

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



**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGIES**

Published since 2020.
Volume 7. 2 (26). 2026
April–June

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

2020 жылдан бері шығарылады
Том 7. 2 (26). 2026
Сәуір-Маусым

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Издается с 2020 г.
Том 7. 2 (26). 2026
Апрель-Июнь

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

Зарегистрировано в Международном центре регистрации серийных изданий ISSN (ЮНЕСКО, Париж, Франция). ISSN 2708–2032 (print), ISSN 2708–2040 (online)

Журнал входит в Перечень научных изданий, рекомендуемых КОКНВО МНВО РК для публикации основных результатов научной деятельности.

EDITOR-IN-CHIEF:

Kateryna Kolesnikova — Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for Research, International Information Technology University (Kazakhstan)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Madina Ipalakova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Director of the Research Department, International Information Technology University (Kazakhstan)

EDITORIAL BOARD:

Abdul Razak — PhD, professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Lucio Tommaso De Paolis — Director of the R&D Department of the AVR Laboratory, Department of Engineering for Innovation, University of Salento (Italy)

Liz Bacon — Professor, Deputy Vice-Chancellor, Abertay University (United Kingdom)

Michele Pagano — PhD, Professor, University of Pisa (Italy)

Mukhtarbay Otelbayev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, professor of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bolatbek Rysbauly — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, professor of the Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

Yevgeniya Daineko — PhD, research professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Nurzhan Duzbayev — PhD, associate professor, Vice-Rector for Digitalization and Innovation, International Information Technology University (Kazakhstan)

Bakhtgerci Sinchev — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

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

Ardak Mukhamediyeva — Candidate of Economic Sciences, Dean of the Faculty of Business, Media and Management, International Information Technology University (Kazakhstan)

Zamira Abdikalikova — PhD, associate professor, Head of the Department of Mathematical and Computer Modeling, International Information Technology University (Kazakhstan)

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

Damilya Yeskendirowa — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

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

Altai Aitmagambetov — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yelena Bakhtiyarova — Candidate of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Radio Engineering, Electronics and Telecommunications, International Information Technology University (Kazakhstan)

Kanibek Sansyrbay — PhD, research professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Sakhybay Tynymbayev — Candidate of Technical Sciences, Professor, Research Professor, Department of Computer Engineering, International Information Technology University (Kazakhstan)

Ali Abd Almisreb — PhD, associate professor, Department of Cybersecurity, International Information Technology University (Kazakhstan)

Mohamed Ahmed Hamada — PhD, associate professor, Department of Information Systems, International Information Technology University (Kazakhstan)

Yang Im Chu — PhD, Professor, Gachon University (South Korea)

Tadeusz Wallas — PhD, Vice-Rector, Adam Mickiewicz University (Poland)

Orken Mamyrbayev — PhD, Deputy Director for Science, RSE Institute of Information and Computational Technologies, Committee for Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Kazakhstan)

Sergey Bushuyev — Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Ukrainian Project Management Association "UKRNET," Head of the Department of Project Management, Kyiv National University of Construction and Architecture (Ukraine)

Svetlana Beloshitskaya — Doctor of Technical Sciences, professor, Department of Computing and Data Science, Astana IT University (Kazakhstan)

MANAGING EDITOR

Raushan Mrzabayeva — Master of Science, editor, International Information Technology University (Kazakhstan)

International Journal of Information and Communication Technologies

Periodicity: 4 times a year.

Languages: Kazakh, Russian, English

DOI prefix: 10.54309

ISSN 2708-2032 (print)

ISSN 2708-2040 (online)

Thematic focus: "Information technology"; "Digital technologies in the development of socio-economic systems"; "Information security and communication technologies".

Distribution: Materials are distributed under the Creative Commons Attribution 4.0

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

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

Copyright: © International Journal of Information and Communication Technologies, 2026

РЕДАКЦИЯ

БАС РЕДАКТОР:

Колесникова Катерина Викторовна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі проректор (Қазақстан)

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

Ипалакова Мадина Тулегеновна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің ғылыми-зерттеу қызметі жөніндегі департамент директоры (Қазақстан)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

- Разак Абдул** — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Луччо Томмазо де Паолис — Саленто Университеті (Италия) инновация және технологиялық инжиниринг департаменті AVR зертханасының зерттеу және әзірлеу бөлімінің директоры
Лиз Бэкон — профессор, Абертей Университеті (Ұлыбритания) вице-канцлерінің орынбасары
Микеле Пагано — PhD, Пиза Университетінің (Италия) профессоры
Өтелбаев Мухтарбай Өтелбайұлы — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Рысбайұлы Болатбек — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Есептеу және деректер ғылымдары департаментінің профессоры, Astana IT University (Қазақстан)
Дайнеко Евгения Александровна — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Дузаев Нуржан Токсулжаевич — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті цифрландыру және инновациялар жөніндегі проректор (Қазақстан)
Синчев Бахтгерей Куспанович — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Сейлова Нургуль Абдуллаевна — техника ғылымдарының докторы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультетінің деканы (Қазақстан)
Мухамедиева Ардак Габитовна — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес-медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)
Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Шильдибеков Ерлан Жаржанович — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Дамелия Максумовна Ескендрова — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — филология ғылымдарының кандидаты, доцент, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті медиакоммуникация және Қазақстан тарихы кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Айтмағамбетов Алтай Зуфарович — техника ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының профессоры (Қазақстан)
Бахтиярова Елена Ажибековна — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті радиотехника, электроника және телекоммуникация кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)
Канибек Сансызбай — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Тынымбаев Сахибай — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)
Алмисреб Али Абд — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті киберқауіпсіздік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)
Мохамед Ахмед Хамада — PhD, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті ақпараттық жүйелер кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қазақстан)
Янг Им Чу — PhD, Гачон университетінің профессоры (Оңтүстік Корея)
Талеуш Валлас — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры
Мамырбаев Оркен Жумажанович — PhD, ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті ақпараттық және есептеу технологиялары институты ӨМК директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан)
Бушув Сергей Дмитриевич — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украинаның "УКРНЕТ" жобаларды басқару қауымдастығының директоры, Киев ұлттық құрылыс және суалғат университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)
Белюшицкая Светлана Васильевна — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

ЖАУАПТЫ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің редакторы (Қазақстан)

Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Басылым тілі: қазақ, орыс, ағылшын.

Тақырып бағыты: "Ақпараттық технологиялар"; "Ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар"; "Әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология".

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

Тарату: материалдар Creative Commons Attribution 4.0 лицензиясы бойынша таратылады

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

Авторлық құқық: © Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы, 2026

РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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)

Лучио 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 Astana IT University (Казахстан)

Дайнеко Евгения Александровна — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем 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 бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Абдикаликова Замира Турсынбаевна — PhD, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой математического и компьютерного моделирования Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

Дамелия Максуговна Ескендрова — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой кибербезопасности Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Ниязгулова Айгуль Аскарбековна — кандидат филологических наук, доцент, профессор, заведующая кафедрой медиакоммуникации 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)

Бахтиярова Елена Ажибековна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующая кафедрой радиотехники, электроники и телекоммуникаций Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Канибек Сансызбай – PhD, ассоциированный профессор, профессор-исследователь кафедры кибербезопасности, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Тынымбаев Сахпай – кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Алимуралиев 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)

Тадеуш 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)

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР:

Мрзабаева Раушан Жалиевна — магистр, редактор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

Международный журнал информационных и коммуникационных технологий

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Префикс DOI: 10.54309

Периодичность: 4 выпусков в год.

Язык издания: казахский, русский, английский.

