

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

2022 (3) 2
Сәуір-маусым

ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)

БАС РЕДАКТОР:

Хикметов Аскар Кусупбекович — басқарма төрағасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ректоры, физика-математика ғылымдарының кандидаты (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының проректоры (Қазақстан)

ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ, Ғылыми-зерттеу жұмыс департаментінің директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Разак Абдул — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің профессоры (Қазақстан)

Лучио Томмазо де Паолис — Саленто университетінің (Италия) инновациялар және технологиялық инженерия департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры

Лиз Бэкон — профессор, Абертей университеті вице-канцлердің орынбасары (Ұлыбритания)

Микеле Пагано — PhD, Пиза университетінің профессоры (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбаевич — физика-математика ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Жабандық серіктестік және қосымша білім беру жөніндегі проректоры (Қазақстан)

Дузбаев Нуржан Токсужаевич — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректоры (Қазақстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Сейлова Нүргүл Абдуллаевна — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік» факультетінің деканы (Қазақстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Цифрлық трансформациялар» факультетінің деканы (Қазақстан)

Ыдырыс Айжан Жұмабайқызы — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)

Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Экономика және бизнес» кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)

Аманжолова Сауле Токсановна — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Киберқауіпсіздік» кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)

Ниязгулова Айгүл Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Медиакоммуникациялар және Қазақстан тарихы» кафедрасының менгерушісі (Қазақстан)

Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» кафедрасының профессоры (Қазақстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)

Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)

Тадеуш Валлас — PhD, Адам Мицкевич атындағы университеттің проректоры (Польша)

Мамырбаев Өркен Жұмажанұлы — Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялары институты директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның «УКРПНЕТ» жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және сәулет университетінің «Жобаларды басқару» кафедрасының менгерушісі (Украина)

Белолицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Астана IT университетінің деректер жөніндегі есептеу және ғылым кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

Ералы Диана Русланқызы — «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Меншіктенуші: «Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ (Алматы қ.)

Қазақстан Республикасы Ақпарат және әлеуметтік даму министрлігінің Ақпарат комитетінде – 20.02.2020 жылы берілген.

№ KZ82VPY00020475 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: ақпараттық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологияларға арналған.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тиражы: 100 дана

Редакцияның мекенжайы: 050040, Алматы қ-сы, Манас к-сі, 34/1, 709-кабинет, тел: +7 (727) 244-51-09).

E-mail: ijiet@iitu.edu.kz

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz>

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2022

© Авторлар ұжымы, 2022

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Хикметов Аскар Кусулбекович — кандидат физико-математических наук, председатель правления - ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Колесникова Катерина Викторовна — доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, директор департамента по научно-исследовательской деятельности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Разак Абдул — PhD, профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Лучно Томмазо де Паолис — директор отдела исследований и разработок лаборатории AVR департамента инноваций и технологического инжиниринга Университета Саленто (Италия)

Лиз Бэкон — профессор, заместитель вице-канцлера Университета Абертей (Великобритания)

Микеле Пагано — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

Отелбаев Мухтарбай Отелбайулы — доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Рысбайулы Болатбек — доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, ассоциированный профессор, проректор по глобальному партнерству и дополнительному образованию Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Дузбаев Нуржан Токкужаевич — PhD, ассоциированный профессор, проректор по цифровизации и инновациям Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Синчев Бахтгерей Куспанович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна — кандидат технических наук, декан факультета компьютерных технологий и кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мухамедиева Ардак Габитовна — кандидат экономических наук, декан факультета цифровых трансформаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ыдырыс Айжан Жумабаевна — PhD, ассистент профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Шилдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, заведующий кафедрой экономики и бизнеса Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Аманжолова Сауле Токсановна — кандидат технических наук, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, заведующая кафедрой медиакоммуникаций и истории Казахстана Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Айтмагамбетов Алтай Зуфарович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алмисреб Али Абд — PhD, ассоциированный профессор кафедры кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Мохамед Ахмед Хамада — PhD, ассоциированный профессор кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Янг Им Чу — PhD, профессор университета Гачон (Южная Корея)

Тадеш Валлас — PhD, проректор университета имен Адама Мицкевича (Польша)

Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, заместитель директора по науке РГП Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки МНВО РК (Казахстан)

Бушуев Сергей Дмитриевич — доктор технических наук, профессор, директор Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ», заведующий кафедрой управления проектами Киевского национального университета строительства и архитектуры (Украина)

Белошицкая Светлана Васильевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вычислений и науки о данных Astana IT University (Казахстан)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

Ералы Диана Русланқызы — АО «Международный университет информационных технологий» (Казахстан).

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ82VPY00020475, выданное от 20.02.2020 г.

Тематическая направленность: информационные технологии, информационная безопасность и коммуникационные технологии, цифровые технологии в развитии социо-экономических систем.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

Адрес редакции: 050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Сайт журнала: <https://journal.iitu.edu.kz>

© АО Международный университет информационных технологий, 2022

© Коллектив авторов, 2022

EDITOR-IN-CHIEF:

Khikmetov Askar Kusupbekovich — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chairman of the Board, Rector of International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY CHIEF DIRECTOR:

Kolesnikova Katerina Viktorovna — Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector of Information Systems Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

SCIENTIFIC SECRETARY:

Ipalakova Madina Tulegenovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Research Department, International University of Information Technologies (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD:

Razaq Abdul — PhD, Professor of International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso de Paolis — Director of Research and Development, AVR Laboratory, Department of Innovation and Process Engineering, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Director, and Deputy Vice-Chancellor of the University of Abertay. (Great Britain)

Michele Pagano — Ph.D., Professor, University of Pisa (Italy)

Otelbaev Mukhtarbay Otelbayuly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling of International Information Technology University (Kazakhstan)

Rysbayuly Bolatbek — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Daineko Yevgeniya Alexandrovna — PhD, Associate Professor, Vice-Rector for Global Partnership and Continuing Education, International Information Technology University (Kazakhstan)

Duzbaev Nurzhan Tokkuzhaevich — Candidate of Technical Sciences, Vice-Rector for Digitalization and Innovations, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sinchev Bakhtgerey Kuspanuly — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Seilova Nurgul Abdullaevna — Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Computer Technologies and Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mukhamedieva Ardak Gabitovna — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Digital Transformations, International Information Technology University (Kazakhstan)

