

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 Yeskendirova** — 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 Sansyzbay** — 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 Максудовна 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 сулет 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 Максугуона 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 SYSTEM .....9

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

EARLY DETECTION OF HYDROLOGICAL HAZARDS BASED ON SPATIOTEMPORAL ANALYSIS .....25

## 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 USAGE .....36

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

HYBRID STACKING FRAMEWORK FOR CROP CLASSIFICATION USING UAV DATA .....50

**A.K. Aitim**

JOINT MORPHOLOGICAL DISAMBIGUATION AND POS TAGGING FOR AGGLUTINATIVE LANGUAGES .....62

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

PREDICTIVE MAINTENANCE OF HEAVY-DUTY TRUCKS USING EXPLAINABLE MACHINE LEARNING .....78

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

DATA COMPRESSION ALGORITHM BASED ON WAVELET TRANSFORMER; ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN MATLAB .....92

**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 MODELS .....110

**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 AMINOTRANSFERASE .....131

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

INTEGRATION OF MEMS ACCELEROMETER SENSOR MODULES IN INDUSTRIAL MONITORING SYSTEMS .....146

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

KAZCAUSAL: THE FIRST CORPUS-BASED ANNOTATION OF CAUSAL RELATIONSHIPS IN THE KAZAKH LANGUAGE .....160

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

DIVIDING DEVICES WITH PRELIMINARY PREPARATION OF MULTIPLES OF THE DIVISOR .....172

**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 SYSTEM .....188

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

HIGH-PRECISION ROBOTIC ASSEMBLY UNDER VARIABLE ILLUMINATION: A ROBUST MECHATRONIC ARCHITECTURE FOR VISUAL SERVOING .....209

## 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 EXPRESSIONS .....227

**K. Baisylbayeva, Sh. Mussiraliyeva, Zh. Yeltay**

DETECTION OF EXTREMIST IDEOLOGY IN THE KAZAKH LANGUAGE: ANNOTATION CHALLENGES AND DEEP LEARNING APPROACHES .....242

**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
<b>D.I. Prokopovych-Tkachenko, N.K. Zhumagalieva, D.N. Shchytyov, N.F. Mormul, D.A. Cherkaskyi</b> 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
<b>E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov</b> EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES .....	305
<b>Y. Serzhan, T. Umarov, A. Abilbayeva</b> FRAUD DETECTION IN CREDIT CARD TRANSACTIONS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE ANALYSIS .....	321

## МАЗМҰНЫ

### ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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

### АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

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



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

### АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА АРНАЛҒАН

<b>А. Амирбай, З. Аманбайқызы, К. Максүтова, А. Муханова, М. Kassim</b> КӨЗ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫ МЕН БЕТ МИМИКА БЕЛГІЛЕРІН МУЛЬТИМОДАЛЬДЫ ТАЛДАУҒА НЕГІЗ- ДЕЛГЕН БАЛАЛАРДАҒЫ АУТИЗМ СПЕКТРІНІҢ БҰЗЫЛЫСТАРЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІ .....	227
<b>К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж. Елтай</b> ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ ЭКСТРЕМИСТІК ИДЕОЛОГИЯНЫ АНЫҚТАУ: АННОТАЦИЯЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТӘСІЛДЕРІ .....	242
<b>М.А. Болатбек, А.М. Усманова, Қ.Б. Багитова, Г.Б. Байспай</b> КИБЕР ҚАУІПТІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЕЛІЛІК ТРАФИКТІ ТАЛДАУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ .....	261
<b>Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский</b> 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
<b>Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков</b> БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИМДІЛІГІН БАҒАЛАУ .....	305
<b>Е. Сержан, Т. Умаров, А. Әбілбаева</b> МАШИНАЛЫҚ ОҚУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ КРЕДИТ КАРТА ОПЕРАЦИЯЛАРЫНДАҒЫ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ .....	321

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗВИТИИ СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