Тематическая направленность: "Информационные технологии"; "Информационная безопасность и коммуникационные технологии"; "Цифровые технологии в развитии социально-экономических систем".

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

Распространение: материалы распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0

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

Авторские права: © Международный журнал информационных и коммуникационных технологий, 2026

CONTENTS

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

D. Abzhanova, A. Biloshchytski

A MODEL AND METHOD FOR MANAGING DATA ON EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES OF POLLUTION IN AN INTELLIGENT ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM9

A. Slanbekova, M. Rakhimzhanova, A. Zhanibekova, A. Alimagambetova, M. Xudoyberganov

EARLY DETECTION OF HYDROLOGICAL HAZARDS BASED ON SPATIOTEMPORAL ANALYSIS25

INFORMATION TECHNOLOGY

F.N. Abdraimova, A.A. Kereibayeva, D.S. Dyussenova, D.A. Aliyeva, T.Zh. Toktarova

AI TECHNOLOGIES IN LANGUAGE EDUCATION: PRACTICAL ASPECTS AND CHALLENGES OF STUDENT USAGE36

G. Azieva, M. Yessenova, A. Abzhapparova, G. Abdikerimova, P. Schmidt

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA50

A.K. Aitim

JOINT MORPHOLOGICAL DISAMBIGUATION AND POS TAGGING FOR AGGLUTINATIVE LANGUAGES62

S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING78

T. Imanbekova, Zh. Ibrayeva, G. Jakanova, G. Askanbay

DATA COMPRESSION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMER; ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN MATLAB92

B.Z. Kenzhegulov, Zh.T. Bilyalova, K.N. Uteuliyeva, L. Nurgaliyeva, Sh.S. Nurzhanova

A MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT TEXT-TO-SQL SYSTEM BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS110

N.Sh. Maxutova, J.A. Tussupov, A.A. Shekerbek, Zh.E. Kenzhebayeva, Q.O. Rakhimov

MACHINE LEARNING FOR COMPREHENSIVE EVALUATION OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS: FOCUS ON ASPARTATE AMINOTRANSFERASE131

O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov

INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS146

R. Taberkhan, M.A. Sambetbayeva, G. Kalman

KAZCAUSAL: THE FIRST CORPUS-BASED ANNOTATION OF CAUSAL RELATIONSHIPS IN THE KAZAKH LANGUAGE160

S.Tynymbayev, S.E. Mamanova, R. Berdybayev, Zh.E. Temirbekova, T. Chinibayeva

DIVIDING DEVICES WITH PRELIMINARY PREPARATION OF MULTIPLES OF THE DIVISOR172

K.N. Uteuliyeva, B.Z. Kenzhegulov, T.A. Karazhigitova, H.İ. Bülbül, Z.Zh. Zhanuzakova

MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF A COLLABORATIVE FILTERING-BASED RECOMMENDER SYSTEM188

S. Sharmukhanbet, G. Turmukhanova, O. Findik, V. Makhatova, L. Kurmangazyeva

HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING209

INFORMATION SECURITY AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

A. Amirbay, Z. Amanbaikyzy, K. Maxutova, A. Mukhanova, M. Kassim

MACHINE LEARNING ALGORITHM FOR EARLY DETECTION OF AUTISM SPECTRUM DISORDERS IN CHILDREN BASED ON MULTIMODAL ANALYSIS OF EYE MOVEMENTS AND FACIAL EXPRESSIONS227

K. Baisylbayeva, Sh. Mussiraliyeva, Zh. Yeltay

DETECTION OF EXTREMIST IDEOLOGY IN THE KAZAKH LANGUAGE: ANNOTATION CHALLENGES AND DEEP LEARNING APPROACHES242

M.A. Bolatbek, A.M. Usmanova, K.B. Bagitova, G.B. Baispay

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A METHOD FOR ANALYZING NETWORK TRAFFIC TO IDENTIFY A CYBER THREAT	261
D.I. Prokopovych-Tkachenko, N.K. Zhumagalieva, D.N. Shchytyov, N.F. Mormul, D.A. Cherkaskyi FUZZY MODEL FOR EVALUATING INFORMATION SECURITY PARAMETERS OF INFORMATION SYSTEMS UNDER INCOMPLETE AND QUALITATIVE DATA: CONSTRUCTION METHODOLOGY, RULE BASE TUNING, AND DEMONSTRATION CASE FOR ORGANIZATIONS	279
E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES	305
Y. Serzhan, T. Umarov, A. Abilbayeva FRAUD DETECTION IN CREDIT CARD TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE ANALYSIS	321

МАЗМҰНЫ

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Д.Е. Абжанов, А.А. Белоощицкий ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ЖҮЙЕСІНДЕГІ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЛАСТАНУ КӨЗ-ДЕРІНІҢ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫ ТУРАЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ МОДЕЛІ МЕН ӘДІСІ	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов КЕҢІСТІКТІК-УАҚЫТТЫҚ (SPATIOTEMPORAL) ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРДІ ЕРТЕ АНЫҚТАУ	25

АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТІЛ БІЛІМІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: СТУДЕНТТЕР ҚОЛДАНУЫНЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ МЕН МӘСЕЛЕЛЕРІ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt UAV ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ DAҚЫЛДАРЫН ЖІКТЕУГЕ АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ СТЕКИНГ МОДЕЛІ	50
Ә.Қ. Әйтiм АГГЛЮТИНАТИВТІ ТІЛДЕРГЕ АРНАЛҒАН МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ДИЗАМБИГУАЦИЯ МЕН POS-ТАҢ-БАЛАУДЫ БІРЛЕСІП МОДЕЛЬДЕУ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ТҮСІНДІРІЛЕТІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУЫР ЖҮК КӨЛІКТЕРІНЕ БОЛЖАМДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай МӘЛІМЕТТЕРДІ ВЕЙВЛЕТ-ТҮРЛЕНДІРГІШТІҢ НЕГІЗІНДЕ ҚЫСУ АЛГОРИТМІ; MATLAB ОРТАСЫНДА ТАЛДАУ ЖӘНЕ ІСКЕ АСЫРУ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нурғалиева, Ш.С. Нуржанова ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕР НЕГІЗІНДЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХТ-ТО-SQL ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛІ	110
Н.Ш. Максұтова, Ж.А. Тусупов, А.Ә. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахимов ЖҮРЕК-ҚАН ТАМЫРЛАРЫ АУРУЛАРЫНЫҢ ҚАУІП-ҚАТЕРІН ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ: АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗАҒА ЕРЕКШЕ НАЗАР	131
О.С. Салықова, В.А. Мадин, Б.Р. Салықов, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануилов ӨНЕРКӘСІПТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРЛЕРДІҢ СЕНСОРЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Қалман KAZCAUSAL: ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СЕБЕП-САЛДАРЛЫҚ ҚАТЫНАСТАРДЫҢ АЛҒАШҚЫ КОРПУСТЫҚ АННОТАЦИЯСЫ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердібаев, Ж.Е. Темірбекова, Т. Чинибаева БӨЛГІШТІҢ ЕСЕЛІ МӘНДЕРІН АЛДЫН АЛА ДАЙЫНДАУМЕН ЖҮЗЕГЕ АСЫРЫЛАТЫН БӨЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ	172



