

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 Тоқсуғаевич — 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 Максutowна 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 суалғет 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 Токсужаевич — 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 Максустовна 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)

Алимурабаев 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. МаксUTOBA, 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. Уманова, 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 ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ 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, P. 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 KAZCAUSAL: 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. 78–91

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

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.006>

IRSTI / FTAXP / МРПТИ / 28.23.02

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING

*S.A. Yesniyazova**, *S.T. Kaimov*

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sabinaesn@gmail.com

Sabina A. Yesniyazova — Master’s student in Software Engineering, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: sabinaesn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0900-512X>;

Suleimen T. Kaimov — PhD in Mechanics, associate professor, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-4255-6926>.

© S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov

Abstract. Predictive maintenance for heavy-duty trucks is difficult because public failure datasets are rare and accurate machine-learning models are often hard to interpret. This study evaluates a Random Forest classifier with SHAP explanations on the SCANIA Component X dataset, a real-world multivariate time-series dataset collected from more than 33,000 trucks. The objective is to predict failure risk from the last available vehicle readout and to identify the operational variables that drive model decisions. The data were aggregated to one record per vehicle, missing values were imputed by training-set medians, and class imbalance was addressed by cost-sensitive learning and threshold optimization. On the validation set, the model achieved 0.853 accuracy, 0.447 recall, 0.315 precision and 0.370 F1-score for the failure class. SHAP analysis showed that a small set of histogram and counter variables carried most of the predictive signal.

Keywords: predictive maintenance, explainable artificial intelligence, SHAP, Random Forest, heavy-duty trucks; SCANIA; class imbalance

For citation: S.A. Yesniyazova, S.T. Kaimov (2026). Predictive maintenance of heavy-duty trucks using explainable machine learning // International journal of information and communication technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 78–91. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.006>. (In Eng.).

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

ТҮСІНДІРІЛЕТІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП АУЫР



ЖҮК КӨЛІКТЕРІНЕ БОЛЖАМДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ**С.А. Есниязова*, С.Т. Каимов**

Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sabinaesn@gmail.com

Сабина А. Есниязова — бағдарламалық қамтамасыз ету инженериясы магистрі, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, ҚазақстанE-mail: sabinaesn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0900-512X>;**Сулеймен Т. Каимов** — механика PhD, қауымдастырылған профессоры, Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан<https://orcid.org/0000-0002-4255-6926>.

© С.А. Есниязова, С.Т. Каимов

Аннотация. Ауыр жүк көліктеріне болжамды техникалық қызмет көрсету күрделі міндет болып табылады, өйткені ақаулар туралы ашық деректер жиындары сирек кездеседі, ал дәл машиналық оқыту модельдерін түсіндіру жиі қиын. Бұл зерттеу 33 000-нан астам жүк көлігінен жиналған нақты SCANIA Component X көпөлшемді уақыттық деректер жиынында Random Forest жіктеуішін және SHAP түсіндіру әдісін бағалайды. Зерттеудің мақсаты – әр көлік бойынша соңғы қолжетімді өлшем негізінде ақау қаупін болжау және модель шешіміне әсер ететін эксплуатациялық белгілерді анықтау. Деректер бір көлікке бір жазбаға дейін біріктірілді, жетіспейтін мәндер оқыту жиынының медианаларымен толтырылды, ал класстар теңгерімсіздігі класстарды салмақтау және шешім шегін оңтайландыру арқылы ескерілді. Валидациялық жиында модель дәлдігі 0,853, толықтығы 0,447, оң класс дәлдігі 0,315 және F1-көрсеткіші 0,370 болды. SHAP талдауы негізгі болжамдық ақпарат аз санды гистограммалық және санауыш белгілерінде шоғырланғанын көрсетті.

Түйінді сөздер: болжамды техникалық қызмет, түсіндірілетін жасанды интеллект, SHAP, Random Forest, ауыр жүк көліктері, SCANIA, класстар теңгерімсіздігі

Дәйексөздер үшін: С.А. Есниязова, С.Т. Каимов (2026). Түсіндірілетін машиналық оқытуды қолдана отырып ауыр жүк көліктеріне болжамды техникалық қызмет көрсету // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. Б. 78–91. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.006>. (Ағыл. тіл.).

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

ПРЕДИКТИВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ГРУЗОВИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЯСНИМОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

С.А. Есниязова*, С.Т. Каимов

Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: sabinaesn@gmail.com

Сабина А. Есниязова — студент магистратуры программной инженерии, Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: sabinaesn@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0900-512X>;

Сулеймен Т. Каимов — PhD механики, ассоциированный профессор, Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0000-0002-4255-6926>.