Idyrys Aizhan Zhumabaevna — PhD, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Shildibekov Yerlan Zharzhanuly — PhD, Head of the Department of Economics and Business, International Information Technology University (Kazakhstan)

Amanzholova Saule Toksanovna — Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Cyber Security, International Information Technology University (Kazakhstan)

Niyazgulova Aigul Askarbekovna — Candidate of Philology, Head of the Department of Media Communications and History of Kazakhstan, International Information Technology University (Kazakhstan)

Aitmagambetov Altai Zufarovich — Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Radioengineering, Electronics and Telecommunication, International Information Technology University (Kazakhstan)

Almisreb Ali Abd — PhD, Associate Professor, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, Associate Professor, Department of Information systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Young Im Choo — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, University of Dr. Litt Adam Miskevich in Poznan (Poland)

Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich — PhD in Information Systems, Deputy Director for Science, Institute of Information and Computing Technologies CS MSHE RK (Kazakhstan)

Bushuyev Sergey Dmitriyevich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Удoктoр тeхнических наук, профессор, директор Ukrainian Association of Project Management UKRNET, Head of Project Management Department, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Beloshitskaya Svetlana Vasilyevna — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

EXECUTIVE EDITOR

Eraly Diana Ruslankyzy — International Information Technology University (Kazakhstan)

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee No. KZ82VPY00020475, issued on 20.02.2020.

Thematic focus: information technology, digital technologies in the development of socio-economic systems, information security and communication technologies

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

Editorial address: 050040. Manas st. 34/1, Almaty. +7 (727) 244-51-09). E-mail: ijict@iitu.edu.kz

Journal website: <https://journal.iitu.edu.kz>

© International Information Technology University JSC, 2022

© Group of authors, 2022

МАЗМҰНЫ

БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАНЫ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ БІЛІМ ИНЖЕНЕРИЯСЫ

Жақсылық Г.Б., Пашенко Г.Н.

МЕДИЦИНАЛЫҚ МЕКЕМЕҢІ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ
ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....8

Тукенова Г.С.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ИНДУСТРИЯСЫНДА БҰЗЫЛУДЫ БОЛЖАУ ҮШІН
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ПАЙДАЛАНУ.....19

Буравов А.А., Дузбаев Н.Т.

ПРАКТИКАЛЫҚ ТАПСЫРМАЛАРДЫ АВТОМАТТЫ ТЕКСЕРУ ЖӘНЕ
ОНЛАЙН ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ.....26

АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ЖЕЛІЛЕР ЖӘНЕ КИБЕРҚАУІПСІЗДІК

Жұматай Н.Е.

STARLINK ГЕОСТАЦИОНАРЛЫ ЕМЕС ЖЕРІК ЖЕЛІЛЕРІНІҢ ҚАЗСАТ-2
ГЕОСТАЦИОНАРЛЫ СПУТНИКТИК ЖЕЛІСІНЕ ӘСЕРІН ТАЛДАУ.....37

Абдуллаева А.С., Әйтiм Ә.Қ., Тян А.В.

4G ЖЕЛІСІН 5G-ГЕ КӨШІРУ. 5G ЭКОЖҮЙЕСІНІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ
ӨЛЕУЕТІ.....47

Намиялы А.Е., Валиев Б.Б., Сагымбекова А.О., Әділ А.Ж.

КИБЕРҚАУІПСІЗДІКТІ ЗЕРТТЕУ ҮШІН СЕНТИМЕНТАЛДЫ ТАЛДАУДЫ
ҚОЛДАНУ.....59

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕР

Абдуллаева А.С., Тян А.В., Айтим А.К.

ЛОГИСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ҚАЖЕТТІЛІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТИІМДІЛІКТІ
АРТТЫРУ МАҚСАТТАРЫН БЕЛГІЛЕУ.....67

Әйтiм Ә.Қ.

СЕМАНТИКАЛЫҚ ІЗДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖЕТІЛДІРУ ҮШІН ТАБИҒИ
ТІЛДЕРДІ ӨҢДЕУ МОДЕЛДЕРІ.....82

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Қадырбаева Ж.М., Абилкаир Д.С., Масалимов Б.С.

ҮШ НҮКТЕЛІ ШАРТЫ БАР ЕЛЕУЛІ ТҮРДЕ ЖҮКТЕЛГЕН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ
ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІНІҢ САНДЫҚ ШЕШІМІ ТУРАЛЫ.....92

Сулейменова А.Р., Саябаева А.Ж., Молдагулова А.Н.

ҚАРЖЫ САЛАСЫНДАҒЫ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ҚАРЖЫ
САЛАСЫНДАҒЫ ҚАРЖЫЛЫҚ БЫҚТИМАЛДЫҚ ҮЛГІЛЕРІН
ПАЙДАЛАНҒАН ЗЕРТТЕУ.....103

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ

Жаксылык Г.Б., Пашенко Г.Н. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ.....	8
Тукенова Г.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОТТОКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ.....	19
Буравов А.А., Дузбаев Н.Т. ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ В МООС И ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИИ.....	26

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

Жұматай Н.Е. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВЫХ СЕТЕЙ STARLINK НА ГЕОСТАЦИОНАРНУЮ СПУТНИКОВУЮ СЕТЬ KAZSAT-2.....	37
Абдуллаева А.С., Айтим А.К., Тяп А.В. ПЕРЕХОД СЕТИ 4G НА 5G. ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКОСИСТЕМЫ 5G.....	47
Намиялы А.Е., Валиев Б.Б., Сагымбекова А.О., Әділ А.Ж. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ.....	59

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Абдуллаева А.С., Тяп А.В., Айтим А.К. АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	67
Айтим А.К. МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКА.....	82

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Кадирбаева Ж.М., Абилкаир Д.С., Масалимов Б.С. О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ СИСТЕМ СУЩЕСТВЕННО НАГРУЖЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ТРЕХТОЧЕЧНЫМ УСЛОВИЕМ.....	92
Сулейменова А.Р., Саябаева А.Ж., Молдагулова А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ ДЕФолТА В ФИНАНСОВОЙ ОТРАСЛИ.....	103