К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х. Булбул, З.Ж. Жанузакова КОЛЛАБОРАТИВТІК СҮЗГІЛЕУ НЕГІЗІНДЕГІ ҰСЫНЫМДЫҚ ЖҮЙЕНІ ӨЗІРЛЕУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ-АЛГОРИТМДІК ТӘСІЛДЕРІ	188
С. Шармуханбет, Г. Тұрмуханова, О. Финдик, В. Махатова, Л. Курмангазиева АЙНЫМАЛЫ ЖАРЫҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ РОБОТТЫҚ ҚҰРАСТЫРУ: ВИЗУАЛДЫ СЕРВОТЕЖЕУДІҢ ТӨЗІМДІ МЕХАТРОНИКАЛЫҚ АРХИТЕКТУРАСЫ	209

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

А. Амирбай, З. Аманбайқызы, К. Максүтова, А. Муханова, М. Kassim КӨЗ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫ МЕН БЕТ МИМИКА БЕЛГІЛЕРІН МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ТАЛДАУҒА НЕГІЗ- ДЕЛГЕН БАЛАЛАРДАҒЫ АУТИЗМ СПЕКТРІНІҢ БҰЗЫЛЫСТАРЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж. Елтай ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРЕМИСТІК ИДЕОЛОГИЯНЫ АНЫҚТАУ: АННОТАЦИЯЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, Қ.Б. Багитова, Г.Б. Байспай КИБЕР ҚАУІПТІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский ТОЛЫҚ ЕМЕС ЖӘНЕ САПАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ЖАҒДАЙЫНДА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АҚПА- РАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҒАЛАУДЫҢ БҰЛЫҢҒЫР МОДЕЛІ: ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ, ЕРЕЖЕЛЕР БАЗАСЫН БАПТАУ ЖӘНЕ ҰЙЫМДАРҒА АРНАЛҒАН ДЕМОСТРАЦИЯЛЫҚ КЕЙС	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИМДІЛІГІН БАҒАЛАУ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Әбілбаева МАШИНАЛЫҚ ОҚУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ КРЕДИТ КАРТА ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	321

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.Е. Абжанова, А.А. Белошицкий МОДЕЛЬ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ О ВЫБРОСАХ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	9
А.Е. Сланбекова, М.Б. Рахимжанова, А.И. Жанибекова, А.З. Алимагамбетова, М. Худойбергенов РАННЕЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО (SPATIOTEMPORAL) АНАЛИЗА	25

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ф.Н. Абдраимова, А.А. Керейбаева, Д.С. Дюсенова, Д.А. Алиева, Т.Ж. Токтарова ТЕХНОЛОГИИ ИИ В ЯЗЫКОВОМ ОБРАЗОВАНИИ: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТУДЕНТАМИ	36
Г.Т. Азиева, М.Б. Есенова, А.К. Абжаппарова, Г.Б. Абдикеримова, Р. Schmidt ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ СТЕКИНГА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ UAV	50
Ә.Қ. Әйтiм СОВМЕСТНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИЗАМБИГУАЦИЯ И POS-РАЗМЕТКА ДЛЯ АГГЛЮТИНАТИВНЫХ ЯЗЫКОВ	62
С.А. Есниязова, С.Т. Каимов ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ГРУЗОВИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИ- ЕМ ОБЪЯСНИМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	78
Т.Д. Иманбекова, Ж.Б. Ибраева, Г.Т. Джаканова, Г.Т. Асқанбай	

АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ: АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ В МАТЛАВ	92
Б.З. Кенжегулов, Ж.Т. Билялова, К.Н. Утеулиева, Л. Нургалиева, Ш.С. Нуржанова	
МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХТ-TO-SQL СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ	110
Н.Ш. МаксUTOва, Д.А. Тусупов, А.А. Шекербек, Ж.Е. Кенжебаева, К.О. Рахмтов	
МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И БИОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: АКЦЕНТ НА АСПАРТАМИНОТРАНСФЕРАЗЕ ...	131
О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов	
ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ МОДУЛЕЙ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА	146
Р. Таберхан, М.А. Самбетбаева, Г. Калман	
КАЗСАUSAL: ПЕРВАЯ КОРПУСНАЯ АННОТАЦИЯ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ	160
С. Тынымбаев, С.Е. Маманова, Р. Бердибаев, Ж.Е. Темирбекова, Т. Чинибаева	
УСТРОЙСТВА ДЕЛЕНИЯ ЧИСЕЛ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКОЙ КРАТНЫХ ДЕЛИТЕЛЮ	172
К.Н. Утеулиева, Б.З. Кенжегулов, Т.А. Каражигитова, Х.Бюльбюль, З.Ж. Жанузакова	
МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ	188
С. Шармуханбет, Г. Турмуханова, О.Финдик, В.Махатова, Л. Курмангазиева	
ВЫСОКОТОЧНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СБОРКА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ: РОБАСТНАЯ МЕХАТРОННАЯ АРХИТЕКТУРА ВИЗУАЛЬНОГО СЕРВОУПРАВЛЕНИЯ	209

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А. Амирбай, З. Аманбайкызы, К. МаксUTOва, А. Муханова, М. Kassim	
АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И МИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	227
К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж.Елтай	
ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ИДЕОЛОГИИ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: ПРОБЛЕМЫ АННОТИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ	242
М.А. Болатбек, А.М. Усманова, К.Б. Багитова, Г.Б. Байспай	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРУГРОЗЫ	261
Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский	
НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ: МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ, НАСТРОЙКА БАЗЫ ПРАВИЛ И ДЕМОСТРАЦИОННЫЙ КЕЙС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ	279
Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ	305
Е. Сержан, Т. Умаров, А. Абильбаева	
ВЫЯВЛЕНИЕ МОШЕННИЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ С КРЕДИТНЫМИ КАРТАМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	321



INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Vol. 7. Is.2. Number 26 (2026). Pp. 146–159

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

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.010>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ 50.47.27

INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS

O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov*

Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan.

E-mail: vmadin@mail.ru

Olga S. Salykova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of «Software», Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>;

Vladimir A. Madin — PhD student, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university
E-mail: vmadin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6397-8274>;

Bulat R. Salykov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of «Agrarian Engineering and Transportation», Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0003-2834-1010>;

Denis N. Komarov — PhD student, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan
<https://orcid.org/0000-0001-5347-7206>;

Nikolai V. Manuilov — Engineer of the Innovation Engineering Laboratory, Department of «Software», Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan
<https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

© O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykov, D.N. Komarov, N.V. Manuilov

Abstract. This paper examines contemporary approaches to the design of industrial monitoring systems aimed at improving the reliability and operational efficiency of technological equipment in the context of industrial digitalization. The relevance of the study is driven by the need to develop cost-effective and scalable solutions for continuous condition monitoring of equipment components within the framework of the Industrial Internet of Things (IIoT) and their integration with enterprise information systems. The objective of this research is to develop a universal architecture for sensor data transmission and processing based on the integration of MEMS accelerometers into microcontroller platforms, ensuring high reliability, low latency, and compatibility with higher-level systems. The hardware platform is based on the STM32F407VGT6 microcontroller (STM32F4 Discovery) and a three-axis LIS3DSHTR accelerometer connected via the I²C



interface. A data transmission protocol over UART was developed to enable robust and straightforward integration with external systems and cloud-based monitoring services. To enhance measurement quality, digital signal processing techniques were applied, including moving average, median filtering, and the Kalman filter, along with preliminary vibration analysis using standard statistical metrics. Experimental results obtained under real industrial conditions confirmed a reduction in noise levels, improved signal stability, and the capability for early detection of anomalies associated with equipment wear and imbalance. It is demonstrated that the proposed approach provides a balance between measurement accuracy, computational complexity, and system cost, while also ensuring reproducibility in industrial environments. The novelty of the study lies in the use of a low-cost modular architecture with an open structure, and its practical significance is determined by its applicability in predictive maintenance systems and digital twins of industrial equipment.