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

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>А. Амирбай, З. Аманбайкызы, К. МаксUTOва, А. Муханова, М. Kassim</b> АЛГОРИТМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА У ДЕТЕЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТМОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И МИМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ .....	227
<b>К.Д. Байсылбаева, Ш.Ж. Мусиралиева, Ж.Елтай</b> ОБНАРУЖЕНИЕ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ИДЕОЛОГИИ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ: ПРОБЛЕМЫ АННОТИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ .....	242
<b>М.А. Болатбек, А.М. Усманова, К.Б. Багитова, Г.Б. Байспай</b> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КИБЕРУГРОЗЫ .....	261
<b>Д.И. Прокопович-Ткаченко, Н.К. Жумагалиева, Д.Н. Щитов, Н.Ф. Мормуль, Д.А. Черкасский</b> 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
<b>Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ .....	305
<b>Е. Сержан, Т. Умаров, А. Абильбаева</b> 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. 305–320

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

<https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.019>

УДК 004.05:004.67

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SYNTHESIS OF STOCHASTIC MODELS WITH CONTROLLED PROPERTIES

*E.A. Pustovoy*<sup>1\*</sup>, *O.A. Pustovaya*<sup>2</sup>, *A.N. Raushanova*<sup>1</sup>, *I.S. Zaurbekov*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of higher Education “Far Eastern State Agrarian University”, Blagoveshchensk, Russia.

E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru)

**E. Pustovoy** — Associate Professor at the Department of Cybersecurity, International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1197-7410>;

**O. Pustovaya** — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of EiATP, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0002-4487-8320>;

**A. Raushanova** — Assistant G2, JSC “International University of Information Technology”, Almaty, Kazakhstan

<https://orcid.org/0009-0006-8471-9873>;

**I. Zaurbekov** — Senior Lecturer, International University of Information Technologies, Almaty, Republic of Kazakhstan.

<https://orcid.org/0009-0003-0759-9351>.

© E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov

**Abstract.** This paper investigates the possibility of using large language models (LLMs) as sources of stochastic binary sequences with controllable statistical properties. The study demonstrates the temperature hyperparameter, which regulates the dispersion of the output token probability distribution, can be regarded as a tool for controlled entropy management of generated data. Based on the GPT-2 model, a method for converting probabilistic LLM outputs into fixed-length binary sequences is implemented and evaluated using entropy analysis and an adapted set of statistical tests analogous to NIST SP 800–22. The experiments reveal a monotonic increase in entropy with increasing temperature and a significant improvement in the statistical characteristics of the sequences. At temperatures  $T \geq 2.0$ , up to 83.3 % of the applied tests are passed, corresponding to the level of high-quality pseudorandom sequences for non-cryptographic applications. At the same time, a fundamental limitation of the approach is identified: weak but statistically significant periodic



components persist due to the deterministic architecture of the model. The results define the applicability limits of LLMs in modeling, data synthesis, and algorithm testing tasks.

**Keywords:** neural, random, hyperparameter, entropy, generator, NIST, GPT

**For citation:** E.A. Pustovoy, O.A. Pustovaya, A.N. Raushanova, I.S. Zaurbekov (2026). Evaluation of the effectiveness of synthesis of stochastic models with controlled properties // International Journal of Information and Communication Technologies. Vol. 7. No. 26. Pp. 305–320. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.019>. (In Russ.).

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

## БАСҚАРЫЛАТЫН ҚАСИЕТТЕРІ БАР СТОХАСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРДІ СИНТЕЗДЕУДІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

*Е.А. Пустовой<sup>1\*</sup>, О.А. Пустовая<sup>2</sup>, А.Н. Раушанова<sup>1</sup>, И.С. Заурбеков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі «Шығыс Қытай мемлекеттік ауылшаруашылық университеті», Благовещенск, Ресей.