CONTENTS

SOFTWARE DEVELOPMENT AND KNOWLEDGE ENGINEERING

Zhaksylyk G.B., Pachshenko G.N. DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INFORMATION SYSTEM FOR A MEDICAL INSTITUTION.....	8
Tukenova G.S. USING MACHINE LEARNING FOR CHURN PREDICTION IN THE TELECOM INDUSTRY.....	19
Buravov A.A., Duzbayev N.T. APPROACHES TO AUTOMATIC CHECKING OF PRACTICAL ASSIGNMENTS IN MOOCS AND ONLINE LEARNING.....	26

INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS AND CYBERSECURITY

Zhumatay N.E. ANALYSIS OF THE IMPACT OF NON-GEOSTATIONARY SATELLITE NETWORKS STARLINK ON THE GEOSTATIONARY SATELLITE NETWORK KAZSAT-2.....	37
Abdullayeva A.S., Aitim A.K., Tyan A.V. TRANSITION FROM 4G LTE TO 5G. INNOVATIVE POTENTIAL OF THE 5G ECOSYSTEM.....	47
Namiyaly A.E., Valiyev B.B., Sagymbekova A.O., Adil A.Zh. UTILIZING SENTIMENT ANALYSIS FOR CYBER SECURITY LEARNING.....	59

SMART SYSTEMS

Абдуллаева А.С., Тянь А.В., Айтим А.К. ANALYSIS OF THE NECESSITY OF A LOGISTICS SYSTEM AND SETTING GOALS TO INCREASE EFFICIENCY.....	67
Aitim A.K. MODELS OF NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR IMPROVING SEMANTIC SEARCH RESULTS.....	82

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

Kadirbayeva Zh.M., Abilkair D.S., Massalimov B.S. ON THE NUMERICAL SOLUTION OF SYSTEMS OF ESSENTIALLY LOADED DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH A THREE-POINT CONDITION.....	92
Suleimenova A.R., Sayabayeva A.Zh., Moldagulova A.N. RESEARCH ON RISK ANALYSIS METHODS USING MODELS OF DEFAULT PROBABILITY IN THE FINANCIAL INDUSTRY.....	103

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING

INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
ISSN 2708–2032 (print)
ISSN 2708–2040 (online)
Vol. 3. Is. 2. Number 10 (2022). Pp. 92–102
Journal homepage: <https://journal.iitu.edu.kz>
<https://doi.org/10.54309/IJICT.2022.10.2.009>

УДК 517.927.6; 519.622

**ON THE NUMERICAL SOLUTION OF SYSTEMS OF ESSENTIALLY
LOADED DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH A THREE-POINT
CONDITION**

Zh.M. Kadirbayeva, D.S. Abilkair, B.S. Massalimov*

Zhazira M. Kadirbayeva — Cand.Ph.-M.S, Associate Professor of the «Mathematical and computer modeling» Department, International Information Technology University

ORCID: 0000-0001-8861-4100. E-mail: zhkadirbayeva@gmail.com;

Abilkair Din-Mukhammed Serzhanuly — Master's student, «Mathematical and computer modeling» Department, International Information Technology University;

Massalimov S. Bekzhan — Master's student, «Mathematical and computer modeling» Department, International Information Technology University.

© Zh.M. Kadirbayeva, D.S. Abilkair, B.S. Massalimov, 2022

Abstract. A linear boundary value problem for systems of essentially loaded ordinary differential equations with a three-point condition is considered. The considering problem is reduced to a boundary value problem for loaded ordinary differential equations with a three-point condition. Based on D.S. Dzhumabaev's parameterization method, a numerical method for solving a boundary value problem for loaded ordinary differential equations with a three-point condition is developed and an algorithm for its implementation is proposed. By partitioning the interval and introducing additional parameters, the boundary value problem for loaded ordinary differential equations is reduced to an equivalent boundary value problem with a parameter. An equivalent boundary value problem with parameters consists of the Cauchy problem for a system of ordinary differential equations with parameters, a three-point condition, and a gluing condition. The solution of the Cauchy problem for a system of ordinary differential equations with parameters is constructed using the fundamental matrix of the differential



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

equation. Substituting the values at the corresponding points of the constructed solution into the three-point condition and the gluing condition, a system of linear algebraic equations with respect to the parameters is compiled. A numerical method for solving a boundary value problem for essentially ordinary differential equations with a three-point condition based on the solving of the constructed system is proposed. The proposed numerical method is illustrated by an example.

Keywords: boundary value problem, loaded differential equation, multipoint condition, numerical method, parametrization method

For citation: Zh.M. Kadirbayeva, D.S. Abilkair, B.S. Massalimov. On the numerical solution of systems of essentially loaded differential equations with a three-point condition // INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES. 2022. Vol. 3. Is. 2. Number 10. Pp. 92–102 (In Russ.). DOI: 10.54309/IJICT.2022.10.2.009.

ҮШ НҮКТЕЛІ ШАРТЫ БАР ЕЛЕУЛІ ТҮРДЕ ЖҮКТЕЛГЕН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІНІҢ САНДЫҚ ШЕШІМІ ТУРАЛЫ

Ж.М. Қадырбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов*

Қадырбаева Жазира Мұратбекқызы — ф.-м.ғ.к., «Математика және компьютерлік моделдеу» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті

ORCID: 0000-0001-8861-4100. E-mail: zhkadirbayeva@gmail.com;

Абилкаир Дін-Мұхаммед Сержанұлы — «Математика және компьютерлік моделдеу» кафедрасының магистранты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті;

Масалимов Бекжан Серікбақытұлы — «Математика және компьютерлік моделдеу» кафедрасының магистранты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті.

