the results of this work.

**Key words:** vehicle, unmanned vehicle, unmanned tractor, virtual simulation, automation system, on-board computer

©С.Т. Ахметова\*, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова, 2025.  
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан.  
E-mail: sabdas65@mail.ru

## **ЖҮРГІЗУШІСІЗ ӘМБЕБАП ЕГІН ЕГЕТІН ТРАКТОРДЫҢ ВИРТУАЛДЫ 3D МОДЕЛІН ҚҰРУДЫҢ АЛҒЫ ШАРТТАРЫ**

**Ахметова С.Т.** — доцент, ф.-м.ғ.к., Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: sabdas65@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5164-2028;

**Исмаилов С.У.** — доцент, т.ғ.к., Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: sicomaz@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9077-2463;

**Батырбеков А.А.** — оқытушы, Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: Aman\_batyr@mail.ru, ORCID: 0009-0009-9390-5709;

**Исмаилова А.С.** — оқытушы, Мұхтар Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Автоматтандыру, телекоммуникация және басқару» кафедрасы, Шымкент, Қазақстан, E-mail: aleka\_91\_91@mail.ru, ORCID: 0009-0006-8015-9469.

**Аннотация.** Бұл мақалада жүргізушісіз көліктер туралы әдебиеттерге шолу және аналитикалық талдау қарастырылған. Өртүрлі мақсаттағы жүргізушісіз көліктерді құрастырудың негізгі тенденциялары анықталды. Шетелдік ірі компаниялар жасаған жүргізушісіз ауыл шаруашылығы машиналарын жасаудағы жетістіктер көрсетілген. Шолу деректері мен аналитикалық талдау негізінде жүргізушісіз оталмауы тракторға арналған құрастырылып жатқан автоматтандыру жүйесінің ішкі жүйелерінің құрамы анықталды. Осы ішкі жүйелер арасындағы байланыстар анықталады. Жүргізушісіз тракторларды автоматтандыру жүйесінің әрбір ішкі жүйесінің мақсаты мен функциялары сипатталған. Автоматтандырудың негізгі жабдықтары, модульдері және бақылау мен басқару блоктары таңдалды және олардың тракторда орналасуы көрсетілген. Жүргізушісіз көліктерін дамыту қазіргі уақытта жүргізушіге көмекші жүйелерді дамыту бағытынан автономды роботты көліктерге толық көшуде. Қозғалыс траекториясы мен бағытын дербес анықтауға, қозғалыс жылдамдығының параметрлерін дербес анықтауға, таңдауға және реттеуге, жол жағдайын бағалауға, барлық электромеханикалық қондырғылардың, автоматика құралдарының элементтері мен блоктарының жұмыс жағдайын бағалауды және жүргізушісіз көлік жүйелерін дамытудың маңызды кезеңдерінің бірі жеке блоктардың да, бүкіл көлік құралының да жұмысын

модельдеу және виртуалды модельдеу қамтамасыз ету. Жұмыста әртүрлі жүргізушісіз көліктерді жасау және сынау кезінде виртуалды модельдеудің мақсаты, аспектілері мен артықшылықтары ұсынылған және талқыланған. Виртуалды модельдеу әдістері мен жүргізушісіз көліктердің виртуалды 3D модельдерін құру процедураларында айналынылатын қолданыстағы құралдарға салыстырмалы талдау жүргізілді. Салыстырмалы талдау негізінде Gazebo бағдарламалық құралы таңдалды. Gazebo бағдарламалық жасақтамасын қолданудың басқа бағдарламалық құралдарға қатысты артықшылықтары сипатталған, виртуалды модельдеуде Gazebo-ны одан әрі пайдалану сипатталған. Қорытындыда осы жұмыстың нәтижелері бойынша тұжырым жасалды.

**Түйін сөздер:** көлік құралы, ұшқышсыз көлік, жүргізушісіз трактор, виртуалды модельдеу, автоматтандыру жүйесі, борттық компьютер

©С.Т. Ахметова\*, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова, 2025.

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан.

E-mail: sabdas65@mail.ru

## **ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ 3D МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА**

**С.Т. Ахметова** — доцент, к.ф.-м.н., Южно-казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, кафедра «Вычислительная техника и программное обеспечение», Шымкент, Казахстан, E-mail: sabdas65@mail.ru, ORCID: 0000-0001-5164-2028;

**С.У. Исмаилов** — доцент, к.т.н., Южно-казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, кафедра «Автоматизация, телекоммуникация и управления», Шымкент, Казахстан, E-mail: sicomaz@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9077-2463;

**А.А. Батырбеков** — магистр, Южно-казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, кафедра «Автоматизация, телекоммуникация и управления», Шымкент, Казахстан, E-mail: Aman\_batyr@mail.ru, ORCID: 0009-0009-9390-5709;

**А.С. Исмаилова** — магистр, Южно-казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, кафедра «Автоматизация, телекоммуникация и управления», Шымкент, Казахстан, E-mail: aleka\_91\_91@mail.ru, ORCID: 0009-0006-8015-9469.