Keywords: industrial monitoring, STM32, accelerometer, UART, I²C, sensor network, sensor integration

For citation: O.S. Salykova, V.A. Madin, B.R. Salykova, D.N. Komarov, N.V. Manuilov (2026). Integration of mems accelerometer sensor modules in industrial monitoring systems // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 146–159. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.010>. (In Russ.).

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgment: *this work was carried out within the framework of project IRN BR24992785, “Organization and conduct of comprehensive research to ensure the sustainable development of the agro-industrial complex of Kostanay region through the establishment of a research and technological center.” The authors express their gratitude to the management and technical specialists of OPTISORT LLP for their assistance in organizing and conducting the experimental studies.*

ӨНЕРКӘСІПТІК МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ MEMS-АКСЕЛЕРО- МЕТРЛЕРДІҢ СЕНСОРЛЫҚ МОДУЛЬДЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

О.С. Салыкова, В.А. Мадин*, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануилов

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай,
Қазақстан.

E-mail: vmadin@mail.ru

Салыкова Ольга Сергеевна — техника ғылымдарының кандидаты, «Бағдарлама-лық қамтамасыз ету» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>;

Мадин Владимир Анатольевич — докторант PhD, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан

E-mail: vmadin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6397-8274>;

Салыков Булат Рахимжанович — техника ғылымдарының кандидаты, «Аграрлық техника және көлік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0003-2834-1010>;

Комаров Денис Николаевич — докторант PhD, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан
<https://orcid.org/0000-0001-5347-7206>;

Мануйлов Николай Владимирович — «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының инновациялық инжиниринг зертханасының инженері, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан
<https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

© О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов

Аннотация. Мақалада өндірісті цифрландыру жағдайында технологиялық жабдықтың сенімділігі мен тиімді жұмысын арттыруға арналған өнеркәсіптік мониторинг жүйелерін құрудың заманауи тәсілдері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі-өнеркәсіптік интернет заттары (IIoT) аясында жабдықтың күйін үздіксіз бақылауға мүмкіндік беретін қолжетімді әрі кеңейтуге болатын шешімдерді әзірлеу және оларды корпоративтік жүйелермен біріктіру қажеттілігімен байланысты. Жұмыстың мақсаты-MEMS-акселерометрлерді микроконтроллерлермен біріктіріп, сенсорлық деректерді жинау, беру және өндеудің әмбебап әрі сенімді жүйесін жасау. Бұл жүйе төмен кідірісті қамтамасыз етіп, жоғарғы деңгейдегі жүйелермен оңай жұмыс істей алады. Аппараттық негіз ретінде STM32F407VGT6 микроконтроллері және I²C интерфейсі арқылы қосылған үш осьті LIS3DSHTR акселерометрі қолданылды. Деректерді беру үшін UART протоколы пайдаланылды, ол жүйені сыртқы құрылғылармен және бұлттық сервистермен оңай байланыстыруға мүмкіндік береді. Өлшеу дәлдігін арттыру үшін сигналдарды өндеудің қарапайым әдістері-жылжымалы орташа, медианалық сүзгі және Калман сүзгісі қолданылды. Сонымен қатар, діріл деректеріне бастапқы талдау жасалып, негізгі статистикалық көрсеткіштер есептелді. Өндірістік жағдайда жүргізілген тәжірибелер нәтижесінде шу деңгейінің азайғаны, сигналдардың тұрақтылығы артқаны және жабдықтағы ақауларды ерте анықтау мүмкіндігі дәлелденді. Ұсынылған әдіс дәлдік, есептеу жүктемесі және жүйе құны арасындағы тиімді тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Жұмыстың жаңалығы-ашық және қолжетімді модульдік архитектураны қолдануында. Практикалық тұрғыдан бұл шешім өндірістік жабдыққа алдын ала қызмет көрсету (предиктивті қызмет) және цифрлық егіздер жүйелерінде кеңінен қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: өнеркәсіптік мониторинг, STM32, акселерометр, UART, I²C, сенсорлық желі, сенсорларды интеграциялау

Дәйексөздер үшін: О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов (2026). Өнеркәсіптік мониторинг жүйелеріндегі mems-акселерометрлердің сенсорлық модульдерін интеграциялау // Халықаралық ақпараттық



және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. Б. 146–159. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.010>. (Орыс. тіл.).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Алғыс: осы жұмыс ЖТН BR24992785 «Ғылыми-зерттеу технологиялық орталығын құра отырып, Қостанай облысының агроөнеркәсіптік кешенінің орнықты дамуын қамтамасыз ету бойынша кешенді зерттеулерді ұйымдастыру және жүргізу» жобасы шеңберінде орындалды. Авторлар «ОПТИСОРТ» ЖШС зауытының басшылығы мен техникалық мамандарына эксперименттік зерттеулерді ұйымдастыруға және жүргізуге жәрдемдескені үшін алғыс білдіреді.

ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ МОДУЛЕЙ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО МОНИТОРИНГА

О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов*

Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан.

E-mail: vmadin@mail.ru

Салыкова Ольга Сергеевна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Программное обеспечение», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0002-8681-4552>;

Мадин Владимир Анатольевич — докторант PhD, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
E-mail: vmadin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6397-8274>;

Салыков Булат Рахимжанович — кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Аграрная техника и транспорт», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0003-2834-1010>;

Комаров Денис Николаевич — докторант PhD, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0001-5347-7206>;

Мануйлов Николай Владимирович — инженер лаборатории инновационного инжиниринга кафедры «Программное обеспечение», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан
<https://orcid.org/0009-0008-6454-9541>.

© О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к построению систем промышленного мониторинга, ориентированных на повышение надёжно-

сти и эффективности эксплуатации технологического оборудования в условиях цифровизации производства. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки доступных и масштабируемых решений для непрерывного контроля состояния узлов оборудования в рамках концепции промышленного интернета вещей (IIoT) и интеграции с корпоративными информационными системами. Целью работы является разработка универсальной архитектуры передачи и обработки сенсорных данных на основе интеграции MEMS-акселерометров в микроконтроллерные платформы, обеспечивающей высокую надёжность, низкую задержку и совместимость с системами верхнего уровня. В качестве аппаратной основы использованы микроконтроллер STM32F407VGT6 (STM32F4 Discovery) и трёхосевой акселерометр LIS3DSHTR, подключённый по интерфейсу I²C. Разработан протокол передачи данных через UART, реализующий устойчивую и простую интеграцию с внешними системами и облачными сервисами мониторинга. Для повышения качества измерений применены методы цифровой обработки сигналов, включая скользящее среднее, медианную фильтрацию и фильтр Калмана, а также выполнен первичный анализ вибрационных характеристик с использованием стандартных статистических метрик. Экспериментальные результаты, полученные в условиях реального производства, подтвердили снижение уровня шумов, повышение стабильности сигналов и возможность раннего выявления аномалий, связанных с износом и разбалансировкой оборудования. Показано, что предложенный подход обеспечивает баланс между точностью измерений, вычислительной сложностью и экономичностью системы, а также демонстрирует воспроизводимость в условиях промышленной эксплуатации. Новизна работы заключается в использовании бюджетной модульной архитектуры с открытой структурой, а практическая значимость определяется возможностью её применения в системах предиктивного обслуживания и цифровых двойников промышленного оборудования.

Ключевые слова: промышленный мониторинг, STM32, акселерометр, UART, I²C, сенсорная сеть, интеграция датчиков

Для цитирования: О.С. Салыкова, В.А. Мадин, Б.Р. Салыков, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов (2026). Интеграция сенсорных модулей mems-акселерометров в системах промышленного мониторинга // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 146–159. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.010>. (На русс.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: настоящая работа выполнена в рамках проекта ИРН BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра». Авторы выражают благодарность руководству и техническим специалистам завода ТОО «ОПТИСОРТ» за содействие в организации и проведении эксперименталь-

ных исследований.