© С.А. Есниязова, С.Т. Каимов

Аннотация. Предиктивное техническое обслуживание тяжёлых грузовиков является сложной задачей, поскольку открытые наборы данных об отказах встречаются редко, а точные модели машинного обучения часто трудно интерпретировать. В работе оценивается классификатор Random Forest с объяснениями SHAP на наборе данных SCANIA Component X, собранном более чем с 33 000 грузовиков. Цель исследования состоит в прогнозировании риска отказа по последнему доступному считыванию по каждому транспортному средству и в выявлении эксплуатационных признаков, влияющих на решения модели. Данные были агрегированы до одной записи на автомобиль, пропущенные значения заменялись медианами обучающей выборки, а дисбаланс классов учитывался с помощью взвешивания классов и оптимизации порога. На валидационной выборке модель достигла точности 0,853, полноты 0,447, точности положительного класса 0,315 и F1-меры 0,370 для класса отказа. Анализ SHAP показал, что основная прогностическая информация сосредоточена в небольшой группе гистограммных и счётчиковых признаков.

Ключевые слова: предиктивное обслуживание, объяснимый искусственный интеллект, SHAP, Random Forest, тяжёлые грузовики, SCANIA, дисбаланс классов

Для цитирования: С.А. Есниязова, С.Т. Каимов (2026). Предиктивное техническое обслуживание тяжёлых грузовиков с использованием объяснимого машинного обучения // Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 78–91. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.006>. (На англ.).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Modern industrial transport depends on complex mechanical and electronic systems. Unexpected failures in such systems create downtime, safety risks and repair costs, while scheduled preventive maintenance can lead to unnecessary interventions. Predictive maintenance addresses this problem by using sensor and service data to estimate the probability of future failure and to support maintenance before breakdowns occur. Systematic reviews show that machine-learning methods are now widely used in predictive



maintenance because they can learn non-linear relationships in operational data and can be updated when new fleet information becomes available (Carvalho et al., 2019; Zonta et al., 2020).

The object of this study is the SCANIA Component X dataset, a real-world dataset for an anonymized engine component from heavy-duty trucks. The subject of the study is failure prediction from aggregated sensor-derived features and the interpretation of model decisions. The aim is to evaluate whether a relatively transparent tree-based baseline can detect failures under strong class imbalance and whether SHAP explanations can identify the most influential operational variables. The main objectives are to prepare a binary learning dataset, train a Random Forest model, optimize the decision threshold for the failure class and interpret the model at both global and local levels.

The topic is relevant because industrial failure data are rarely released publicly. Many prognostic studies rely on simulated benchmark data, such as the C-MAPSS turbofan dataset, which is valuable for method development but does not fully reproduce the noise, irregular sampling and repair-label uncertainty of operating fleets (Saxena et al., 2008). The SCANIA Component X dataset is therefore important because it contains real fleet telemetry, repair information and vehicle specifications for more than 33,000 trucks (Kharazian et al., 2025). Similar work on heavy-duty vehicle batteries has shown that sparse and irregular workshop-collected data create practical modelling challenges that differ from controlled simulation settings (Voronov et al., 2020).

The research hypothesis is that a cost-sensitive Random Forest, although not expected to produce perfect failure detection, can identify a useful subset of at-risk trucks and can be made interpretable with SHAP. This hypothesis is tested on the validation data using precision, recall and F1-score for the failure class rather than accuracy alone. The contribution of the article is a compact and reproducible baseline for the SCANIA Component X data, together with an explanation of why some failures are detected and why others are missed.

The scientific novelty lies in using the recently published SCANIA Component X data as a reproducible case for balancing prediction quality and explanation quality. Many industrial studies report high predictive scores on proprietary datasets, but their data and preprocessing decisions cannot be independently inspected. Here, the selected baseline is deliberately conservative: it does not use the hidden test labels, does not create synthetic failure records and does not use the full time series. This design makes the limitations visible. It also clarifies which part of the prediction task can be solved from one final readout and which part probably requires richer temporal information.

Materials and research methods.

Research material

The research material is the SCANIA Component X dataset published in Scientific Data and made publicly available through the Swedish National Data Service (Kharazian et al., 2025). The dataset combines three groups of information: operational readouts from electronic control units, workshop repair records and anonymized vehicle specifications. The component is called Component X for confidentiality reasons, but the data preserve

the temporal and operational patterns needed for predictive maintenance modelling.

The operational file contains a vehicle identifier, a relative time step and 105 anonymized numerical features. Six variables are stored as histograms that represent sensor distributions across operating ranges, and eight variables are cumulative numerical counters. The source paper reports that the counters are positively correlated, which suggests that they represent related aspects of component use. Missing values are rare; the highest missing proportion for a single feature is below one percent, so simple imputation is sufficient for a baseline model.