**Аннотация.** В этой работе представлены материалы литературного обзора и аналитического анализа по беспилотным транспортным средствам. Раскрыты основные тенденции развития беспилотных транспортных средств различного назначения. Показаны достижения в области разработки беспилотных сельскохозяйственных машин, созданные крупными зарубежными компаниями. На основании данных обзора и аналитического анализа определен состав подсистем разрабатываемой системы автоматизации для беспилотного пропашного трактора. Определены взаимосвязи этих подсистем между собой. Описаны назначение и функции каждой подсистемы системы автоматизации беспилотного трактора. Произведен выбор основных средств автоматизации, модулей и блоков контроля и управления и показано



размещение их на тракторе. Беспилотных наземных транспортных средств в настоящее время идет от направления развития систем помощников водителю к полному переходу, к автономным роботизированным транспортным средствам. Которые способны сами определять траекторию и маршрут движения, самостоятельно определять, выбирать и регулировать скоростные параметры движения. В работе представлены и рассмотрены назначение, аспекты, преимущества виртуального моделирования при разработке и испытания различных беспилотных транспортных средств. Проведен сравнительный анализ существующих инструментов используемые в методах и процедурах виртуального моделирования для создание виртуальных 3D моделей беспилотных транспортных средств. На основании сравнительного анализа выбран программный инструмент Gazebo. Описаны преимущества использование программной среды Gazebo относительно другим программных инструментов. Описано дальнейшее использование Gazebo в виртуальном моделировании. Определены принципы и методы построения алгоритмов управления сельскохозяйственным беспилотным транспортным средством широкого назначения. В заключении сделаны выводы по результатам данной работы.

**Ключевые слова:** транспортное средство, беспилотное транспортное средство, беспилотный трактор, виртуальное моделирование, система автоматизации, бортовой компьютер

### ***Благодарность***

*Работа выполняется при поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP19680646 «Беспилотные транспортные средства различного назначения высокой степени автоматизации».*

**Введение.** Создания беспилотных наземных транспортных средств в настоящее время идет от направления развития систем помощников водителю (ADAS) к полному переходу, к автономным роботизированным транспортным средствам. Которые способны сами определять траекторию и маршрут движения, самостоятельно определять, выбирать и регулировать скоростные параметры движения, оценивать дорожную ситуацию, проводить оценку и диагностику состояние работы всех электромеханических узлов, элементов и блоков средств автоматизации и др. Одним из важных этапов разработки беспилотных наземных транспортных систем является имитационное и виртуальное моделирование работы как отдельных узлов, так всего транспортного средства. На стадии испытания виртуальных моделей на ранней стадии могут быть выявлены какие-либо конструктивные и алгоритмические ошибки и тем самым избежать ненужных затрат.

**Обзор литературы.** Создание беспилотных транспортных средств является одной из перспективных направлений в производстве автомобилестроении. Многие крупные автопроизводители уже разработали различные прототипы,

которые успешно прошли испытания и готовятся серийному производству. С развитием микроэлектроники и микропроцессорной техники появилось возможность разрабатывать и создавать специализированное сенсорное и оптическое оборудование, техническое зрение, автопилоты для беспилотных транспортных средств.

Настоящее время крупными зарубежными компаниями производятся вспомогательные устройства для водителей (помощники), которые обеспечивают безопасное вождение автомобиля на дорогах (Chikrin, 2021). Эти вспомогательные устройства могут быть успешно адаптированы в автономные транспортные средства.

Разработка системы автоматизации для беспилотных транспортных средств в основном ведется по двум направлениям (Evstigneev, 2015):

- комплексная автоматизация при котором достигается полная автономность управления движением транспортного средства;

- автоматизация отдельных режимов движения, при котором достигается частичное автономность управления движением транспортного средства.

Системы автоматизации разрабатываются не только для легковых, грузовых автомобилей и автобусов, но также для сельскохозяйственных транспортных средств, которым относятся универсальные тракторы и комбайны (Shilo I, 2018). Автономность агротехники (сельскохозяйственных машин) позволит повысить производительность и маржинальность сельскохозяйственных работ, поскольку, беспилотные трактора, комбайны и другие машины могут работать непрерывно без усталости в любую погоду и при любых условиях освещенности.

Согласно сообщения на сайте agro.ru, планируется на Петербургском тракторном заводе совместно с компанией Cognitive Pilot разработать и изготовить опытные образцы беспилотных тракторов (БТ) на базе серийно выпускаемого трактора «Кировцев» К-7М. Данный БТ с помощью автопилота, который разработан компанией Cognitive Pilot должен самостоятельно выполнять движение, но при этом присутствие водителя в кабине обязателен. Компания Case IH (США) разработала опытный образец автономного трактора, который на базе встроенной микропроцессорной и электроприводной систем может самостоятельно определять препятствия, учитывать рельеф местности при составлении маршрута движения. Оператор, дистанционно наблюдает и при необходимости корректирует траекторию движения и работу БТ. Демонстрацию работы и возможности концепта БТ компания представила в YouTube Case IH North America. Оборудование БТ показана на сайте CaseIH.com.