Введение.

Повышение надежности и эффективности работы промышленного оборудования является одной из ключевых задач современной индустрии. В условиях цифровизации производства особое значение приобретают интеллектуальные системы мониторинга, обеспечивающие непрерывное наблюдение за состоянием технологических узлов и позволяющие в реальном времени выявлять критические изменения параметров (Albarbar et al., 2008; Garcia et al., 2025). Развитие концепции промышленного интернета вещей (IIoT) усиливает необходимость интеграции сенсорных модулей в единое информационное пространство предприятий (Tang et al., 2018).

Существующие промышленные решения зачастую базируются на дорогостоящих многоканальных системах или закрытых IoT-платформах, что ограничивает их гибкость и адаптацию под специфические условия эксплуатации (Zhou, 2025). В то же время использование недорогих MEMS-акселерометров в сочетании с микроконтроллерными платформами открывает возможности для создания энергоэффективных и масштабируемых систем мониторинга, доступных для внедрения в условиях реального производства (Ишметьев и др., 2019; Albarbar et al., 2008).

Целью настоящего исследования является разработка универсальной архитектуры передачи сенсорных данных от акселерометров к системе мониторинга, обеспечивающей минимальную задержку, высокую надежность и возможность масштабирования в рамках IIoT.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- выбор и обоснование аппаратной платформы для интеграции сенсорных модулей;
- разработка и реализация протокола передачи данных, совместимого с промышленными интерфейсами;
- исследование методов цифровой обработки сигналов для повышения точности и стабильности измерений;
- экспериментальная проверка системы в условиях реального производства.

Научная новизна работы заключается в применении бюджетной модульной архитектуры с открытой структурой для построения промышленной системы мониторинга, которая сочетает гибкость программной настройки с возможностью интеграции в существующую цифровую инфраструктуру предприятия. Практическая значимость исследования состоит в том, что предложенная система может быть использована для задач предиктивной диагностики, технического обслуживания по состоянию и построения цифровых двойников технологического оборудования.

Материалы и методы.

Объектом исследования являются узлы промышленного оборудования, подверженные вибрационным нагрузкам в условиях реального технологического процесса. Предмет исследования-интеграция сенсорных модулей на базе MEMS-акселерометра в микроконтроллерную платформу с последующей передачей и обра-

боткой данных для задач мониторинга состояния (Ишметьев, 2019).

В качестве вычислительного узла применялся микроконтроллер STM32F407VGT6 на отладочной плате STM32F4 Discovery (STMicroelectronics, 2024). В качестве сенсора использован трёхосевой LIS3DSHTR, обеспечивающий регистрацию линейных ускорений по осям X/Y/Z с программируемыми диапазонами (STMicroelectronics, 2017). Сенсор подключался к МК по шине I²C; обмен с системой верхнего уровня выполнялся по UART через виртуальный COM-порт, что упрощает интеграцию с ПК, SBC и промышленными контроллерами (Tang et al., 2018; Zhou, 2025).

Разработка велась в STM32CubeIDE с использованием HAL/LL-библиотек для инициализации периферии (I²C, UART) и конфигурации регистров LIS3DSHTR (STMicroelectronics). Сторонние сервисы и проприетарные стеки не использовались, что обеспечивает воспроизводимость сборки на любой совместимой машине (STMicroelectronics, 2024; STMicroelectronics, 2017).

Для телеметрии применён легковесный текстовый формат с явными метками компонент, например: AX:1234 AY:-5678 AZ:9012

Такой формат облегчает потоковый разбор, журналирование и быструю диагностику в консоли, а также устойчив к частичным потерям пакетов при передаче по UART (Garcia et al., 2025).

Экспериментальные исследования проводились на производственной площадке ТОО «ОПТИСОРТ» в штатном режиме работы оборудования; система применялась для регистрации вибрационных характеристик отдельных узлов (Ишметьев и др., 2019). Частота опроса и параметры передачи подбирались исходя из требований к устойчивости канала и корректной реконструкции динамики сигнала; логирование велось в потоковом режиме с последующим экспортом в CSV.

Для стабилизации временных рядов и подавления шумов использовались классические методы цифровой обработки: скользящее среднее (окно подбиралось эмпирически в диапазоне малых значений), медианная фильтрация для подавления импульсных выбросов, а также фильтр Калмана как базовый подход к рекурсивной оценке состояний (Чистяков и др., 2020; Welch et al., 2006; Шоназаров и др., 2019). Выбор методов обусловлен балансом «качество сглаживания ↔ сохранение динамики» для задач раннего выявления аномалий (Albarbar et al., 2008; Garcia et al., 2025).

Первичный анализ выполнялся по осевым компонентам ускорения и их агрегатам (нормированные ряды, скользящие метрики разброса, относительное изменение по окнам). Аномалии трактовались как статистически значимые отклонения динамики сигнала относительно локального фона, потенциально связанные с разбалансировкой, износом подшипников и прочими дефектами (Ишметьев и др., 2019; Власов и др., 2018).

Постобработка выполнялась скриптами Python с использованием pandas (парсинг/очистка/агрегация), matplotlib (визуализация), а также экспортом таблиц и графиков для последующего документирования результатов (Чистяков и др., 2020). Такой стек минимизирует барьеры воспроизводимости и позволяет быстро переносить

пайплайн на лабораторные или промышленные узлы (Tang et al., 2018).

Описанная архитектура опирается на открыто доступные компоненты (МК STM32F4, датчик LIS3DSHTR) и стандартные интерфейсы (I²C/UART), что обеспечивает переносимость решений и совместимость с широким спектром верхнеуровневых систем (STMicroelectronics, 2024; STMicroelectronics, 2017). Модульность прошивки (отдельные слои для драйверов, формата пакетов и транспортного уровня) снижает стоимость адаптации под иные сенсоры и режимы эксплуатации (Albarbar et al., 2008; Tang et al., 2018).

На основе представленной методологии особое значение приобретает анализ существующих исследований и подходов, позволяющий сопоставить полученные решения с мировым опытом и обосновать новизну проведённой работы.

Результаты и обсуждение.

Современные исследования в области мониторинга технического состояния оборудования демонстрируют возрастающий интерес к использованию MEMS-акселерометров и технологий промышленного интернета вещей (IIoT). В ряде обзорных работ показано, что MEMS-сенсоры благодаря малым размерам, энергоэффективности и низкой стоимости стали ключевым элементом систем предиктивного обслуживания (Albarbar et al., 2008; Garcia et al., 2025; Benhanifia et al., 2025). В то же время сохраняются проблемы дрейфа показаний и чувствительности к температурным изменениям, что ограничивает их промышленное применение (Ишметьев и др., 2019).

Развитие промышленных сенсорных сетей и беспроводных технологий обеспечило интеграцию систем мониторинга в единую цифровую инфраструктуру предприятий (Tang et al., 2018; Zhou, 2025). Однако высокая стоимость закрытых IIoT-платформ и ограниченная адаптивность остаются факторами, сдерживающими широкое внедрение. Недавние обзоры указывают на необходимость разработки универсальных протоколов передачи данных с минимальными задержками и устойчивостью к потерям пакетов (Behnke et al., 2023).