E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru)

**Е. Пустовой** — «киберқауіпсіздік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан  
E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1197-7410>;

**О. Пустовая** — ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, ЭиАТП кафедрасының доценті, Қиыр Шығыс ГАУДАҒЫ ФГБОУ, Благовещенск, РФ  
<https://orcid.org/0000-0002-4487-8320>;

**А. Раушанова** — аға оқытушы, «Ақпараттық технологиялар халықаралық универси-теті» АҚ, Алматы, Қазақстан  
<https://orcid.org/0009-0006-8471-9873>;

**И. Заурбеков** — сеньор-лектор, Халықаралық ақпараттық технологиялар универси-теті, Алматы, Қазақстан  
<https://orcid.org/0009-0003-0759-9351>.

© Е.А. Пустова, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков

**Аннотация.** Бұл жұмыста үлкен тілдік модельдерді (LLM) басқарылатын статистикалық қасиеттері бар стохастикалық екілік тізбектердің көзі ретінде пайдалану мүмкіндігі зерттеледі. Токендердің шығыс ықтималдық таралуының дисперсиясын реттейтін температура гиперпараметрі туындатылған деректердің энтропиясын басқарудың құралы ретінде қарастырылады. GPT-2 моделіне негізделіп, LLM-нің ықтималдық шығыстарын бекітілген ұзындықтағы екілік тізбектерге түрлендіру әдістемесі іске асырылды және ол энтропиялық талдау мен NIST SP 800–22 стандартына ұқсас бейімделген статистикалық тесттер жиынтығы арқылы бағаланды. Эксперименттік нәтижелер температураның өсуімен энтропияның монотонды артуын және

тізбектердің статистикалық сипаттамаларының айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді.  $T \geq 2.0$  температурада қолданылған тесттердің 83,3 %-ына дейін сәтті өтеді, бұл криптографиялық емес қолданбалар үшін жоғары сапалы псевдокездейсоқ тізбектер деңгейіне сәйкес келеді. Сонымен қатар, модель архитектурасының детерминирленген сипатына байланысты әлсіз, бірақ статистикалық мәнді периодтық компоненттердің сақталатыны анықталды. Алынған нәтижелер LLM-дерді модельдеу, деректер синтезі және алгоритмдерді тестілеу салаларында қолданудың шекараларын айқындайды.

**Түйінді сөздер:** нейрондық, кездейсоқ, гиперпараметр, энтропия, генератор, NIST, GPT

**Дәйексөздер үшін:** Е.А. Пустовой Е.А., О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков (2026). Басқарылатын қасиеттері бар стохастикалық модельдердің синтезінің тиімділігін бағалау // Халықаралық ақпараттық және коммуникациялық технологиялар журналы. Т. 7. No. 26. Б. 305–320. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.019>. (Орыс. тіл.).

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар қызығушылықтар қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

*Е.А. Пустовой<sup>1\*</sup>, О.А. Пустовая<sup>2</sup>, А.Н. Раушанова<sup>1</sup>, И.С. Заурбеков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»,

Благовещенск, Россия.

E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru)

**Е. Пустовой** — ассоциированный профессор кафедры «Кибербезопасность», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

E-mail: [pus14@yandex.ru](mailto:pus14@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1197-7410>;

**О. Пустовая** — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ЭиАТП, ФГ-БОУ ВО Дальневосточный ГАУ, Благовещенск, РФ

<https://orcid.org/0000-0002-4487-8320>;

**А. Раушанова** — старший преподаватель, АО «Международный университет информационных технологий», Алматы, Казахстан

<https://orcid.org/0009-0006-8471-9873>;

**И. Заурбеков** — сеньор-лектор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Республика Казахстан

<https://orcid.org/0009-0003-0759-9351>.