Компания Krone и фирма Lemken выпустило полноприводный автономный трактор, который с помощью встроенных датчиков и бортового компьютера вырабатывает управляющие команды для агрегатов, трансмиссии и орудия – например, изменение скорости, тягового усилия, регулировки положения орудия и др. Великобритании для точного высева эксплуатируется автономный

трактор FarmDroid FD20, который работает на аккумуляторах. Зарядка аккумуляторов осуществляется солнечной батареей, которые навесными механизмами установлены верхней части БТ.

Нами в этой работе для выполнения исследовательских работ выбран транспортное средство типа универсальный пропашной трактор «Belarus» минского тракторного завода, поскольку эти трактора имеют популярность среди механизаторов, и они широко эксплуатируются в Казахстане для выполнения самых различных сельскохозяйственных работ (Soroka,2020). К тому же трактора «Belarus» производятся также в Казахстане.

### **Основные положения**

Установка автопилота на БТ требует присутствие водителя в кабине, который при необходимости корректирует движение трактора. Чтобы трактор был полностью автономным (беспилотным) система автоматизации должна обеспечить следующие функции работы агрегатов БТ:

- определять параметры и состояние окружающей среды (температура, давление, влажность, освещенность, дождь, снег, туман, состояние и параметры почвы);
- трансмиссия самостоятельно должна переключать передачи, определять направления движения и регулировать скоростью движения;
- рулевая колонка должна обеспечить требуемый угол поворота (влево или вправо при прямом и заднем ходе);
- определять положение шасси относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве;
- регулировать положения орудия;
- планировать или выбирать траекторию (маршрут) движения на карте местности с учетом рельефа местности;
- определять координаты положения БТ на местности и точное время;
- реализовывать движение по выбранной траектории движения;
- реализовывать Агро задание, выданное (переданное) оператором (расположение поля обработки; вид работы; координаты места начала работы и т.д.);
- распознавать динамические и статические объекты препятствия (машины, столб, дерево, валун, биологическое существо и др.);
- определять расстояние до объекта препятствия;
- вырабатывать и принимать следующие решения: выбор скорости; выбор тягового усилия; выбор траектории объезда препятствия; выбор параметров движения на отдельных участках движения; положение орудия и др.

Для реализации перечисленных функций в разрабатываемой системе автоматизации должны быть следующие технические устройства (блоки):

- комплекс датчиков для измерения параметров окружающей среды;
- датчик и исполнительный механизм для измерения и регулирования скорости и направления движения;
- датчик и исполнительный механизм для измерения и регулирования тягового усилия;

- датчик и исполнительный механизм для определения угла и направления поворота;
- датчик и исполнительный механизм для измерения и регулирования положения орудия;
- датчик определения положения шасси относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве;
- устройства для определения координаты место положения БТ и точное время;
- комплекс датчиков, устройств и приборов для распознавания рельефа местности, объектов препятствия и определения расстояния до распознанных объектов;
- устройства для реализации по заданной траектории движения БТ;
- устройства для выработки и принятия решения;
- комплекс устройств для реализации взаимосвязи средствами автоматизации и с оператором;
- комплекс датчиков и исполнительных механизмов, установленных заводом изготовителем на серийно выпускаемых универсальных пропашных тракторов.

Из вышеописанных материалов следует, что разрабатываемая система автоматизации должна производить сбор данных, проводить анализ их и принимать определенные решения, а затем исполнять эти решения. Данные, которые система автоматизации обрабатывает можно разделить на следующие группы:

- данные параметров окружающей среды;
- данные рельефа местности, объектов препятствия и расстояния до них;
- данные координаты место положения и точное время;
- данные состояния агрегатов и параметров движения БТ.

Как видно, разрабатываемая система автоматизации представляет собой сложную систему состоящая из нескольких подсистем, которые должны реализовывать перечисленные выше функции. Очевидно, по составу перечисленных выше блоков и устройств, которые должны входить в систему автоматизации, вытекает, что система контроля и управления содержит следующие подсистемы автоматизации:

1. Состояние окружающей среды вокруг БТ оценивается с помощью комплексов датчиков, измерительных приборов и технического зрения под управлением одного или нескольких программируемых логических контроллеров (логические микроконтроллеры и микроконтроллеры обработки изображений). Этот комплекс датчиков, приборов и камер представляет собой измерительно-наблюдательную подсистему сбора данных о состоянии окружающей среды вокруг БТ. Поэтому, данную подсистему в этой работе назвали «Подсистема реконструкции окружающей среды».

2. Чтобы БТ перемещалась по заданной траектории (маршруту) на карте местности необходимо непрерывно координировать его движения, т.е. следует

через каждый  $\Delta t$  определять координаты место положения БТ. Выполнения данной задачи осуществляется подсистемой навигации.

3. Управление подсистемами системы автоматизации БТ осуществляется центральной подсистемой, которая принимает различные решения зависимости от содержания принимаемых потоков данных. И на основании принятых решений центральная подсистема вырабатывает соответствующие команды. Центральную подсистему автоматизации в этой работе назвали «Подсистема вычислительный контур».