Значительное внимание уделяется также вопросам точности и стабильности измерений. В исследованиях последних лет рассматриваются методы компенсации дрейфа MEMS-сенсоров и повышения их надёжности в условиях экстремальных температур (Zhang et al., 2026), а также возможности гибридного объединения MEMS-акселерометров с другими технологиями, например GNSS, для мониторинга вибраций в динамических объектах (Paziewski et al., 2025; Carratù et al., 2025). Это подтверждает актуальность поиска решений, обеспечивающих баланс между точностью измерений и экономичностью системы.

Новые обзоры сенсорных технологий в контексте IIoT подчёркивают потребность в комплексных подходах, сочетающих низкую стоимость, гибкость архитектуры и масштабируемость (Abdulhussain et al., 2025). В то же время ряд исследований анализирует новейшие конструкции низкобюджетных MEMS-акселерометров и их применение для вибрационного мониторинга в промышленности (Yaghoubi et al., 2024). Кроме того, современные исследования подтверждают перспективность использования цифровых двойников для поддержки диагностики и анализа системных

данных мониторинга (McCourt et al., 2025). Полученные выводы подтверждают, что использование MEMS-сенсоров в сочетании с открытыми аппаратно-программными платформами остаётся наиболее перспективным направлением развития.

Таким образом, анализ существующих работ показывает, что, несмотря на прогресс в области MEMS-технологий и IoT, остаются нерешёнными задачи обеспечения устойчивости передачи данных, снижения уровня шумов и создания доступных архитектур, легко интегрируемых в промышленную инфраструктуру. Настоящее исследование отвечает на эти вызовы, предлагая недорогую и модульную систему мониторинга, сочетающую базовые методы цифровой фильтрации с возможностью интеграции в процессы предиктивного обслуживания и построения цифровых двойников (Iranshahi et al., 2025).

Результаты проведённой разработки и внедрения прототипа системы мониторинга отражены на рисунках 1 и 2.

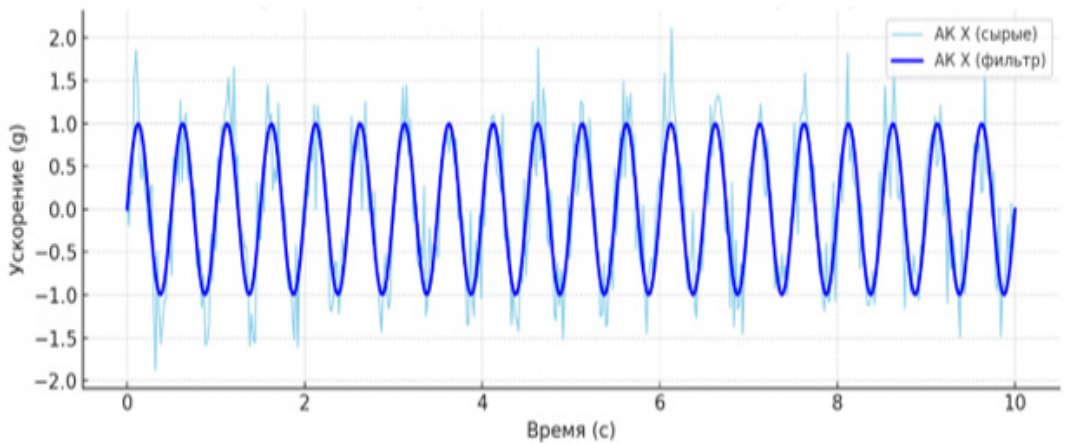


Рис. 1. Вибрации по оси X: до и после фильтрации

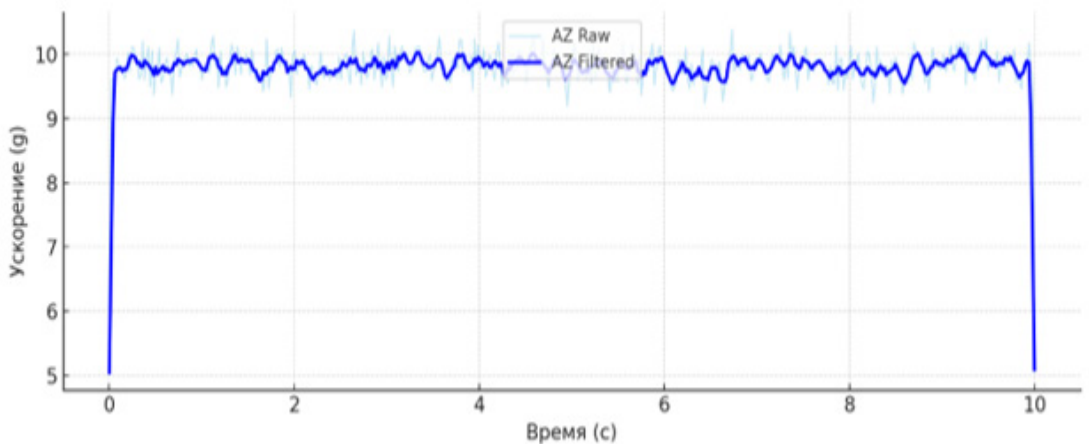


Рис. 2. Вибрации по оси Z (гравитационная составляющая)

Для повышения надёжности оценки вибрационных характеристик была применена фильтрация методом скользящего среднего. На рисунке 3 представлено сравнение сигналов по осям X, Y и Z до и после обработки.

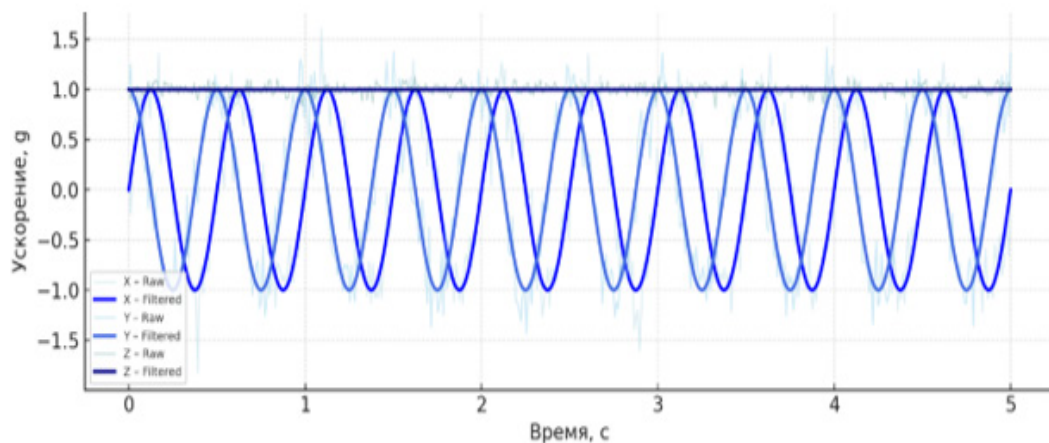


Рис. 3. Сигналы акселерометра до и после фильтрации (скользящее среднее, окно = 5)

Анализ графика показал существенное снижение высокочастотных помех, повышение стабильности сигнала и его пригодности для анализа в задачах диагностики состояния оборудования. В таблице 1 приведены конкретные числовые значения до и после обработки по всем трём осям.