Table 1 – Class distribution across dataset partitions

Partition	Class	Count	Percentage (%)
Training	0 — Healthy	21,278	90.4
Training	1 — Failed	2,272	9.6
Validation	0 — More than 48 steps to failure	4,910	97.3
Validation	1 — 24–48 steps to failure	14	0.3
Validation	2 — 12–24 steps to failure	16	0.3
Validation	3 — 6–12 steps to failure	30	0.6
Validation	4 — Fewer than 6 steps to failure	76	1.5
Test	0 — More than 48 steps to failure	4,903	97.2
Test	1 — 24–48 steps to failure	26	0.5
Test	2 — 12–24 steps to failure	15	0.3
Test	3 — 6–12 steps to failure	41	0.8
Test	4 — Fewer than 6 steps to failure	60	1.2

Source: compiled from (Kharazian et al., 2025).

Research stages and preprocessing

The study followed five stages. First, the dataset structure and class labels were inspected. Second, the raw time-series records were reduced to one final readout per vehicle to align the training representation with the validation and test structure. This choice removes sequential information, but it provides an interpretable baseline and avoids mixing different temporal formats. Third, missing values were replaced by the median of each feature calculated on the training set only. The same medians were then applied to validation data to prevent data leakage.

Fourth, the binary classification target was formed. In the training data, class 0 represents vehicles without a recorded Component X failure and class 1 represents vehicles with a failure. In the validation data, the original five-class time-to-failure labels were mapped to a binary target by treating classes 1–4 as failures. Fifth, the class imbalance was handled by cost-sensitive learning. The final Random Forest used class weights of $\{0:1, 1:5\}$, so that errors on failed cases received a higher penalty. Synthetic oversampling was not used because the goal was to preserve the original industrial data distribution; SMOTE

and related methods can be useful but may create artificial samples that are hard to interpret in anonymized sensor spaces (Chawla et al., 2002).

Model and evaluation methods

Random Forest was selected as the main classifier because it performs well on high-dimensional tabular data, is robust to noisy features and does not require feature scaling. A Random Forest combines many decision trees grown on bootstrap samples and averages their decisions by majority voting, which reduces the variance of individual trees (Breiman, 2001). The model was implemented in Python using scikit-learn (Pedregosa et al., 2011).

Because failures are rare, accuracy was not used as the main criterion. A classifier that predicts every vehicle as healthy would obtain high accuracy while detecting no failures. Therefore, the evaluation focused on precision, recall and F1-score for the failure class. Precision measures the proportion of predicted failures that are true failures, recall measures the proportion of actual failures detected, and F1-score is the harmonic mean of precision and recall. The decision threshold was selected from the precision–recall curve on the validation set.

Table 2 – Hyperparameters of the final Random Forest model

Parameter	Value	Rationale
n_estimators	300	Stability of ensemble predictions
max_depth	None	Unrestricted trees gave the best F1-score
min_samples_leaf	2	Allows finer splits while reducing single-sample leaves
class_weight	{0:1, 1:5}	Cost-sensitive learning for rare failures
random_state	42	Reproducibility
Decision threshold	0.199	Selected from the precision–recall curve

No feature scaling was applied because decision trees split variables by thresholds and are not sensitive to linear rescaling in the same way as distance-based or gradient-based models. Vehicle identifiers and time-step identifiers were removed from the feature matrix to avoid learning direct identifiers rather than operational patterns. The validation data were not used for training the trees; they were used only for threshold selection and evaluation. This separation is important because threshold tuning on the same observations used to fit the model can lead to over-optimistic estimates of performance.

The research questions were formulated as follows. RQ1 asks whether a Random Forest classifier can identify a practically useful share of Component X failures under the original imbalance of the dataset. RQ2 asks which anonymized operational variables have the strongest effect on the model output. RQ3 asks whether local explanations can clarify false-negative cases that are particularly important for maintenance practice. The corresponding hypothesis is that interpretable tree-based learning will improve failure detection over a majority-class baseline and will expose a limited set of variables that dominate the predictions.

Explainability method

SHAP was used to explain the trained model. SHAP is based on Shapley values from cooperative game theory and estimates how much each feature contributes to a prediction

relative to the model's average output (Lundberg et al., 2017). It is appropriate for this study because the same framework supports both global interpretation, where features are ranked by mean absolute contribution, and local interpretation, where one vehicle-level decision can be decomposed into positive and negative feature effects.

For tree-based models, the TreeSHAP algorithm computes exact attributions efficiently by using the internal structure of decision trees (Lundberg et al., 2020). In this study, SHAP was calculated on a stratified validation sample of 1,000 vehicles while preserving the original class distribution. The analysis used a summary plot, mean absolute SHAP ranking, dependence plots for the leading variables and a local waterfall plot for a missed failure case.