4. Выполнения выработанных команд подсистемой вычислительный контур реализуется исполнительной подсистемой, которая представляет собой комплекс исполнительных механизмов и устройств (электрические, электромеханические, гидравлические и пневматические) управляемые внутренним первичным микроконтроллером.

5. Обмен данными между сельскохозяйственными машинами и оператором производится подсистемой V2X с помощью приемопередающих устройств управляемый внутренним первичным микроконтроллером (Nkogo, 2014).

6. Связь обмена данных между подсистемами и координацию работу их осуществляется телекоммуникационной подсистемой. Которая обеспечивает алгоритмический порядок и своевременный прием, и передачу потоков данных между подсистемами системы автоматизации.

Перечисленные подсистемы содержат свои внутренние первичные микроконтроллеры, запрограммированные специализированными программными модулями работающие по заданным алгоритмам относительно друг друга (Herrmann, 2018).

Таким образом, с учетом литературного обзора и анализа назначения, состава, конструкции и принципов работы беспилотных систем и беспилотных наземных транспортных средств была определена модульно-блочная архитектура БТ, рисунок 1.

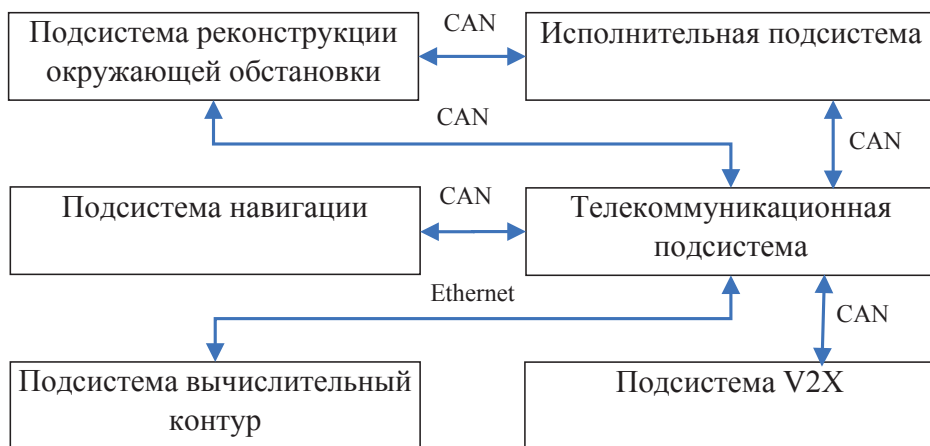


Рисунок 1 - Модульно-блочная архитектура беспилотного трактора

Аппаратно-программная реализация multifunctional бортовых систем по модульно-блочному принципу позволит этим подсистемам работать автономно собственными микропроцессорами, а также расширит гибкость построения разнообразных по назначению интеллектуальных систем автоматизации (Ortiz, 2011). Взаимодействие между подсистемами, устройствами и стандартными датчиками осуществляется через CAN шины и другие типы интерфейсов. Исходные данные, поступающие от датчиков, исполнительных механизмов, передаются на первичные микроконтроллеры через интерфейсы связи UART (Peters, 2013).

Подсистемы рассматриваемой архитектуры на рисунке 1 БТ предназначены для выполнения следующих функций, задач и работы:

1. Подсистема реконструкции окружающей среды с помощью блока сенсоров, оптических, радиолокационных и измерительных приборов проводить сбор данных о состоянии агрегатов транспортного средства, его орудия, также выполняет процедуру распознавания свойств рельефа местности, статических и динамических объектов препятствий (электрический столб, дерево, валун, камень, мосты, дорожная каля, уклоны, впадины, живые объекты, определенная машинная техника) и др. Получаемые непрерывно данные о состоянии окружающей среды подсистема реконструкции окружающей среды передает подсистемам вычислительный контур и исполнительному блоку.

2. Подсистема навигации непрерывно определяет координаты местоположения БТ на карте местности и точное время. На базе полученных данных производить ориентацию шасси БТ в трехмерном пространстве. Контролирует и регулирует курсом движения БТ (Pattseren, 2018).

3. Подсистема V2X реализует прием и передачу данных между несколькими БТ работающие на одном сельскохозяйственном поле в условиях отсутствия покрытия сотовой сети. Обеспечивает обмен данными между оператором и БТ. Также дает необходимую информацию для диагностики и навигации БТ.

4. Подсистема вычислительный контур производит вторичную обработку данных, получаемые от всех подсистем. По результатам анализа данных вырабатывает определенные решения и команды, также координирует работой всех подсистем.

5. Исполнительная подсистема реализует различные команды, принимаемые от подсистемы вычислительного контура, подсистемы реконструкции окружающей среды и подсистемы навигации. В процессе рыскания исполнительная подсистема контролирует и регулирует углы курса – крена и тангажа, контролирует и регулирует скоростью движения, контролирует и регулирует тяговым усилием, контролирует и регулирует положением подвески орудия, контролирует и регулирует тормозной системой и др.

6. Телекоммуникационная подсистема обеспечивает связь всех подсистем между собой (обмен данными между всеми подсистемами). Также обеспечивает обмен данными между системой автоматизации и оператором.