© Ж.М. Қадырбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов, 2022

Аннотация. Үш нүктелі шарты бар елеулі түрде жүктелген жәй дифференциалдық тендеулер жүйесі үшін сызықтық шеттік есеп қарастырылады. Қарастырылып отырған есеп үш нүктелі шарты бар жүктелген жәй дифференциалдық тендеулер үшін сызықтық шеттік есепке келтіріледі. Д.С. Жұмабаевтың параметрлеу әдісі негізінде үш нүктелі шарты бар жүктелген жәй дифференциалдық тендеулер үшін шекті есепті шешудің сандық әдісі әзірленді және оны жүзеге асыру алгоритмі ұсынылды. Аралықты бөлу және қосымша параметрлерді енгізу арқылы жүктелген жәй дифференциалдық тендеулер үшін шеттік есеп параметрі бар эквивалентті шеттік есепке келтіріледі. Параметрлері бар эквивалентті шеттік есеп параметрлері бар жәй дифференциалдық тендеулер жүйесі үшін Коши есебінен, үш нүктелі шартынан және жалғау шартынан тұрады. Параметрлері бар жәй дифференциалдық тендеулер жүйесі үшін Коши есебінің шешімі дифференциалдық тендеудің фундаменталдық матрицасын қолдана отырып құрылады. Құрылған шешімнің тиісті нүктелеріндегі мәндерді үш нүктелі шартқа



және жалғау шарттарына қойып, параметрлерге қатысты сызықтық алгебралық теңдеулер жүйесі құрылады. Құрылған жүйені шешуге негізделген үш нүктелі шарты бар елеулі түрде жүктелген жәй дифференциалдық теңдеулер үшін шеттік есепті шешудің сандық әдісі ұсынылған. Ұсынылған сандық әдіс мысалмен көркемделген.

Түйін сөздер: шеттік есеп, жүктелген дифференциалдық теңдеу, көпнүктелі шарт, сандық әдіс, параметрлеу әдісі

Дәйексөз үшін: Ж.М. Қадырбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов. Үш нүктелі шарты бар елеулі түрде жүктелген дифференциалдық теңдеулер жүйесінің сандық шешімі туралы // ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ. 2022. Том. 3. Is. 2. Нөмірі 10. 92–102 бет (орыс тілінде). DOI: 10.54309/IJICT.2022.10.2.009.

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ СИСТЕМ СУЩЕСТВЕННО НАГРУЖЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ТРЕХТОЧЕЧНЫМ УСЛОВИЕМ

Ж.М. Кадирбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов*

Кадирбаева Жазира Муратбековна — к.ф.-м.н., ассоциированный профессор кафедры «Математическое и компьютерное моделирование», Международный университет информационных технологий

ORCID: 0000-0001-8861-4100. E-mail: zhkadirbayeva@gmail.com;

Абилкаир Дин-Мухаммед Сержанулы — магистрант кафедры «Математическое и компьютерное моделирование», Международный университет информационных технологий;

Масалимов Бекжан Серикбакирович — магистрант кафедры «Математическое и компьютерное моделирование», Международный университет информационных технологий.

© Ж.М. Кадирбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов, 2022

Аннотация. Рассматривается линейная краевая задача для систем существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием. Рассматриваемая задача сводится к краевой задаче для нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием. На основе метода параметризации Д.С. Джумабаева разработан численный метод решения краевой задачи для нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием и предложен алгоритм его реализации. Разбиением интервала и введением дополнительных параметров краевая задача для нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений сводится к эквивалентной краевой задаче с параметром. Эквивалентная краевая задача с параметрами состоит из задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с параметрами, трехточечного условия и условия склеивания. Решение задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с параметрами строится с помощью фундаментальной матрицы дифференциального уравнения. Подставляя значения в соответствующих точках построенного решения в



трехточечное условие и условие склеивания, составляется система линейных алгебраических уравнений относительно параметров. Предложен численный метод решения краевой задачи для существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием, основанный на решении построенной системы. Предлагаемый численный метод иллюстрируется примером.

Ключевые слова: краевая задача, нагруженное дифференциальное уравнение, многоточечное условие, численный метод, метод параметризации

Для цитирования: Ж.М. Кадирбаева, Д.С. Абилкаир, Б.С. Масалимов. О численном решении систем существенно нагруженных дифференциальных уравнений с трехточечным условием // МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. 2022. Том. 3. Is. 2. Номер 10. Стр. 92–102 (на русском языке). DOI: 10.54309/IJICT.2022.10.2.009.

Введение

Исследование нагруженных дифференциальных уравнений представляет интерес как с точки зрения построения общей теории дифференциальных уравнений, так и с точки зрения приложений, причем приложений как в математическом моделировании, так и в собственно математике. Разные краевые задачи для нагруженных дифференциальных уравнений и методы нахождения их решений рассмотрены в (Нахушев, 2012: 232; Нахушев, 1995: 301; Дженалиев и др., 2010: 334; Abdullaev и др., 2014: 1096–1109; Assanova и др., 2018: 508–516; Assanova и др., 2018: 4966–4976; Bakirova и др., 2020: 77–86).

Термин существенно нагруженное дифференциальное уравнение означает, что правая часть дифференциального уравнения зависит от значения искомого решения и его производных в заданных точках. Краевые задачи для существенно нагруженных дифференциальных уравнений различного типа исследованы в (Дженалиев и др., 2010: 334; Krall, 1975: 493–542; Kadirbayeva и др., 2020: 47–57; Kadirbayeva и др., 2021: 6–14; Kadirbayeva, 2021: 551–559). Так как наличие производной решения в нагруженной точке сильно влияет на свойства уравнений, в настоящей работе исследуется линейная краевая задача для существенно нагруженных дифференциальных уравнений с трехточечным условием.

На $[0, T]$ рассматривается линейная трехточечная краевая задача для существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = A_0(t)x + A_1(t)x(\theta_0) + A_2(t)x(\theta_1) + A_3(t)\dot{x}(\theta_0) + f(t), \quad t \in (0, T), \quad (1)$$

$$B_0x(\theta_0) + B_1x(\theta_1) + B_2x(\theta_2) = d, \quad d \in R^n, \quad x \in R^n, \quad (2)$$

где $(n \times n)$ -матрицы $A_i(t)$, $(i = \overline{0,3})$, и n -вектор-функция $f(t)$ непрерывны на $[0, T]$, B_j , $(j = \overline{0,2})$, постоянные $(n \times n)$ -матрицы, d – постоянный n -вектор, и $0 = \theta_0 < \theta_1 < \theta_2 = T$, $\|x\| = \max_i |x_i|$.



Через $C([0, T], \mathbb{R}^n)$ обозначим пространство непрерывных функций $x: [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^n$ с нормой $\|x\|_1 = \max_{t \in [0, T]} \|x(t)\|$.

Непрерывно дифференцируема на $(0, T)$ функция $x(t) \in C([0, T], \mathbb{R}^n)$ называется решением задачи (1), (2), если она удовлетворяет системе существенно нагруженных дифференциальных уравнений (1) и трехточечному условию (2).