Таблица 1 – Пример сравнения значений до и после фильтрации по осям X, Y, Z

Время, с	X (до)	X (после)	Y (до)	Y (после)	Z (до)	Z (после)
0.200	0.837	0.432	0.280	0.804	1.057	1.022
0.250	0.916	0.627	-0.043	0.571	0.950	1.011
0.300	1.068	0.807	-0.312	0.301	0.991	1.007
0.350	0.885	0.913	-0.680	-0.034	1.017	1.010
0.400	0.507	0.843	-0.859	-0.323	1.026	1.008
0.450	0.318	0.739	-0.828	-0.544	0.966	0.990
0.510	0.028	0.561	-1.119	-0.760	1.014	1.003
0.560	-0.217	0.304	-0.916	-0.880	0.941	0.993
0.610	-0.606	0.006	-0.702	-0.885	0.945	0.978
0.660	-0.851	-0.266	-0.611	-0.835	0.958	0.965

Сопоставление временных рядов «до/после» фильтрации по всем осям подтверждает снижение высокочастотной составляющей и сужение диапазона амплитуд, что особенно заметно для оси X на участках с локальными всплесками (рис. 1, 3). Для оси Z после обработки отчётливо выделяется квазистационарная составляющая, соответствующая гравитационному ускорению, что упрощает интерпретацию динамических отклонений (рис. 2, 3). В совокупности это повышает «читаемость» сигнала

и пригодность для последующей диагностики состояния узлов (Ишметьев и др., 2019; Garcia et al., 2025).

Для формализации улучшений качества сигнала использовались робастные и классические метрики: межквартильный размах (IQR), стандартное отклонение, среднеквадратическое значение (RMS) и размах «пик-к-пику» (peak-to-peak). После фильтрации наблюдается одновременное уменьшение IQR и peak-to-peak при сохранении информативной низкочастотной компоненты, что соответствует целям сглаживания без потери тренда (Welch et al., 2006; Шоназаров, 2019). Такой профиль изменений согласуется с ожидаемым эффектом скользящего среднего/медианной фильтрации при подавлении импульсных выбросов (Чистяков и др., 2020).

На отдельных интервалах исходных данных фиксировались кратковременные отрицательные выбросы по оси Y (см., например, отрезок 0.50–0.66 с в табличной выборке «до»), которые после обработки заметно ослабляются, не искажая основную динамику. Для онлайн-выявления подобных эпизодов целесообразно применять пороговые критерии по z-оценке или отклонению от медианы (MAD) в скользящем окне; это позволяет автоматизировать пометку потенциальных событий (разбалансировка, начальный износ опор) для дальнейшей экспертной интерпретации (Ишметьев и др., 2019; Garcia et al., 2025).

С точки зрения устойчивости канала телеметрии предложенный текстовый формат с метками компонент («AX... AY... AZ...») оказался практичным для потоковой диагностики и журналирования: он обеспечивает предсказуемый разбор в верхнем уровне и сопротивляемость частичным потерям символов без необходимости специализированных декодеров пакетов. В сочетании с UART-соединением это упростило интеграцию с ПК/SBC и ПЛК без доработки коммуникационных стеков (Tang et al., 2018; Zhou, 2025).

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что фильтрационная обработка, применённая в прототипе, повышает чувствительность к ранним признакам деградации (рост дисперсии/переизбыток выбросов) при сохранении вычислительной лёгкости на микроконтроллере. Это делает возможной реализацию пороговой предиктивной диагностики на краевом уровне и последующее включение обработанных признаков в контур технического обслуживания по состоянию и цифровые двойники оборудования (Albarbar et al., 2008; Garcia et al., 2025).

Представленные результаты иллюстрируют работу на одной аппаратной конфигурации и ограниченном временном окне наблюдения. В дальнейшем планируется расширить набор метрик (RMS-скор, куртозис, спектральные индексы), увеличить длительность серий, а также дополнить измерения температурой/акустикой для повышения достоверности суждений о природе аномалий в узлах привода (Ишметьев и др., 2019; Власов и др., 2018).

Заключение.

В рамках проведённого исследования была разработана и реализована архитектура системы промышленного мониторинга, ориентированная на применение в условиях цифровизации производственных процессов и развития концепции промышленного

интернета вещей (IIoT). В качестве аппаратной основы использованы микроконтроллер STM32F407VGT6 (STM32F4 Discovery) и трёхосевой MEMS-акселерометр LIS3DSHTR с интерфейсом I²C, что позволило создать компактное, энергоэффективное и экономически доступное решение для непрерывного контроля вибрационных характеристик оборудования. Конфигурация сенсорного узла и параметры съёма данных обеспечили достаточную частоту дискретизации для регистрации характерных вибрационных компонент, релевантных задачам ранней диагностики.

Ключевым результатом работы является разработка универсального протокола передачи данных через интерфейс UART, обеспечивающего устойчивую и надёжную коммуникацию между сенсорным уровнем и системами верхнего уровня. Предложенный формат телеметрии (маркировка компонент AX/AY/AZ, кадровая структура и контроль целостности) показал достаточную гибкость для интеграции с различными программно-аппаратными платформами, включая системы сбора и обработки данных, SCADA/PLC-уровень и облачные сервисы мониторинга. Это подтверждает возможность использования разработанной архитектуры в распределённых системах промышленного мониторинга без необходимости существенной модификации существующей инфраструктуры и с минимальными требованиями к вычислительным ресурсам на краевом уровне.

Особое внимание в исследовании уделено вопросам повышения качества измерений. Применение методов цифровой обработки сигналов, включая скользящее среднее, медианную фильтрацию и фильтр Калмана, позволило существенно снизить уровень шумов и повысить стабильность регистрируемых сигналов. Анализ полученных временных рядов показал, что фильтрация эффективно подавляет высокочастотные помехи и импульсные выбросы, сохраняя при этом информативную составляющую сигнала, необходимую для диагностики состояния оборудования. Дополнительно оценивались базовые статистические характеристики (дисперсия, межквартильный размах, peak-to-peak), подтвердившие улучшение «читаемости» сигнала после обработки.

Экспериментальная апробация разработанного решения в условиях реального производства (площадка ТОО ОПТИСОРТ) продемонстрировала его работоспособность и практическую применимость. В ходе испытаний было установлено, что система способна фиксировать ранние признаки механических неисправностей, включая разбалансировку и начальные стадии износа подшипников, проявляющиеся в виде локальных аномалий амплитуды и изменения статистических показателей вибрационного сигнала. Выявленные изменения позволяют использовать систему в качестве инструмента ранней диагностики, что является важным фактором повышения надёжности и снижения затрат на обслуживание оборудования.

Важным результатом исследования является подтверждение возможности создания эффективных систем промышленного мониторинга на основе бюджетных аппаратных компонентов. Использование доступных микроконтроллерных платформ и стандартных MEMS-сенсоров позволяет значительно снизить стоимость внедрения по сравнению с традиционными промышленными решениями, сохраняя

при этом достаточный уровень точности и надёжности измерений. Это делает предложенную архитектуру перспективной для широкого применения, включая малые и средние предприятия, где внедрение дорогостоящих систем мониторинга часто затруднено.

С практической точки зрения разработанное решение может быть интегрировано в системы предиктивного обслуживания и использовано в рамках построения цифровых двойников оборудования. Поточковые данные о вибрационных характеристиках могут служить основой для формирования диагностических моделей, настройки пороговых правил и последующего перехода к моделям оценки остаточного ресурса. Таким образом, предложенный подход обеспечивает не только мониторинг текущего состояния, но и создаёт предпосылки для перехода к интеллектуальным системам управления жизненным циклом оборудования с поддержкой удалённой аналитики и централизованного хранения данных.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием как аппаратной, так и программной составляющих системы. В частности, представляется целесообразным расширение набора анализируемых параметров за счёт включения спектральных характеристик (FFT-признаки), куртозиса и RMS-метрик, что позволит повысить чувствительность к различным типам дефектов. Дополнительное повышение информативности может быть достигнуто за счёт интеграции других типов сенсоров, таких как температурные, акустические и токовые датчики, обеспечивающих комплексную оценку состояния оборудования.