Подсистема реконструкции окружающей среды производит первичную обработку данных, получаемых от датчиков и измерительных приборов, затем отправляет обработанные данные подсистеме вычислительный контур и исполнительной подсистеме. Подсистема навигации также производит первичную обработку данных и эти данные отправляет подсистеме вычислительный контур и исполнительной подсистеме. Подсистема вычислительный контур производит вторичную обработку полученных данных и вырабатывает соответствующие решения, а затем команды, которые передаются исполнительной подсистеме. Исполнительная подсистема реализует все команды подсистемы вычислительного контура. Подсистема V2X производит обмен данными с другими БТ и полученные данные передает подсистеме вычислительный контур. Подсистема вычислительный контур производит обоюдный обмен данными со всеми подсистемами (Efimov, 2021).

Подсистема реконструкции окружающей среды оснащена различными датчиками и приборами, которые можно разделить на следующие группы:

1. Технические датчики (температура, давление, угол поворота, количество оборотов и др.).

2. Инерциальные датчики (акселерометр, гироскоп, магнитометр) предназначенные для измерения вибрации, ускорения, скорости, положения шасси относительно горизонтальной плоскости в трехмерном пространстве и направление курса движения (Klimov, 2018).

3. Оптико-радарные приборы (сонар, радар, лидар) предназначены для измерения ближнего и дальнего расстояния до объектов, а также для построения карты (образа рельефа местности).

4. Техническое зрение (цифровая камера одна или несколько) предназначена для снимка местности и на базе полученных изображений проводить процедуру распознавания рельефа местности, объектов препятствий и др.

Подсистема навигации оснащена GPS/ГЛОНАСС – навигатором, датчиками позиционирования и электронными картами. Данное оборудование привязано блоком подруливания, который обеспечивает движение БТ по заданной траектории (Ahmed, 2023).

Подсистема V2X оснащена приемопередающим устройством определенной мощности, которая обеспечивает связь с другими сельскохозяйственными машинами и оператором.

Подсистема вычислительный контур представляет собой бортовой компьютер специализированным программным обеспечением.

Исполнительная подсистема содержит различные электромеханические, гидравлические и пневматические исполнительные механизмы.

В подсистемах системы автоматизации установлены различные микроконтроллеры семейства платформы STM32 компании STMicroelectronics построенные на базе ARM процессоров.

Бортовой компьютер подсистемы вычислительный контур использует микроконтроллер семейства SMT32F407.

Пример размещения перечисленных сенсоров и приборов на БТ показано на рисунке 2.



Рисунок 2 - Размещение блоков управления и приборов на БТ

Подсистемы системы автоматизации БТ тесно взаимосвязаны между собой и реализуют следующий укрупненный алгоритм работы всех агрегатов универсального пропашного трактора:

Оператор с помощью дистанционного пульта управления запускает двигатель БТ. Пока производится прогрев двигателя система автоматизации устанавливает все подсистемы в исходное положение. Далее оператор передает системе автоматизации Агро задание и маршрут движения. Подсистемы системы автоматизации распределяют между собой все необходимые функции задания и маршрута движения и после этого БТ с места парковки начинает движение до пункта назначения. После прибытия на пункт назначения БТ начинает выполнять Агро задание. Оператор за монитором наблюдает за ходом движения и выполнения Агро задания БТ, а также за показанием всех приборов, и при необходимости вмешивается в процесс работы БТ. Таким образом, система автоматизации БТ должна самостоятельно полностью выполнить Агро задание и вернуться на место парковки (Munir, 2018).

Выше было отмечено, все подсистемы оснащены первичными микроконтроллерами и бортовым компьютером, которые запрограммированы специализированными программами и каждый из них реализуют определенные алгоритмы работы системы автоматизации. Комплекс этих программ и микропроцессорных устройств представляют собой информационную систему БТ. Данную информационную систему системы автоматизации, агрегаты и орудия БТ на стадии разработки можно в виде цифрового двойника испытать на виртуальном полигоне, т.е. создать виртуальную автоматизированную 3D модель БТ, которую необходимо испытать на виртуальном полигоне с целью оценки работы всех подсистем системы автоматизации и агрегатов БТ.

### **Материалы и методы**

Выше уже было отмечено, чтобы снизить затраты при разработке и сборки беспилотных транспортных средств, т.е. до создания промышленного прототипа, ученые и инженеры вначале создают цифровые двойники и виртуальные полигоны. Которые позволяют выявить еще на стадии разработки промышленного прототипа его конструктивные, технические параметры. Например, необходимо провести исследования с помощью виртуального трактора и виртуального полигона для определения тяговых усилий требуемые для выполнения пропашки почвы. Как известно состав почвы и ее сопротивляемость к вспахиванию сильно отличаются в различных регионах Казахстана.

Существует множество специализированных программных обеспечений, на базе которых ученые и инженеры создают цифровые двойники, виртуальные полигоны и проводят различные испытания используя методы виртуального и имитационного моделирования. Чтобы достичь требуемой цели исследователи должны из этого множества выбрать одну или комплекс программных обеспечений, с помощью которых должны быть успешно решены поставленные перед ними задачи.