Results and discussion.

The predictive maintenance literature provides the methodological background for this study. (Carvalho et al., 2019) reviewed machine-learning methods for predictive maintenance and showed that tree-based methods, including Random Forest, are common because they combine strong tabular performance with practical robustness (Zonta et al., 2020). Placed predictive maintenance in the Industry 4.0 context and emphasized that data-driven maintenance depends not only on algorithms but also on the availability and quality of industrial data. These reviews justify the use of a supervised learning baseline but also highlight the scarcity of public real-world datasets.

Ensemble methods are especially relevant to industrial data (Breiman, 2001). Introduced Random Forest as an ensemble of randomized decision trees. Boosting methods provide an alternative family: (Friedman, 2001) formulated gradient boosting as additive function approximation (Chen et al., 2016) introduced XGBoost as a scalable implementation that became widely used for structured data. These methods are strong candidates for predictive maintenance, but they often require additional interpretation tools when used in operational decision support.

Deep learning is important when temporal dependencies are central (Hochreiter et al., 1997) introduced Long Short-Term Memory networks, which are designed to retain information over sequences (Khan et al., 2018). Reviewed deep learning applications in system health management and showed that neural architectures can model degradation patterns when sufficient sequence data are available. More recent studies, such as (Li et al., 2022; Metta et al., 2024), demonstrate the relevance of CNN-LSTM, attention and pseudo-labeling approaches for remaining-useful-life and truck-maintenance tasks. In the present article, however, a tree-based baseline is intentionally used because the training data are reduced to the last readout and because interpretability is a central requirement.

Explainability has become a major condition for applying machine learning in technical systems (Guidotti et al., 2018). Reviewed methods for explaining black-box models and argued that interpretability is necessary when models support decisions with practical consequences (Lundberg et al., 2017). Introduced SHAP as a unified feature attribution framework (Lundberg et al., 2020) extended the approach for tree models. Predictive-maintenance studies have adopted similar tools in different domains (Kargar-Sharif-Abad et al., 2024): used SHAP with survival-analysis models for SCANIA

maintenance data (Brito et al., 2022) applied explainable AI to rotating machinery fault detection and diagnosis, and (Astolfi et al., 2023) used explainable AI for wind turbine condition monitoring. The gap addressed by this article is the combination of a simple failure-classification baseline with SHAP explanations on the publicly released SCANIA Component X dataset.

The reviewed literature also shows a methodological trade-off. Sequence models can use richer temporal information, but they are usually harder to explain and require careful construction of time windows. Tree ensembles can lose temporal detail when the data are aggregated, but they are easier to train on tabular representations and can be interpreted with exact tree-based SHAP values. This study therefore does not claim that Random Forest is the best possible model for the dataset. Instead, it treats Random Forest as a transparent benchmark against which later survival, boosting or recurrent models can be compared.

Classification performance

The final model was evaluated on the internal validation set after mapping the failure-related validation classes to a binary target. The binary validation set contained 4,710 vehicles: 4,256 healthy cases and 454 failure cases. Using the optimized threshold of 0.199, the model achieved an overall accuracy of 0.853. For the failure class, recall was 0.447, precision was 0.315 and F1-score was 0.370. These values are modest in absolute terms, but they are more useful than a majority-class baseline that would label all vehicles as healthy and detect no failures.

The confusion matrix shows the practical trade-off. The model detected 203 of 454 failed vehicles, missed 251 failures and incorrectly flagged 441 healthy vehicles. This means that about 45% of failures were detected, but false alarms remained frequent. In a predictive maintenance setting, the acceptability of this trade-off depends on the relative cost of inspection and unexpected breakdown. If missed failures are more expensive than unnecessary inspections, a lower threshold can be justified; if inspection capacity is limited, a higher threshold may be preferable.

Table 3 – Classification performance on the internal validation set

Metric	Healthy class	Failure class	Macro average	Weighted average
Precision	0.939	0.315	0.627	0.879
Recall	0.900	0.447	0.674	0.853
F1-score	0.919	0.370	0.644	0.866
Support	4,256	454	4,710	4,710
Accuracy	-	-	-	0.853

SHAP feature importance and interactions

The SHAP analysis indicates that the model relies on a small subset of variables. The strongest features include 167_1, 272_0, 158_9, 397_6 and 167_2. Their mean absolute SHAP values are higher than most remaining features, which suggests that useful predictive information is concentrated rather than evenly distributed across all 105 features. This finding is consistent with the practical observation that only some operating regimes

may be informative for a specific component.