**Аннотация.** В работе исследуется возможность использования больших языковых моделей (LLM) в качестве источников стохастических бинарных последовательностей с управляемыми статистическими свойствами. Показано, что гиперпараметр температуры, регулирующий дисперсию выходного распределения вероятностей токенов, может рассматриваться как инструмент контролируемого управления энтропией генерируемых данных. На основе модели GPT-2 реализована методика преобразования вероятностных выходов LLM в бинарные последовательности фиксированной длины и проведена их оценка с использованием энтропийного анализа и адаптированного набора статистических тестов, аналогичных NIST SP 800–22. Экспериментальные результаты демонстрируют монотонный рост энтропии с увеличением температуры и существенное улучшение статистических характеристик последовательностей. При температурах  $T \geq 2.0$  достигается прохождение до 83,3 % применённых тестов, что соответствует уровню качественных псевдослучайных последовательностей для некриптографических применений. Одновременно выявлено ограничение подхода, связанное с наличием слабовыраженных периодических компонент, обусловленных архитектурной детерминированностью модели. Полученные результаты определяют границы применимости LLM в задачах моделирования, синтеза данных и тестирования алгоритмов.

**Ключевые слова:** нейросеть, случайный, гиперпараметр, энтропия, генератор, NIST, GPT

**Для цитирования:** Е.А. Пустовой, О.А. Пустовая, А.Н. Раушанова, И.С. Заурбеков (2026). Оценка эффективности синтеза стохастических моделей с управляемыми свойствами//Международный журнал информационных и коммуникационных технологий. Т. 7. No. 26. Стр. 305–320. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2026.26.2.019>. (На русс.).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение.

Вопрос предсказуемости генераторов псевдослучайных последовательностей (PRNG) заключается в том, что такие последовательности чисел полностью детерминированы; зная начальное число (seed) и алгоритм, можно предсказать всю последовательность и это является критическим недостатком. Кроме того предъявляются дополнительные требования к таким последовательностям, например в криптографии (NIST, 2010; Menezes et al., 1996). Проблема генерации случайных и псевдослучайных последовательностей является фундаментальной для криптографии, статистического моделирования и вычислительных экспериментов, поскольку от их качества зависит стойкость криптосистем к атакам и надежность моделирования (Charu et al., 2024). Традиционно для этих целей используются детерминированные алгоритмические генераторы (PRNG), такие как Mersenne Twister, или аппаратные источники энтропии. Однако с развитием искусственного интеллекта возникает вопрос о стохастическом потенциале больших языковых моделей (LLM)-мощных генеративных систем, оперирующих вероятностными распределениями токенов

(Radford et al., 2019; Vaswani et al., 2017)

Основная теоретическая сложность заключается в том, что нейронные сети по своей природе обучаются выявлять и воспроизводить закономерности в данных, минимизируя энтропию ошибки предсказания (Agarwal et al., 2025). Генерация же истинно случайных, непрогнозируемых последовательностей противоречит этой цели (Рахим и др., 2021). Тем не менее, в архитектуре LLM существует встроенный механизм управления стохастичностью. Гиперпараметр температуры (temperature), позволяет масштабировать логиты перед применением функции softmax, тем самым регулируя дисперсию выходного распределения вероятностей (Roberts, 2024).

С математической точки зрения, увеличение температуры приводит распределение вероятностей к состоянию, близкому к равномерному, что теоретически должно коррелировать с ростом информационной энтропии Шеннона. Если эта корреляция носит устойчивый и предсказуемый характер, то LLM, несмотря на свою детерминированную архитектуру, может быть трансформирована в управляемый источник стохастических данных (Shimao, 2024). Это превращает «недостаток» модели (ошибки предсказания при высокой температуре) в функциональный инструмент для синтеза случайности.

Таким образом используя встроенный параметр нейронных сетей, мы можем выдвинуть гипотезу о том, что целенаправленное варьирование встроенного в большие языковые модели (LLM) гиперпараметра температуры, ответственного за дисперсию выходного распределения (White, 2025), позволяет напрямую управлять энтропией этого распределения. Тем самым способствуя преодолению фундаментального противоречия между целью нейросетей (минимизация энтропии ошибки) и задачей генерации случайных данных. Предполагается, что такой вид генерации числовых последовательностей не будет привязан к детерминированному алгоритму. В результате исследования ожидается получить возможность генерации числовых последовательностей, статистические свойства которых будут приближаться, по мере роста температуры, к характеристикам псевдослучайных последовательностей.