В уравнении (1) при $t = \theta_0$ и получим

$$[I - A_3(\theta_0)]\dot{x}(\theta_0) = A_0(\theta_0)x(\theta_0) + A_1(\theta_0)x(\theta_0) + A_2(\theta_0)x(\theta_1) + f(\theta_0), \quad (3)$$

где I – единичная матрица размерности $(n \times n)$. Предположим матрица $[I - A_3(\theta_0)]$ обратима, тогда из уравнения (3) получим

$$\dot{x}(\theta_0) = [I - A_3(\theta_0)]^{-1}\{A_0(\theta_0)x(\theta_0) + A_1(\theta_0)x(\theta_0) + A_2(\theta_0)x(\theta_1) + f(\theta_0)\}.$$

Подставляя значение $\dot{x}(\theta_0)$ в уравнение (1) получим следующую трехточечную краевую задачу для систем нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = A_0(t)x + K_1(t)x(\theta_0) + K_2(t)x(\theta_1) + F(t), \quad t \in (0, T), \quad (4)$$

$$B_0x(\theta_0) + B_1x(\theta_1) + B_2x(\theta_2) = d, \quad d \in \mathbb{R}^n, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{где } K_1(t) &= A_1(t) + A_3(t)[I - A_3(\theta_0)]^{-1}\{A_0(\theta_0) + A_1(\theta_0)\}, \\ K_2(t) &= A_2(t) + A_3(t)[I - A_3(\theta_0)]^{-1}A_2(\theta_0), \\ F(t) &= A_3(t)[I - A_3(\theta_0)]^{-1}f(\theta_0) + f(t). \end{aligned}$$

Материалы и методы исследования

Краевая задача (4), (5) исследуется методом параметризации Д.С. Джумабаева (Dzhumabayev, 1989: 34–46). Интервал $[0, T]$ разбиваем на две части:

$$[0, T] = [\theta_0, \theta_1) \cup [\theta_1, \theta_2).$$

Введем пространство $C([0, T], \theta, \mathbb{R}^{2n})$ систем функций $x[t] = (x_1(t), x_2(t))$, где $x_r: [\theta_{r-1}, \theta_r) \rightarrow \mathbb{R}^n$ непрерывны на $[\theta_{r-1}, \theta_r)$, $r = 1, 2$, имеют конечный левосторонние пределы $\lim_{t \rightarrow \theta_1-0} x_1(t)$ и $\lim_{t \rightarrow \theta_2-0} x_2(t)$, с нормой $\|x[\cdot]\|_2 = \max \left\{ \sup_{t \in [\theta_0, \theta_1)} \|x_1(t)\|, \sup_{t \in [\theta_1, \theta_2)} \|x_2(t)\| \right\}$.

Сужение функции $x(t)$ на $[\theta_{r-1}, \theta_r)$ $r = 1, 2$, обозначим через $x_r(t)$, т.е. $x_r(t) = x(t)$ для всех $t \in [\theta_{r-1}, \theta_r)$, $r = 1, 2$. Введем дополнительные параметры $\lambda_1 = x_1(\theta_0)$, $\lambda_2 = x_2(\theta_1)$. И на каждом интервале $[\theta_{r-1}, \theta_r)$, $r = 1, 2$, произведем замену функции $x_r(t) = u_r(t) + \lambda_r$, $r = 1, 2$. Тогда задача (4), (5) перейдет к следующей эквивалентной задаче:

$$\frac{du_r}{dt} = A_0(t)[u_r + \lambda_r] + K_1(t)\lambda_1 + K_2(t)\lambda_2 + F(t), \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r), \quad r = 1, 2, \quad (6)$$

$$u_r(\theta_{r-1}) = 0, \quad r = 1, 2 \quad (7)$$



$$B_0\lambda_1 + B_1\lambda_2 + B_2\lambda_2 + B_2 \lim_{t \rightarrow \theta_2-0} u_2(t) = d, \tag{8}$$

$$\lambda_1 + \lim_{t \rightarrow \theta_1-0} u_1(t) = \lambda_2, \tag{9}$$

Решением задачи (6)-(9) является пара $(u^*[t], \lambda^*)$ с элементами $(u_1^*(t), u_2^*(t)) \in C([0, T], \theta, R^{2n})$, $\lambda^* = (\lambda_1^*, \lambda_2^*) \in R^{2n}$ где функции $u_r^*(t)$, $r = 1, 2$, непрерывно дифференцируемы на $[\theta_{r-1}, \theta_r)$ и при $\lambda_j = \lambda_j^*$, $j = 1, 2$ удовлетворяют системе дифференциальных уравнений (6) и условиям (7)–(9).

Задачи (4), (5) и (6)–(9) эквивалентны. Если $x^*(t)$ является решением задачи (4), (5), тогда пара $(u^*[t], \lambda^*)$, где $u^*[t] = (x^*(t) - x^*(\theta_0), x^*(t) - x^*(\theta_1))$, and $\lambda^* = (x^*(\theta_0), x^*(\theta_1))$, будет решением задачи (6)-(9). И наоборот, если пара $(\tilde{u}[t], \tilde{\lambda})$ с элементами $\tilde{u}[t] = (\tilde{u}_1(t), \tilde{u}_2(t)) \in C([0, T], \theta, R^{2n})$, $\tilde{\lambda} = (\tilde{\lambda}_1, \tilde{\lambda}_2) \in R^{2n}$ - решение задачи (6)-(9), тогда функция пара $\tilde{x}(t)$ определяемая равенствами $\tilde{x}(t) = \tilde{u}(t) + \tilde{\lambda}_r$, $t \in [\theta_{r-1}, \theta_r)$, $r = 1, 2$, будет решением исходной задачи (4), (5).