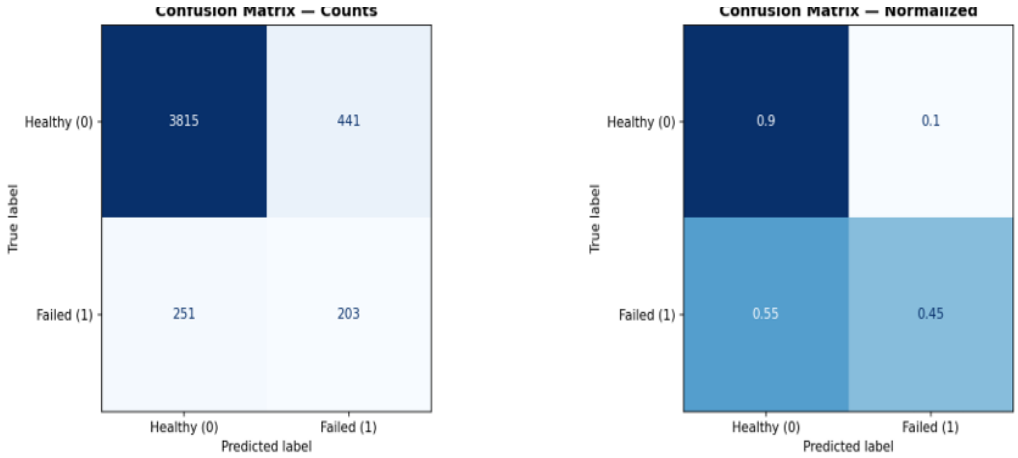


Fig. 1. Confusion matrix on the internal validation set

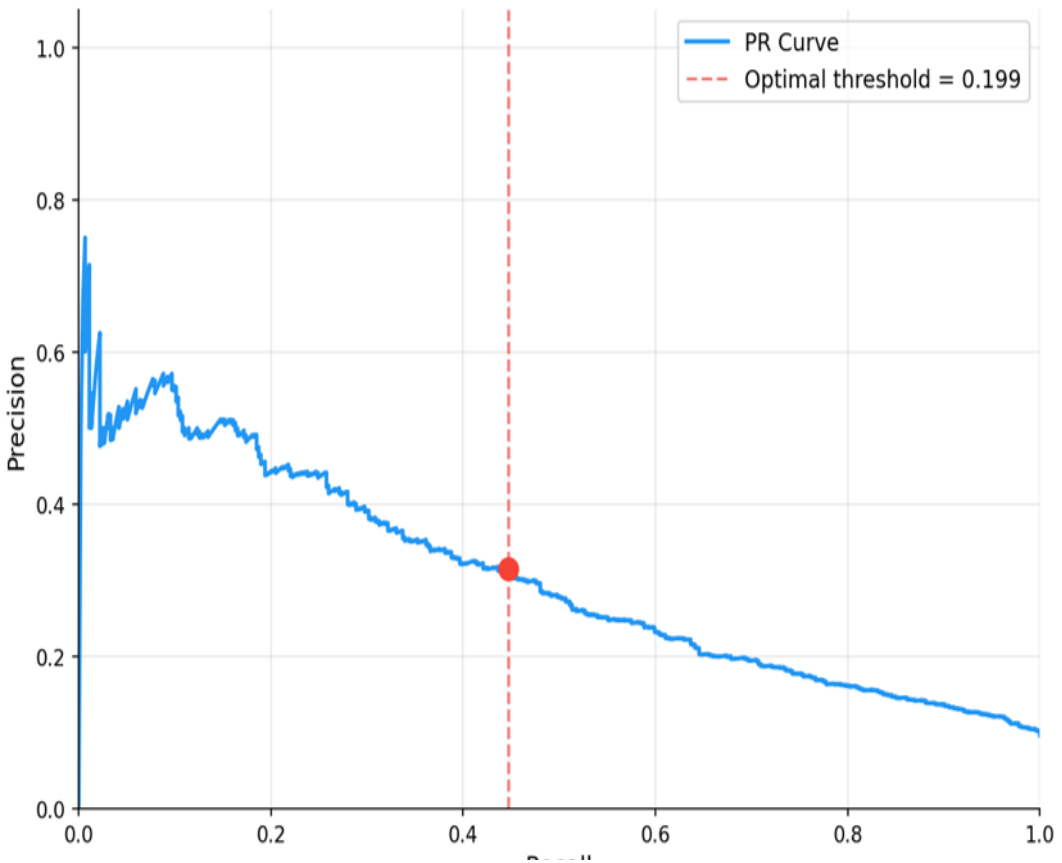


Fig. 2. Precision–recall curve for the failure class

The direction of the SHAP effects is also important. For many leading variables,

low values tend to push the model output toward the failure class, while higher values tend to push it toward the healthy class. Since the variables are anonymized counters and histogram bins, this should not be interpreted as direct physical causality. A plausible explanation is that low accumulated values represent newer vehicles, vehicles with interrupted histories, counter resets or unusual operating profiles (Kharazian et al., 2025) note that software updates and post-processing can affect counter continuity, so low counter values may partly represent data-history effects rather than simple mechanical wear.