Таким образом, чтобы в этой работе использовать методы виртуального моделирования необходимо произвести выбор соответствующего программного обеспечения, который удовлетворял бы всем необходимым требованиям решаемых задач.

Какими критериями должен отвечать выбираемый нами инструмент виртуального моделирования, перечислим их:

- возможность создания 3D модели транспортного средства и его орудий;
- 3D модель должна обладать достаточной 3D-симуляцией, эмуляцией физики и генерацией решений по кинематике движения;
- виртуальные средства автоматизации достаточно точно должны отражать измеряемые, контролируемые и управляемые параметры симуляции движения 3D модели;
- на виртуальном полигоне реалистично должны отражаться рельеф местности, объекты препятствия;
- выбранный инструмент должен работать как в операционной системе Windows, так в операционной системе Linux;
- язык программирования C++, поскольку данный язык высокого уровня имеет большую библиотеку контейнеров и алгоритмов ввода-вывода и др.

Среди множества рассмотренных нами инструментов для реализации виртуального моделирования согласно по перечисленным выше критериям выбрано программное обеспечение Gazebo (Peters, 2013).

Gazebo – это мощная среда 3D-моделирование беспилотных транспортных средств, автономных роботов. Имеет большую библиотеку 3D моделей, виртуальных средств автоматизации (датчики, приборы, исполнительные устройства), хорошо подходит для тестирования движения обхода препятствия

беспилотным транспортным средством, применения компьютерного зрения. Gazebo можно использовать для моделирования нескольких транспортных средств (Soroka, 2020).

Помимо Gazebo в проекте будет использоваться программное обеспечение MATLAB v. 2023b & Simulink для исследования работы разрабатываемой системы автоматизации беспилотного пропашного трактора.

### **Результаты и обсуждения**

Начата работа по разработке виртуальной 3D модели пропашного трактора. На ноутбуке установлены следующие программные обеспечения:

- Gazebo v. 11,1 с открытым кодом доступа;
- лицензионная программа MATLAB v. 2023b & Simulink;
- набор инструментов для моделирования робототехнических систем, виртуальных средств автоматизации и др.

На базе Gazebo на начальном этапе будет построена упрощенная 3D модель универсального пропашного трактора, по мере освоения инженерами программное обеспечение виртуальная модель будет усложняться и приобретать более реалистичный вид беспилотного трактора.

MATLAB точнее Simulink будет использоваться для исследования приводных механизмов, работы системы автоматизации, ПИД регулятора и др.

При дальнейшей детализации подсистем системы управления БТ, ведется работа по построению алгоритмов работы отдельных элементов подсистем, на основе теории конечных автоматов, подобные задачи решаются в работах (Ahmed, 2023).

Для описания наших алгоритмов мы будем использовать автомат Мили, так как выход алфавит нашего алгоритма зависит как от входного воздействия (входного алфавита), так и от состояния, в котором находится автомат.

На уровне подсистемы центрального вычислителя реализуется функция принятия решений при движении БТ, когда БТ начинает движение по траектории, которая определена заданием, например, движение от точки отправления до точки назначения по дорогам общего пользования с соблюдением правил дорожного движения (дорожных знаков, состояния светофоров, дорожной разметки и поведения других участников дорожного движения), а также с учетом препятствий, которые могут появиться на пути следования БТ.

Функционал, реализуемый на уровне подсистемы центрального вычислителя, является высокоуровневым по отношению к функционалу подсистемы реконструкции окружающей обстановки. Результаты работы алгоритмов на уровне подсистемы реконструкции окружающей обстановки являются входными данными для алгоритмов управления, реализуемых на уровне подсистемы центрального вычислителя. Структура формирования сигналов на входе и выходе автомата представлена на рисунке 3. Для представленных алгоритмов на рисунке 3 будут составлены таблица состояния сигналов на входах и выходах.

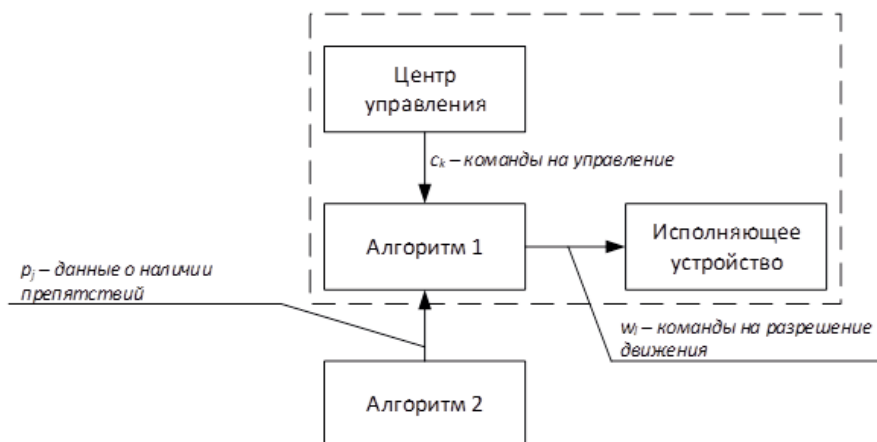


Рисунок 3 – Структура формирования сигналов на входе и выходе автомата

Следует отметить, БТ относительно беспилотного легкового и грузового автомобиля более сложная техника и беспилотное управление движением и ее работой гораздо сложнее, особенно в сельской местности и сельскохозяйственных угодьях. Алгоритмы контроля и управления движением БТ, например по асфальтированной, грунтовой дороге и по местности поля будут существенно по своей сложности отличаться от технологии управления движением дорожных БТС. Поэтому имитационное испытание на виртуальном полигоне виртуальной модели БТ (цифрового двойника) имеет важную роль при проектировании и создания прототипа БТ. Где на ранней стадии можно определить все необходимые параметры эксплуатации и меры безопасности.