Пусть $\Phi_r(t)$ – фундаментальная матрица дифференциального уравнения $\frac{dx}{dt} = A_0(t)x$ на $[\theta_{r-1}, \theta_r)$, $r = 1, 2$. Тогда решение задачи Коши (6), (7) можно записать в виде

$$u_r(t) = \Phi_r(t) \int_{\theta_{r-1}}^t \Phi_r^{-1}(\tau)A_0(\tau)d\tau \lambda_r + \Phi_r(t) \int_{\theta_{r-1}}^t \Phi_r^{-1}(\tau)[K_1(\tau)\lambda_1 + K_2(\tau)\lambda_2]d\tau + \Phi_r(t) \int_{\theta_{r-1}}^t \Phi_r^{-1}(\tau)F(\tau)d\tau, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r), \quad r = 1, 2. \tag{10}$$

Подставив правую часть (10) в условия (8), (9) при соответствующих предельных значениях, получим следующую систему алгебраических уравнений относительно параметров λ_1 и λ_2 :

$$B_0\lambda_1 + B_1\lambda_2 + B_2\lambda_2 + B_2\Phi_2(\theta_2) \int_{\theta_1}^{\theta_2} \Phi_2^{-1}(\tau)[A_0(\tau)\lambda_2 + K_1(\tau)\lambda_1 + K_2(\tau)\lambda_2]d\tau = d - B_2\Phi_2(\theta_2) \int_{\theta_1}^{\theta_2} \Phi_2^{-1}(\tau)F(\tau)d\tau, \tag{11}$$

$$\lambda_1 + \Phi_1(\theta_1) \int_{\theta_0}^{\theta_1} \Phi_1^{-1}(\tau)[A_0(\tau)\lambda_1 + K_1(\tau)\lambda_1 + K_2(\tau)\lambda_2]d\tau - \lambda_2 = -\Phi_1(\theta_1) \int_{\theta_0}^{\theta_1} \Phi_1^{-1}(\tau)F(\tau)d\tau. \tag{12}$$

Далее рассмотрим следующие задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений на подинтервалах

$$\frac{dy}{dt} = A(t)y + P(t), \quad y(\theta_{r-1}) = 0, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \quad r = 1, 2, \tag{13}$$

где $P(t)$ — непрерывные на $[\theta_{r-1}, \theta_r]$, $r = 1, 2$, $(n \times n)$ матрица, либо n вектор. Следовательно, решение задачи (13) представляет собой квадратную матрицу или вектор. Обозначим через $\alpha_r(P, t)$ решение задачи Коши (13). Очевидно, что



$$a_r(P, t) = \Phi_r(t) \int_{\theta_{r-1}}^t \Phi_r^{-1}(\tau) P(\tau) d\tau, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \quad r = 1, 2, \quad (14)$$

Перезапишем систему алгебраических уравнений (11), (12) используя (14):

$$B_0 \lambda_1 + B_1 \lambda_2 + B_2 \lambda_2 + B_2 a_2(A_0, \theta_2) \lambda_2 + B_2 a_2(K_1, \theta_2) \lambda_1 + B_2 a_2(K_2, \theta_2) \lambda_2 = d - B_2 a_2(F, \theta_2), \quad (15)$$

$$\lambda_1 + a_1(A_0, \theta_1) \lambda_1 + a_1(K_1, \theta_1) \lambda_1 + a_1(K_2, \theta_1) \lambda_2 - \lambda_2 = -a_1(F, \theta_1), \quad (16)$$

Матрицу, соответствующую левой части системы уравнений (15), (16), обозначим через $Q_*(\theta)$ и запишем систему в виде

$$Q_*(\theta) \lambda = F_*(\theta), \quad \lambda \in R^{2n}, \quad (17)$$

где

$$Q_*(\theta) = \begin{bmatrix} B_0 + B_2 a_2(K_1, \theta_2) & B_1 + B_2 [I + a_2(A_0, \theta_2) + a_2(K_2, \theta_2)] \\ I + a_1(A_0, \theta_1) + a_1(K_1, \theta_1) & a_1(K_2, \theta_1) - I \end{bmatrix},$$

$$F_*(\theta) = \begin{bmatrix} d - B_2 a_2(F, \theta_2) \\ -a_1(F, \theta_1) \end{bmatrix}.$$

Нетрудно установить, что разрешимость краевой задачи (4), (5) эквивалентна разрешимости системы (17). Решением системы (17) является вектор $\lambda^* = (\lambda_1^*, \lambda_2^*) \in R^{2n}$ состоит из значений решений исходной задачи (4), (5) в начальных точках подинтервалов, т.е. $\lambda_1^* = x^*(\theta_0)$ и $\lambda_2^* = x^*(\theta_1)$.

Мы предлагаем следующую численную реализацию метода параметризации Д.С. Джумабаева.

1. Берем разбиение $0 = \theta_0 < \theta_1 < \theta_2 = T$. Разделим первый интервал $[\theta_0, \theta_1]$ на N_1 частей с шагом $h_1 = (\theta_1 - \theta_0)/N_1$, а второй интервал $[\theta_1, \theta_2]$ на N_2 частей с шагом $h_2 = (\theta_2 - \theta_1)/N_2$. Предположим, что на каждом интервале $[\theta_{r-1}, \theta_r]$, $r = 1, 2$, переменная \hat{t} принимает дискретные значения: $\hat{\theta} = \theta_{r-1}$, $\hat{\theta} = \theta_{r-1} + h_r, \dots, \hat{\theta} = \theta_{r-1} + (N_r - 1)h_r$, $\hat{\theta} = \theta_r$, и обозначим через $\{\theta_{r-1}, \theta_r\}$ множество таких точек.

2. Решая следующие задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} &= A_0(t)y + A_0(t), \quad y(\theta_{r-1}) = 0, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \\ \frac{dy}{dt} &= A_0(t)y + K_1(t), \quad y(\theta_{r-1}) = 0, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \\ \frac{dy}{dt} &= A_0(t)y + K_2(t), \quad y(\theta_{r-1}) = 0, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \\ \frac{dy}{dt} &= A_0(t)y + F(t), \quad y(\theta_{r-1}) = 0, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \quad r = 1, 2, \end{aligned}$$

находим значения $(n \times n)$ матриц $a_r(A_0, \hat{t})$, $a_r(K_1, \hat{t})$, $a_r(K_2, \hat{t})$ и n вектор $a_r(F, \hat{t})$ на $\{\theta_{r-1}, \theta_r\}$, $r = 1, 2$.

3. Построим систему линейных алгебраических уравнений относительно параметров



$$Q^{\tilde{h}}(\theta)\lambda = -F^{\tilde{h}}(\theta), \quad \lambda \in R^{2n}, \quad (18)$$

Решая систему (18), находим $\lambda^{\tilde{h}}$: $x^{\tilde{h}_1}(\theta_0) = \lambda_1^{\tilde{h}}$ и $x^{\tilde{h}_2}(\theta_1) = \lambda_2^{\tilde{h}}$.