The dependence plots show a saturation pattern. For 167_1 and 272_0, SHAP contributions are positive at low raw values but decrease quickly and become almost flat after approximately 0.5×10^7 . This indicates that the model mainly uses these features to distinguish vehicles with limited recorded operational history from vehicles with sufficient history to be treated as lower risk. The color coding of interacting variables suggests weak but consistent interactions between related histogram bins.

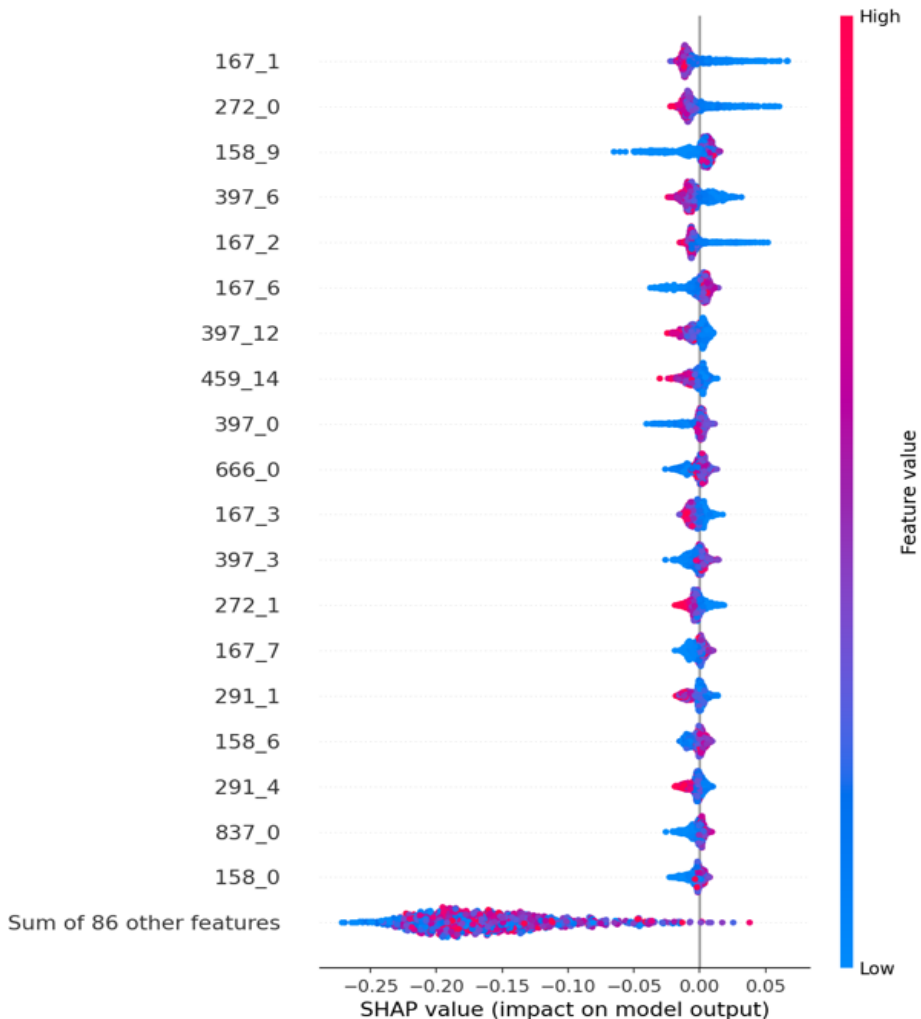


Fig. 3. SHAP summary plot for the leading features

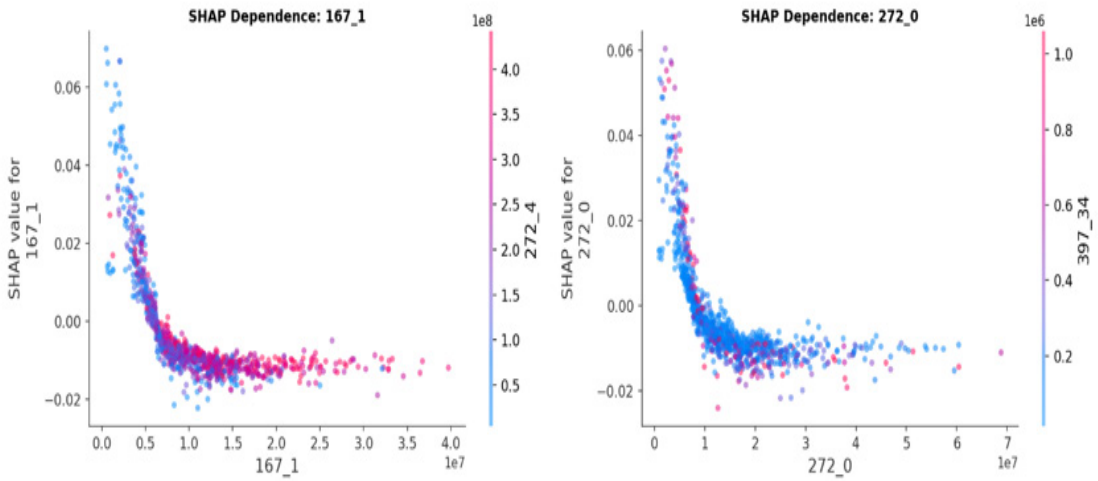


Fig. 4. SHAP dependence plots for the two leading features

Local explanation of a missed failure

The local explanation illustrates both the value and the limits of the model. The selected example is a failed vehicle whose predicted failure probability was 0.056, below the operating threshold of 0.199. Therefore, the case was classified as healthy even though it was a true failure. The waterfall plot shows that the prediction was pushed downward mainly by the combined effect of many small features, while only a few leading variables contributed weakly toward the failure class.

This case is useful because it explains why the error occurred. The values of important variables such as 167_1 and 272_0 fall in the flatter region of the dependence plots, where the model treats the vehicle as similar to many healthy vehicles. In other words, the available feature representation did not contain a strong signal for this failure. This supports the conclusion that further improvements may require either richer telemetry or models that use the full time series rather than only the last readout.

Limitations and practical implications

Several limitations should be considered when interpreting the results. First, the model uses only the last readout per vehicle. This makes the learning problem consistent across dataset splits, but it removes trends, sudden changes and degradation trajectories that could be informative. Second, the component and variables are anonymized, which protects industrial confidentiality but prevents direct engineering interpretation of individual features. Third, the threshold was optimized for F1-score, while real maintenance planning may require an economic objective that includes inspection cost, downtime cost and spare-part availability.

The validation results should therefore be interpreted as a decision-support baseline rather than a deployment-ready system. A practical implementation would need calibration, monitoring of false alarms, integration with workshop capacity and periodic retraining as the fleet changes. The model would also need to be evaluated on the held-out test set and,

ideally, on later operational data collected after the model was developed. Such external validation is necessary because failure distributions can shift when vehicles, routes, software versions or maintenance practices change.