Такие средства автоматизации, как датчики, инерциальные, оптические измерительные приборы, индикаторы, исполнительные механизмы, схемы защиты, блокировки и др. на базе их цифровых моделей можно заранее определять все необходимые технические, эксплуатационные характеристики проектируемого и разрабатываемого прототипа БТ.

В процессе создания цифрового двойника и его испытания на виртуальном полигоне будут не только создаваться алгоритмы управления, но графические, математические, логические модели, а также программные коды, которые можно непосредственно использовать на реальных разрабатываемых и действующих прототипах БТ.

Таким образом, на следующем этапе данной работы нами запланирован сценарий проведения исследований виртуальной модели БТ на колебание при движении по грунтовой дороге при различных скоростях с изменяющей рельефом местности. Где будут исследованы динамика поведения кузова и орудия БТ.

### Заключение

Произведен обзор существующих беспилотных транспортных средств сельскохозяйственного назначения. Проведен сравнительный анализ

беспилотных транспортных средств различных производителей используемые для сельскохозяйственных работ.

На основании полученных данных обзора определена модульно-блочная архитектура беспилотного трактора.

Принято решение на базе методов виртуального моделирования создать 3D модель беспилотного пропашного трактора с установленными на нем виртуальных средств автоматизации, стерео-зрения, оптических и радарных приборов.

Проведен обзор и сравнительный анализ программных инструментов, которые используются в технологиях виртуального моделирования.

Учитывая поставленные перед нами задачи в этой исследовательской работе сделан вывод об использовании Gazebo в качестве инструмента для создания цифрового двойника (виртуального беспилотного пропашного трактора со всеми виртуальными средствами автоматизации).

Определены методы построения алгоритмов управления БТ. Также определены методы математического моделирования для исследования построенных алгоритмов управления БТ.

#### Литература

Ahmed, Q. (2023) System Architecture for Autonomous Vehicles. Encyclopedia. Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/8473>. — P. 33.

Battseren Batbayar & Tudevdaeva Uranchimeg & Hardt Wolfram. (2018). A Finite State Machine Based Adaptive Mission Control of Mini Aerial Vehicle. — Embedded Selforganising Systems. — 5. — P. 6-10.

Herrmann A., Brenner W. Stadler R. (2018) Value hains. Autonomous Driving. Emerald Publishing Limited, — P. 327-339.

Munir, Farzeen & Azam, Shoaib & Hussain, Muhammad Ishfaq & Sheri, Ahmed & Jeon, Moongu. (2018) Autonomous Vehicle: The Architecture Aspect of Self Driving Car. SSIP 2018: Proceedings of the 2018 International Conference on Sensors, Signal and Image Processing. — P. 1-5.

Nkoro A.B., Vershinin Y.A. (2014) Current and future trends in applications of Intelligent Transport Systems on cars and infrastructure. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Qingdao. — P. 514-519.

Ortiz A., Bonnin-Pascual F., Garcia-Fidalgo E. and Beltran J. P. (2011) A Control Software Architecture for Autonomous Unmanned Vehicles inspired in Generic Components. 19th Mediterranean Conference on Control and Automation Aquis Corfu Holiday Palace, Corfu, — Greece June 20-23. — P. 1217-1222.

Peters S. and Hsu J. (2013) Comparison of Rigid Body Dynamic Simulators for Robotic Simulation in Gazebo. — Open-Source Robotics Foundation. — P.56.

Peters S. and Hsu J. (2014) Comparison of Rigid Body Dynamic Simulators for Robotic Simulation in Gazebo. ROS Developer Conference. — P. 23.

Shyhyng Jack Shue, John J. Shillings. (2024) VEHICLE MANAGEMENT SYSTEM USING FINITE STATE MACHINES. Patent No.: US 8,948,936 B2. — P. 24. (in English)

Евстигнеев И.А. Интеллектуальные транспортные системы на автомобильных дорогах федерального значения России. — М.: Перо, 2015. — 164 с.

Ефимов А.Д., Биюшкин Н.А. Разработка методики оценки вероятности возникновения аварийно-опасных ситуаций на улично-дорожной сети. Современная наука. —2021. — №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-metodiki-otsenki-veroyatnosti-vozniknoveniya-avariyno-opasnyh-situatsiy-na-ulichno-dorozhnoy-seti> (дата обращения: 12.10.2023).