4. Чтобы определить значения приближённого решения в оставшихся точках множества $\{\theta_{r-1}, \theta_r\}$, нужно решить задачи Коши

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= A_0(t)x + K_1(t)\lambda_1^{\tilde{h}} + K_2(t)\lambda_2^{\tilde{h}} + F(t), \\ x(\theta_{r-1}) &= \lambda_r^{\tilde{h}}, \quad t \in [\theta_{r-1}, \theta_r], \quad r = 1, 2. \end{aligned}$$

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет найти численное решение задачи (4), (5). Мы видим, что решение краевой задачи (4), (5) также является решением краевой задачи (1), (2), когда матрица $[I - A_3(\theta_0)]$ обратима.

Чтобы проиллюстрировать предложенный алгоритм для численного решения линейной краевой задачи для существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием (1), (2) на основе метода параметризации Д.С. Джумабаева, рассмотрим следующий пример.

Результат исследования

На отрезке $[0, 1]$ рассматривается линейная краевая задача для существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с с трехточечным условием

$$\frac{dx}{dt} = A_0(t)x + A_1(t)x(0) + A_2(t)x\left(\frac{1}{2}\right) + A_3(t)\dot{x}(0) + f(t), \quad t \in (0,1), \quad (19)$$

$$B_0x(0) + B_1x\left(\frac{1}{2}\right) + B_2x(1) = d, \quad d \in R^2, \quad x \in R^2. \quad (20)$$

$$\text{Здесь } \theta_0 = 0, \quad \theta_1 = \frac{1}{2}, \quad \theta_2 = T = 1, \quad A_0(t) = \begin{pmatrix} t & t^2 \\ 2 & t-4 \end{pmatrix},$$

$$A_1(t) = \begin{pmatrix} t^2 & 5 \\ 2t & t^3 \end{pmatrix}, \quad A_2(t) = \begin{pmatrix} 3 & t \\ 5t & t^2 \end{pmatrix}, \quad A_3(t) = \begin{pmatrix} t^2 + 6 & 4t \\ -2 & t-5 \end{pmatrix},$$

$$B_0 = \begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 1 & 7 \end{pmatrix}, \quad B_1 = \begin{pmatrix} -3 & 5 \\ 0 & 2 \end{pmatrix}, \quad B_2 = \begin{pmatrix} 3 & 6 \\ -5 & 1 \end{pmatrix}, \quad d = \begin{pmatrix} 55 \\ -44 \end{pmatrix},$$

$$f(t) = \begin{pmatrix} -12t^3 - 3t^2 - 31t - 8 \\ 2t^3 - 18t^2 - 14t + 30 \end{pmatrix}.$$

Значение $\dot{x}(0)$ находим из (19):

$$\dot{x}(0) = \begin{pmatrix} -\frac{1}{5} & 0 \\ \frac{1}{15} & \frac{1}{6} \end{pmatrix} \left\{ A_0(0)x(0) + A_1(0)x(0) + A_2(0)x\left(\frac{1}{2}\right) + f(0) \right\}.$$



Подставляя значение $\dot{x}(0)$ в уравнение (19) получим следующую краевую задачу для систем нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений с трехточечным условием

$$\frac{dx}{dt} = A_0(t)x + K_1(t)x(0) + K_2(t)x\left(\frac{1}{2}\right) + F(t), \quad t \in (0,1), \quad (21)$$

$$B_0x(0) + B_1x\left(\frac{1}{2}\right) + B_2x(1) = d, \quad d \in R^2, \quad x \in R^2. \quad (22)$$

где

$$K_1(t) = A_1(t) + A_3(t)[I - A_3(0)]^{-1}\{A_0(0) + A_1(0)\} = \begin{pmatrix} t^2 + \frac{4}{3}t & -t^2 - \frac{4}{3}t - 1 \\ \frac{7}{3}t - \frac{5}{3} & t^3 - \frac{t}{3} + \frac{11}{3} \end{pmatrix},$$

$$K_2(t) = A_2(t) + A_3(t)[I - A_3(0)]^{-1}A_2(0) = \begin{pmatrix} \frac{4}{5}t - \frac{3}{2}t^2 - \frac{3}{5} & t \\ \frac{26}{5}t + \frac{1}{5} & t^2 \end{pmatrix},$$

$$F(t) = A_3(t)[I - A_3(0)]^{-1}f(0) + f(t) = \begin{pmatrix} \frac{8}{5} - \frac{7}{5}t^2 - \frac{197}{15}t - 12t^3 \\ 2t^3 - 18t^2 - \frac{143}{15}t + \frac{67}{15} \end{pmatrix}.$$

Для решения краевой задачи (21), (22) используем численную реализацию метода параметризации Д.С. Джумабаева. Мы предоставляем результаты численной реализации алгоритма путем разбиения подинтервалов $[0, 0,5]$, $[0,5, 1]$ с шагом $h = 0,05$.

Точным решением задачи (19), (20) является функция $x^*(t) = \begin{pmatrix} 4t^2 + 5 \\ 8t - 2 \end{pmatrix}$.

Результаты расчетов численных решений в точках разбиения представлены в таблице 1. Эти результаты получены с помощью системы MathCad.

Таблица 1 – Численное решение задачи (19), (20)

t	$\tilde{x}_1(t)$	$\tilde{x}_2(t)$	t	$\tilde{x}_1(t)$	$\tilde{x}_2(t)$
0	5.000001235	-1.999998855	0.5	6.000000851	1.999998545
0.05	5.010001158	-1.599999601	0.55	6.210000854	2.399998592
0.1	5.04000109	-1.200000173	0.6	6.440000865	2.79999866
0.15	5.090001031	-0.800000606	0.65	6.690000882	3.199998746
0.2	5.160000981	-0.400000927	0.7	6.960000905	3.599998847
0.25	5.25000094	-0.000001158	0.75	7.250000936	3.999998961
0.3	5.360000907	0.399998685	0.8	7.560000973	4.399999086
0.35	5.490000882	0.799998586	0.85	7.890001018	4.79999922
0.4	5.640000864	1.199998536	0.9	8.240001071	5.199999363
0.45	5.810000854	1.599998524	0.95	8.610001132	5.599999514
0.5	6.000000851	1.999998545	1	9.000001202	5.999999671

Для разности соответствующих значений точных и построенных решений задачи справедлива следующая оценка: $\max_{j=0,20} \|x^*(t_j) - \tilde{x}(t_j)\| < 0.000002$.