Fig. 5. SHAP waterfall plot for a missed failure case

Despite these limitations, the analysis has practical value. The threshold can be moved along the precision–recall curve to match different operational priorities. For example, a fleet operator that wants to avoid roadside failures may accept more false alarms, while a workshop with limited inspection capacity may prefer a stricter threshold. The SHAP explanations can support this process by showing whether alerts are driven by stable patterns or by unusual feature combinations. In this role, explainability helps engineers decide when to trust a warning, when to request additional inspection and when to collect better signals for future models.

Conclusion.

This study evaluated an explainable machine-learning approach for predictive maintenance of heavy-duty trucks using the SCANIA Component X dataset. The aim, objectives and methods were implemented through a pipeline that aggregated each vehicle to its final readout, imputed missing values, trained a cost-sensitive Random Forest, optimized the decision threshold and interpreted the predictions with SHAP. The approach is simple enough to serve as a baseline but still reflects practical constraints of industrial data, including strong class imbalance and anonymized variables.

The main empirical result is that the model achieved 0.853 accuracy, 0.447 recall, 0.315 precision and 0.370 F1-score for the failure class on the internal validation set. The model is not highly accurate for failures, but it detects a meaningful subset of failures that a naive majority-class classifier would miss entirely. This is relevant for maintenance decision support, where even partial early warning can be useful if the inspection cost is lower than the cost of breakdown.

The main interpretive result is that SHAP revealed a concentrated feature structure and an inverse relationship between some counter or histogram values and predicted failure risk. Lower values of several influential variables increased failure probability, while higher values often reduced it. The dependence plots showed saturation, meaning that the model uses these variables primarily as threshold-like indicators. The local missed-failure explanation further showed that SHAP can identify why a specific case was not detected, but it cannot compensate for information missing from the feature set.

The practical implication is that the model should be used as decision support rather than as an automatic maintenance rule. The threshold can be adjusted depending on inspection capacity and the cost of missed failures. Future work should evaluate sequence-aware models, including LSTM-based and CNN-LSTM approaches, survival-analysis formulations and hybrid models that combine failure probability with time-to-failure estimation. Another important direction is validation with maintenance engineers, because model explanations must correspond to operational knowledge before deployment in safety-relevant transport systems.