Отдельным направлением развития является применение методов машинного обучения для анализа накопленных данных и прогнозирования остаточного ресурса узлов. Использование алгоритмов интеллектуальной обработки позволит перейти от пороговых методов диагностики к более точным и адаптивным моделям, учитывающим нелинейные зависимости и динамику режимов работы. В сочетании с возможностями IIoT это создаёт основу для построения масштабируемых систем интеллектуального технического обслуживания и интеграции с корпоративными системами управления производством.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что предложенная архитектура системы промышленного мониторинга обладает необходимыми характеристиками надёжности, гибкости и экономической эффективности, а также демонстрирует воспроизводимость и адаптивность в реальных условиях эксплуатации, что делает её перспективной для практического внедрения в современных производственных системах.

REFERENCES

Abdeldjalil Benhanifia, Zied Ben Cheikh, Paulo Moura Oliveira, Antonio Valente, José Lima. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector // *Intelligent Systems with Applications*. — Vol. 26. — Article 200501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200501> (in Eng.).

Abdulhussain S.H., Mahmmod B.M., Alwhelat A., Shehada D., Shihab Z.I., Mohammed H.J., Abdulameer T.H., Alsabab M., Fadel M.H., Ali S.K., Abbood G.H., Asker Z.A. & Hussain A. (2025). A Comprehensive Review of Sensor Technologies in IIoT: Technical Aspects, Challenges, and Future Directions. *Computers*. — Vol. 14. — No. 8. Pp. 342. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers14080342> (in Eng.).

Albarbar A., Mekid S., Starr A. & Pietruszkiewicz R. (2008). Suitability of MEMS Accelerometers for Condition



- Monitoring: An experimental study. *Sensors*. — Vol. 8. — No. 2. Pp. 784–799. DOI: <https://doi.org/10.3390/s8020784> (in Eng.).
- Behnke I. & Austad H. (2023). Real-Time Performance of Industrial IoT Communication Technologies: A Review. arXiv preprint. – arXiv:2311.08852. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.08852> (in Eng.).
- Chistjakov D.A., Razinkin V.P. (2020). Sintez i realizacija cifrovogo fil'tra dlja obrabotki vibracionnyh signalov {Synthesis and implementation of digital filter for vibration signals processing}. *Datchiki i sistemy*. — Vol. 1. — No. 243. Pp. 47–51. DOI: <https://doi.org/10.25728/datsys.2020.1.8>. (in Russ.).
- Garcia, J., Rios-Colque, L., Peña, A., & Rojas, L. (2025). Condition Monitoring and Predictive Maintenance in Industrial Equipment: An NLP-Assisted Review of Signal Processing, Hybrid Models, and Implementation Challenges. *Applied Sciences*. — Vol. 15. — No. 10. Pp. 5465. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15105465> (in Eng.).
- Ishmet'ev E.N., Chistjakov D.V., Panov A.N., Bodrov E.Je., & Vrabel M. (2019). Sistemy vibrozashhity, vibrokontrolja i vibrodiagnostiki promyshlennogo oborudovanija {Vibration protection, vibration monitoring, and vibration diagnostics systems for industrial equipment}. *Jelektrotehnicheskie sistemy i kompleksy*. — Vol. 1. — No. 42. Pp. 67–73 (in Russ.).
- K. Mc Court, X. Mc Court, S. Du and Z. Zeng. (2025). Use Digital Twins to Support Fault Diagnosis from System-Level Condition-Monitoring Data. *IEEE 22nd International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Monastir, Tunisia. Pp. 1064-1069. DOI: <https://doi.org/10.1109/SSD64182.2025.10989951> (in Eng.).
- Kamran Iranshahi, Joshua Brun, Tim Arnold, Thomas Sergi, Ulf Christian Müller. (2025) Digital twins: Recent advances and future directions in engineering fields // *Intelligent Systems with Applications*. — Vol. 26. — Article 200516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2025.200516> (in Eng.).
- Marco Carratù, Vincenzo Gallo, Paolo Sommella, Antonio Pietrosanto, Marcantonio Catelani, Lorenzo Ciani, Gabriele Patrizi, Roberto Singuaroli. (2025). Development of a methodology for MEMS accelerometer health state estimation. *Measurement: Sensors*. — Vol. 38. — Article 101604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101604> (in Eng.).
- Paziewski J., Sieradzki R., Rapinski J., Tomaszewski D., Stepniak K., Geng J., Li G. (2025). Integrating low-cost GNSS and MEMS accelerometer for precise dynamic displacement monitoring. *Measurement*. — Vol. 242(Part A). — Article 115798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115798> (in Eng.).
- Shonazarov P.M., Holov F.T., Evsjutin O.O., Tursunbadalov U.A. (2019). Primenenie fil'tra Kalmana v zadache tehničkoj diagnostiki dvigatelej vnutrennego sgoranija {Application of the kalman filter in the problem of technical diagnostics of internal combustion engines} // *Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radiojelektronika*. — Vol. 19. — No. 1. Pp. 152–159. DOI: <https://doi.org/10.14529/ctcr190115> (in Russ.).
- STMicroelectronics. (2017). LIS3DSH MEMS digital output motion sensor: high-performance three-axis accelerometer. Datasheet. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3dsh.pdf> (in Eng.).
- STMicroelectronics. (2024). STM32F405/407 Reference Manual (RM0090). https://www.st.com/resource/zh/reference_manual/DM00031020.pdf (in Eng.).
- Tang, X., Wang, X., Cattley, R., Gu, F., & Ball, A. D. (2018). Energy Harvesting Technologies for Achieving Self-Powered Wireless Sensor Networks in Machine Condition Monitoring: A Review. *Sensors*. — Vol. 18. — No. 12. Pp. 4113. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18124113> (in Eng.).
- Vlasov A.I., Grigor'ev P.V., Krivoshein A.I. (2018). Model' prediktivnogo obsluzhivanija oborudovanija s primeneniem besprovodnyh sensoryh setej {Model of predictive equipment maintenance with application of wireless touch networks} // *Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh system*. — Vol. 2. — No. 22. Pp. 26–35. DOI: <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2018-2-4> (in Rus.).
- Welch G. & Bishop G. (2006). An Introduction to the Kalman Filter. UNC Technical Report TR 95–041. Chapel Hill: University of North Carolina. https://www.cs.unc.edu/~welch/media/pdf/kalman_intro.pdf (in Eng.).
- Yaghoubi S., Binali R., Demirpolat H., Kuntoğlu M., Makhesana M.A., Sayın Kul B. (2024). A Comprehensive Review on Low-Cost MEMS Accelerometers for Vibration Measurement: Types, Novel Designs, Performance Evaluation, and Applications // *Journal of Molecular and Engineering Materials*. — Vol. 12. — No. 3. Article 2430002. DOI: <https://doi.org/10.1142/S225123732430002X> (in Eng.).
- Zhang C., Li A., Huang J., Zhang J., Huang H., Su Y., Wang L., Liu Y., Chen D., Tian F., Wang Y., Wu Z. (2026). Calibration-free low-drift MEMS piezoelectric accelerometer for high-temperature vibration monitoring. *Measurement*. — Vol. 257(Part B). — Article 118694. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.118694> (in Eng.).
- Zhou W. (2025). Applications of MEMS sensors in industrial equipment condition sensing and the Internet of Things // *International Scientific Technical and Economic Research*. — Vol. 3. — No. 4. Pp. 121–128. DOI: <https://doi.org/10.71451/ISTAER2560> (in Eng.).

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Собственник:

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

Главный редактор:

Колесникова Катерина Викторовна

Ответственный редактор:

Мрзабаева Раушан Жалиевна

Компьютерная верстка:

Калабай Замзагуль Ертугановна

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

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Подписано в печать 30.06.2026.

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