Цель работы-экспериментально проверить данную гипотезу и оценить степень влияния температуры (T) на стохастические характеристики бинарных числовых последовательностей, сгенерированных на основе языковой модели (GPT-2). Для этой цели будут использованы методы энтропийного анализа выходной числовой последовательности и адаптированный набор статистических тестов в соответствии с требованиями Национального института стандартов и технологий агентство Министерства торговли США (NIST), что позволит количественно измерить достижимый уровень качества числовой последовательности.

### **Материалы и методы.**

В качестве базовой большой языковой модели использовалась облегчённая языковая модель GPT-2 (Green et al., 2024) из библиотеки Hugging Face Transformers. Выбор данной модели обусловлен следующими причинами:

Архитектурная репрезентативность: GPT-2 сохраняет ключевые архитектур-

ные и функциональные принципы оригинальной большой языковой модели семейства GPT- генеративных предобученных трансформеров, включая механизм внимания и авторегрессиивную генерацию, что делает её валидным объектом для исследования стохастических свойств, присущих данному семейству моделей.

Вычислительная эффективность: значительно меньший размер модели (по сравнению с полной GPT-2) позволил провести масштабный цикл экспериментов с многократным варьированием гиперпараметров и генерацией длинных последовательностей (10 000 бит) при ограниченных вычислительных ресурсах.

Методология: использование стандартной, широкодоступной и воспроизводимой модели (GPT-2) позволяет сместить акцент исследования с особенностей конкретной реализации на общую методологию управления случайностью через температуру, что повышает практическую значимость и проверяемость результатов.

Для проведения расчётов использовалась среда Google Colab, которая предоставляет доступ к графическому процессору NVIDIA T4 через среду выполнения с поддержкой GPU. Для ускорения процесса инференса (вывода результатов) модели использовалась платформа параллельных вычислений CUDA, интегрированная в библиотеку PyTorch (torch). Это позволило значительно сократить время генерации длинных битовых последовательностей.

Для преобразования вероятностных выходов LLM в бинарные последовательности фиксированной длины (10 000 бит) существует три метода вероятностного сэмплирования, представляющих различные стратегии извлечения случайности из распределения токенов модели:

Метод сэмплирования (Sampling) (1). Данный метод является наиболее прямым аналогом стандартного режима работы авторегрессиивной языковой модели, где следующий токен выбирается стохастически в соответствии с прогнозируемым распределением, скорректированным температурой. Для преобразования в биты ID выбранного токена брался по модулю 256, и использовались его 8 младших бит. Метод извлечения по модулю был выбран в качестве простого, не зависящего от архитектуры базового метода, который не вносит дополнительной случайности в постобработку. Этот подход позволяет оценить «естественную» стохастичность модели в её основном режиме генерации.

Вероятностный метод (Probability) (2). Для исследования влияния «хвоста» распределения был реализован метод, основанный на анализе наименее вероятного токена среди топ-8 кандидатов. Бит генерировался на основе нормализованной вероятности этого токена. Данный подход направлен на оценку того, может ли информация о маловероятных событиях, усиливающаяся с ростом температуры, служить источником случайности.

Энтропийный метод (Entropy) (3). Для прямого контроля над уровнем неопределённости на каждом шаге генерации использовался метод, основанный на вычислении локальной энтропии распределения токенов по формуле Шеннона. Нормализованная энтропия сравнивалась с порогом 0.5 для установки значения бита (1 – высокая неопределённость, 0 – низкая). Этот метод позволяет явно связать меру информацион-

ной случайности (энтропию) с генерируемым битовым потоком.

Выбор метода: для основного цикла тестирования использовался метод сэмпирования (Sampling), как наиболее прямой аналог работы авторегрессивной языковой модели, при котором следующий токен выбирается случайно в соответствии с предсказанным распределением вероятностей.

Вероятностный метод (2) анализирует хвост распределения, что полезно для исследований, но нестабильно в маловероятных токенах.

Энтропийный метод (3) требует вычисления энтропии на каждом шаге, что увеличивает вычислительную нагрузку без значимых преимуществ в качестве выходной последовательности (Roberts, 2024).