Климов Александр Алексеевич, Покусаев Олег Николаевич, Куприяновский Василий Павлович, Намиот Дмитрий Евгеньевич Архитектура автономных (беспилотных) автомобилей и инфраструктура для их эксплуатации. Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2018. — №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley-i-infrastruktura-dlya-ih-ekspluatatsii> (дата обращения: 15.10.2023). (in Russian)

Сорока Я.А. Беларусь 952.7 Руководство по эксплуатации. Минск: ОАО «Минский тракторный завод». — 2020. — 242 с.

Чикрин Д.Е., Егорчев А.А. Сравнение методологий проектирования сверху–вниз и снизу–вверх при разработке систем ADAS. Известия ЮФУ. Технические науки. — 2021. — №2. — С. 189-199. — DOI: 10.18522/2311-3103-2021-2-189-199.

Шило И.Н., Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н., Есхожин К.Д. Умная сельскохозяйственная техника: учебное пособие, - Астана, Издательство КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2018. — 174 с. (in Russian)

### References

Ahmed Q. (2023) System Architecture for Autonomous Vehicles. Encyclopedia. Available online: <https://encyclopedia.pub/entry/8473>. — P. 33. (in English)

Battseren, Batbayar & Tudevdayva, Uranchimeg & Hardt, Wolfram. (2018). A Finite State Machine Based Adaptive Mission Control of Mini Aerial Vehicle. Embedded Selforganising Systems. — 5. — P. 6-10. (in English)

Chikrin D.E., Egorchev A.A. (2021) Svravnenie metodologij proektirovaniya sverkhuvniz i snizuvverkh pri razrabotke sistem ADAS [Comparison of Top-Down and Bottom-Up Design Methodologies in ADAS Systems Development]. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. — Moscow. — №2. — P. 189-199. (in Russian)

Efimov A.D., Biyushkin N.A. (2021). Razrabotka metodiki ocenki veroyatnosti vozniknoveniya avariynopasnykh situacij na ulichno-dorozhnoy seti. [Development of a methodology for assessing the likelihood of emergency situations occurring on the road network]. Sovremennaya nauka. — №5. — P. 29-33. (in Russian)

Evstigneev I.A. (2015) Intelktual'nye transportnye sistemy na avtomobil'nykh dorogakh federal'nogo znacheniya Rossii. [Intelligent transport systems on federal highways of Russia]. — M.: Pero. — 164p. (in Russian)

Herrmann A., Brenner W., Stadler R. (2018) Value hains. Autonomous Driving. Emerald Publishing Limited, — P. 327-339. (in English)

Klimov A.A., Pokusaev O.N., Kupriyanovskij V.P., Namiot D.E. (2018) Arkhitektura avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley i infrastruktura dlya ikh ehkspluatatsii. [Architecture of autonomous (driverless) cars and infrastructure for their operation]. Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. — №3. — P. 727-736. (in Russian)

Munir, Farzeen & Azam, Shoaib & Hussain, Muhammad Ishfaq & Sheri, Ahmed & Jeon, Moongu. (2018) Autonomous Vehicle: The Architecture Aspect of Self Driving Car. SSIP 2018: Proceedings of the 2018 International Conference on Sensors, Signal and Image Processing. — P. 1-5. (in English)

Nkoro A. B., Vershinin Y. A. (2014) Current and future trends in applications of Intelligent Transport Systems on cars and infrastructure. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Qingdao. — P. 514-519. (in English)

Ortiz A., Bonnin-Pascual F., Garcia-Fidalgo E. and Beltran J. P. (2011) A Control Software Architecture for Autonomous Unmanned Vehicles inspired in Generic Components. 19th Mediterranean Conference on Control and Automation Aquis Corfu Holiday Palace, Corfu. — Greece June 20-23. — P. 1217-1222. (in English)

Peters S. and Hsu J. (2013) Comparison of Rigid Body Dynamic Simulators for Robotic Simulation in Gazebo. — Open-Source Robotics Foundation. — 56 p. (in English)

Peters S. and Hsu J. (2014) Comparison of Rigid Body Dynamic Simulators for Robotic Simulation in Gazebo. ROS Developer Conference. — 23p. (in English)

Shilo I.N., Tolochko N.K., Nukeshev S.O. (2018) Romanyuk N.N., Eskhozhin K.D. Umnaya sel'skokhozyajstvennaya tekhnika: uchebnoe posobie, [Smart Agricultural Machinery: A Tutorial]. Astana, Izdatel'stvo KaZATU im. S. Sejfullina. — 174 p. (in Russian)

Shyhying Jack Shue, John J. Shillings. (2024) VEHICLE MANAGEMENT SYSTEM USING FINITE STATE MACHINES. Patent No.: US 8,948,936 B2. — 24 p. (in English)

Soroka YA.A. (2020) Belarus 952.7 Rukovodstvo po ehkspluatcii. Minsk: OAO «Minskij traktornyj zavod» [Belarus 952.7 Operation Manual. Minsk: Minsk Tractor Plant OJSC]. — 242 p. (in Russian)

**Publication Ethics and Publication Malpractice in  
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 20.06.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

20,0 п.л. Заказ 2.