REFERENCES

- Astolfi, D., De Caro, F., & Vaccaro, A. (2023). Condition monitoring of wind turbine systems by explainable artificial intelligence techniques. *Sensors*. — Vol. 23. — No. 12. Pp. 5376. <https://doi.org/10.3390/s23125376> [In Eng.].
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*. — Vol. 45. — No. 1. Pp. 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324> [In Eng.].
- Brito L.C., Susto G.A., Brito J.N., & Duarte M.A.V. (2022). An explainable artificial intelligence approach for unsupervised fault detection and diagnosis in rotating machinery // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — Vol. 163. — Article 108105. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2021.108105> [In Eng.].
- Carvalho T.P., Soares F.A.A.M.N., Vita R., Francisco R.P., Basto J.P. & Alcalá S.G.S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance // *Computers & Industrial Engineering*. — Vol. 137. — Article 106024. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024> [In Eng.].
- Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O. & Kegelmeyer W.P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*. — Vol. 16. — Pp 321–357. <https://doi.org/10.1613/jair.953> [In Eng.].
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. Pp. 785–794. Association for Computing



Machinery. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785> [In Eng.].

Friedman J.H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, — Vol. 29. — No. 5. Pp. 1189–1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451> [In Eng.].

Guidotti, R., Monreale, A., Ruggieri, S., Turini, F., Giannotti, F., & Pedreschi, D. (2018). A survey of methods for explaining black box models. *ACM Computing Surveys*. — Vol. 51. — No. 5. Pp. 93. <https://doi.org/10.1145/3236009> [In Eng.].

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*. — Vol. 9. — No. 8. Pp. 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735> [In Eng.].

Kargar-Sharif-Abad, M., Kharazian, Z., Miliou, I., & Lindgren, T. (2024). SHAP-driven explainability in survival analysis for predictive maintenance applications. In *Proceedings of HAI5.0: Embracing Human-Aware AI in Industry 5.0, Workshop at ECAI 2024, Santiago de Compostela, Spain*. [In Eng.].

Khan, S., & Yairi, T. (2018). A review on the application of deep learning in system health management. *Mechanical Systems and Signal Processing*. — Vol. 107. — Pp. 241–265. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.024> [In Eng.].

Kharazian, Z., Lindgren, T., Magnússon, S., Steinert, O. & Andersson Reyna, O. (2025). SCANIA Component X dataset: A real-world multivariate time series dataset for predictive maintenance // *Scientific Data*. — Vol. 12. — Pp. 493. <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04802-6> [In Eng.].

Li H., Wang Z., & Li Z. (2022). An enhanced CNN-LSTM remaining useful life prediction model for aircraft engine with attention mechanism // *PeerJ Computer Science*, 8, e1084. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1084> [In Eng.].

Lundberg S.M., & Lee S.I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions // *Advances in Neural Information Processing Systems*. — Vol. 30. Pp. 4765–4774. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/hash/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Abstract.html> [In Eng.].

Lundberg S.M., Erion G., Chen H., DeGrave A., Prutkin J.M., Nair B., Katz R., Himmelfarb J., Bansal N., & Lee S.I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees // *Nature Machine Intelligence*. — Vol. 2. — No. 1. Pp. 56–67. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9> [In Eng.].

Metta C., Gregnanin M., Papini A., Galfrè S.G., Fois A., Morandin F., Fantozzi M., & Parton M. (2024). Achieving predictive precision: Leveraging LSTM and pseudo labeling for Volvo's Discovery Challenge at ECML-PKDD 2024. *arXiv:2409.13877*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.13877> [In Eng.].

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python // *Journal of Machine Learning Research*. — Vol. 12. — Pp. 2825–2830. <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html> [In Eng.].

Saxena A., Goebel K., Simon D. & Eklund N. (2008). Damage propagation modeling for aircraft engine run-to-failure simulation // *In Proceedings of the 2008 International Conference on Prognostics and Health Management* Pp. 1–9. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PHM.2008.4711414> [In Eng.].

Voronov S., Frisk E. & Krysander M. (2020). Predictive maintenance of lead-acid batteries with sparse vehicle operational data // *International Journal of Prognostics and Health Management*. — Vol. 11. — No. 1. Pp. 1–18. <https://doi.org/10.36001/ijphm.2020.v11i1.2608> [In Eng.].

Zonta, T., da Costa, C.A., da Rosa Righi, R., de Lima, M.J., da Trindade, E.S., & Li, G.P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0 // *A systematic literature review*. *Computers & Industrial Engineering*. — Vol. 150. — Article 106889. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889> [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).