Вероятностный и энтропийный методы были изучены в предварительных экспериментах, но не обеспечили ощутимых статистических улучшений по сравнению с выборкой, увеличив при этом нестабильность или вычислительные затраты; поэтому приводятся только результаты, основанные на выборке.

В действующих моделях GPT (например, GPT-3/4/5) основным методом генерации является метод сэмпирования (Sampling) (1). В качестве входного промпта была выбрана детерминированная, семантически нейтральная и не порождающая скрытых паттернов фраза:

«Continue the sequence: ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ».

Данный промпт обеспечивает:

1. Воспроизводимость: фиксированная начальная последовательность гарантирует одинаковые стартовые условия для всех экспериментов при изменении температуры.

2. Семантическая нейтральность: буквенный ряд ABC... не несёт явной статистической или смысловой нагрузки, которая могла бы систематически влиять на распределение генерируемых битов.

3. Отсутствие скрытых закономерностей: промпт не содержит чисел, специальных символов или естественно-языковых конструкций, способных вызвать нежелательные корреляции в выходных данных.

Таким образом, выбранный промпт позволяет минимизировать внешние факторы, влияющие на стохастические свойства генерируемых последовательностей, и сосредоточить анализ исключительно на эффекте гиперпараметра температуры.

Для каждого значения температуры из диапазона [0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0, 10.0] вычислялась средняя энтропия распределения вероятностей токенов (Javier., 2025: 5) как ключевая мера неопределённости и стохастичности выходных данных модели. В соответствии с выдвинутой гипотезой, энтропия выходного распределения должна демонстрировать монотонную зависимость от гиперпараметра температуры и выступать определяющим фактором степени случайности генерируемой битовой последовательности. Энтропия вычислялась по формуле Шеннона, используемой здесь как операциональная мера стохастичности выхода модели:

$$H(X) = - \sum_{j=1}^n p_j \ln p_j \quad (1)$$

где  $p_j$  - вероятность выбора  $j$ -го токена из словаря модели.

В ходе анализа рассматривались стандартное отклонение энтропии, энтропийная эффективность, число «активных» токенов ( $p > 0.001$ ) а также равномерность распределения, оцениваемая с использованием критерия Колмогорова-Смирнова.

Качество полученных бинарных последовательностей оценивалось с помощью набора из шести статистических тестов (табл.1), аналогичных стандарту NIST SP 800-22 (Menezes et al., 1996).

Таблица 1 – Таблица статистических тестов

№	Наименование	Критерий
1	Frequency Test	p-value > 0.01
2	Runs Test	p-value > 0.01
3	Longest Run Test	max_run < expected_max_run * 1.5
4	Entropy Test	efficiency > 0.99
5	Spectral Test	power_ratio < 5
6	Approximate Entropy Test	approx_ent > 0.1

Уровень значимости для всех тестов, согласно спецификации NIST SP 800-22 (Statistical Test Suite), устанавливался  $\alpha = 0.01$ .

Для комплексной оценки влияния температуры на стохастические свойства бинарных последовательностей, сгенерированных моделью GPT-2, был проведен статистический анализ, включающий NIST-подобные тесты и энтропийный анализ. Основные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты NIST-подобного тестирования бинарных последовательностей при различных температурах

Температура	Баланс 0/1	Серии битов	Макс. длина серии	Энтропия	Спектральный анализ	Вероятность шаблонов	% пройденных тестов
1.0	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да	33,3% (2/6)
2.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)
3.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)
5.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)
7.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)
10.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)
15.0	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	83,3% (5/6)

1. Frequency Test (тест на частотное распределение.): при низкой температуре ( $T=1.0$ ) наблюдалось статистически значимое отклонение от равномерного распределения битов (рис.1) (соотношение 45.34 % единиц к 54.66 % нулей, p-value  $\approx 0.0000$ ). С ростом температуры до  $T=2.0$  и выше баланс 0 и 1 стремился к идеальному соотношению 50/50 (p-value > 0.93), что свидетельствует о достижении статистической неотличимости от равномерного распределения.