Заключение

В данной работе предложена численная реализация метода параметризации Д.С. Джумабаева для решения линейной трехточечной краевой задачи для системы существенно нагруженных обыкновенных дифференциальных уравнений. Приведен пример, иллюстрирующий численные алгоритмы метода параметризации Д.С. Джумабаева.

ЛИТЕРАТУРЫ

Abdullaev V.M., Aida-zade K.R. (2014). Numerical method of solution to loaded nonlocal boundary value problems for ordinary differential equations. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 2014. — Vol. 54. — No. 7. — Pp. 1096–1109.

Assanova A.T., Imanchiyev A.E., Kadirbayeva Zh.M. (2018). Numerical solution of systems of loaded ordinary differential equations with multipoint conditions. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 2018. — Vol. 58. — No. 4. — Pp. 508–516.

Assanova A.T., Kadirbayeva Zh.M. (2018). On the numerical algorithms of parametrization method for solving a two-point boundary-value problem for impulsive systems of loaded differential equations. *Computational and Applied Mathematics*. — 2018. — Vol. 37. — No. 4. — Pp. 4966–4976.

Bakirova E.A., Kadirbayeva Zh.M. (2020). Numerical solution of the boundary value problems for the loaded differential and Fredholm integro-differential equations // *International Journal of Information and Communication Technologies*. — 2020. — Vol. 1. — No 2. — Pp. 77–86.

Дженалиев М.Т., Рамазанов М.И. (2010). Нагруженные уравнения как возмущения дифференциальных уравнений. -Алматы: Ғылым, 2010. — 334 с.

Dzhumabayev D.S. (1989). Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation // *U.S.S.R. Comput. Maths. Math. Phys.* — 1989. — Vol. 29. — No 1. — Pp. 34–46.

Krall A.M. (1975). The development of general differential and general differential-boundary systems, *Rocky Mountain Journal of Mathematics*. — 1975. — Vol. 5. — Pp. 493–542.

Kadirbayeva Zh.M., Karakenova S.G. (2020). Numerical solution of the multipoint boundary value problems for essentially loaded ordinary differential equations // *Kazakh Mathematical Journal*. — 2020. — Vol. 20. — No. 4. — Pp. 47–57.

Kadirbayeva Zh.M., Bakirova E.A., Dauletbayeva A.Sh., Kassymgali A.A. (2021). An algorithm for solving a boundary value problem for essentially loaded differential equations // *News of the NAS RK. Phys.-Math. Series*. — 2021. — Vol. 2. — No. 336. — Pp. 6–14.

Kadirbayeva Zh.M. (2021). A numerical method for solving boundary value problem for essentially loaded differential equations // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. — 2021. — Vol. 42. — No. 3. — Pp. 551–559.

Нахушев А.М. (2012). Нагруженные уравнения и их применение. — М.: Наука, 2012. — 232 с.

Нахушев А.М. (1995). Уравнения математической биологии. — М.: Высшая школа, 1995. — 301 с.

REFERENCES

Abdullaev V.M., Aida-zade K.R. (2014). Numerical method of solution to loaded nonlocal boundary value problems for ordinary differential equations. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 2014. — Vol. 54. — No. 7. — Pp. 1096–1109.

Assanova A.T., Imanchiyev A.E., Kadirbayeva Zh.M. (2018). Numerical solution of systems of



loaded ordinary differential equations with multipoint conditions. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. — 2018. — Vol. 58. — No. 4. — Pp. 508–516.

Assanova A.T., Kadirbayeva Zh.M. (2018). On the numerical algorithms of parametrization method for solving a two-point boundary-value problem for impulsive systems of loaded differential equations. *Computational and Applied Mathematics*. — 2018. — Vol. 37. — No. 4. — Pp. 4966–4976.

Bakirova E.A., Kadirbayeva Zh.M. (2020). Numerical solution of the boundary value problems for the loaded differential and Fredholm integro-differential equations // *International Journal of Information and Communication Technologies*. — 2020. — Vol. 1. — No 2. — Pp. 77–86.

Dzhumabayev D.S. (1989). Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation // *U.S.S.R. Comput. Maths. Math. Phys.* —1989. — Vol. 29. — No 1. — Pp. 34–46.

Krall A.M. (1975). The development of general differential and general differential-boundary systems, *Rocky Mountain Journal of Mathematics*. —1975. — Vol. 5. — Pp. 493–542.

Dzhenaliev M.T., Ramazanov M.I. (2010). Nagruzhennye uravnenija kak vozmushhenija differencial'nyh uravnenij. - Almaty: Gylym, 2010. — 334 p. [in Russ.]

Kadirbayeva Zh.M., Karakenova S.G. (2020). Numerical solution of the multipoint boundary value problems for essentially loaded ordinary differential equations // *Kazakh Mathematical Journal*. — 2020. — Vol. 20. — No. 4. — Pp. 47–57.

Kadirbayeva Zh.M., Bakirova E.A., Dauletbayeva A.Sh., Kassymgali A.A. (2021). An algorithm for solving a boundary value problem for essentially loaded differential equations // *News of the NAS RK. Phys.-Math. Series*. — 2021. — Vol. 2. — No. 336. — P. 6–14.

Kadirbayeva Zh.M. (2021). A numerical method for solving boundary value problem for essentially loaded differential equations // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. — 2021. —Vol. 42. — No. 3. — Pp. 551–559.

Nakhushev A.M. (2012). Nagruzhennye uravnenija i ih primenenie. — M.: Nauka, 2012. — 232 p. [in Russ.]

Nakhushev A.M. (1995). Uravnenija matematicheskoy biologii. — M.: Vyshaiya shkola, 1995. — 301 p. [in Russ.]



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

<https://journal.iitu.edu.kz>

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Собственник: АО «Международный университет информационных технологий» (Казахстан, Алматы)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Ералы Диана Русланқызы

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА

Жадыранова Гульнур Даутбековна

Подписано в печать 15.06.2022.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф.7,0 п.л. Тираж 100
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.