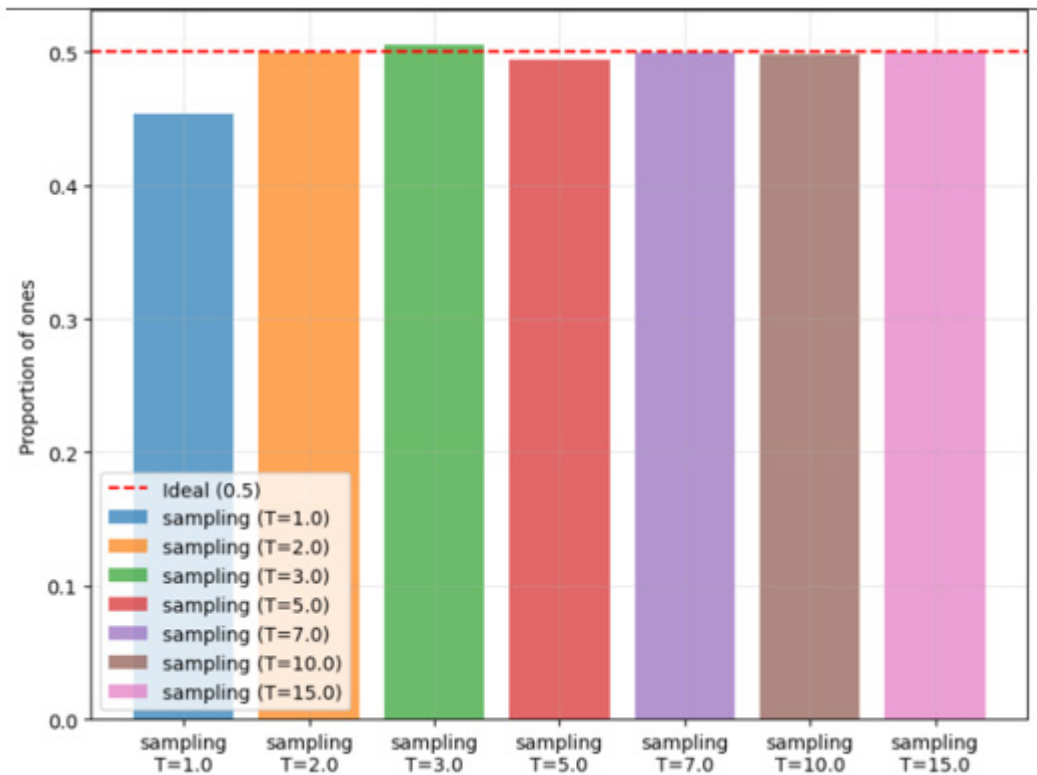


Рис.1. Баланс 0 и 1 в последовательности

2. Runs Test (тест на серии): при температуре  $T=1.0$  последовательность продемонстрировала недостаточное количество серий ( $z\text{-score} = -4.04$ ,  $p\text{-value} \approx 0.00005$ ), указывая на кластеризацию битов (рис.3). При  $T \geq 2.0$  количество серий становилось статистически неотличимым от ожидаемого для случайной последовательности ( $p\text{-value} > 0.04$ ), что согласуется с визуальной структурой последовательности (рис.2).

3. Longest Run Test (тест на максимальную длину серии): во всех экспериментах сгенерированные бинарные последовательности удовлетворяли критериям данного теста при любом значении температуры. При  $T=1.0$  максимальная длина серии составляла 19 битов, что превышает теоретически ожидаемое для случайной последовательности значение, равное 16. С ростом температуры этот показатель снижался до диапазона 11–14 битов, что уже не превышало порогового критерия. Данный результат указывает на то, что увеличение температуры способствует сокращению длины непрерывных серий одинаковых битов, что соответствует желаемому свойству псевдослучайных последовательностей и подтверждает эффективность предложенного подхода (рис.4).

4. Entropy Test (тест на энтропию) и Approximate Entropy Test (тест на приблизительную энтропию): энтропия самой битовой последовательности была близ-

ка к максимальной (эффективность  $>0.99$ ) даже при  $T=1.0$ , и оставалась стабильно высокой при всех температурах. Аналогично, тест на приближительную энтропию, оценивающий вероятность появления шаблонов, успешно проходил при всех  $T$ , демонстрируя высокую нерегулярность последовательностей.

5. Spectral Test (спектральный тест): При  $T=1.0$  тест выявил выраженные периодические закономерности в данных ( $\text{power\_ratio} = 63.12$ ), что свидетельствует о высокой степени структурированности генерируемой последовательности. С повышением температуры до  $T=2.0$  мощность доминирующей частоты резко снизилась ( $\text{power\_ratio} \approx 8.67$ ). Однако на всех тестируемых температурах данный показатель оставался выше критического значения 5, что указывает на наличие слабовыраженных, но статистически значимых периодических компонент даже в режиме повышенной стохастичности. В результате спектральный тест не пройден ни при одном значении температуры.

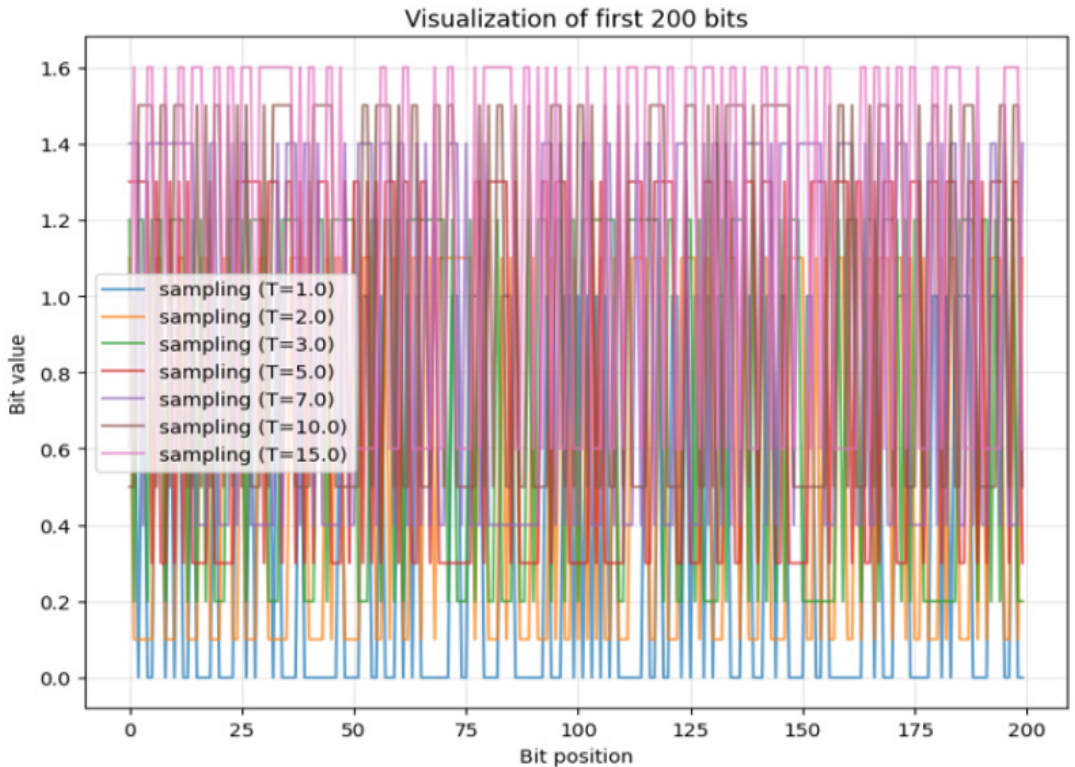


Рис.2. Визуализация первых 200 бит

В данной работе спектральный анализ использовался в диагностическом режиме. В качестве вспомогательной количественной характеристики применялось отношение мощности доминирующей спектральной компоненты к средней мощности спектра ( $\text{power\_ratio}$ ). Пороговое значение  $\text{power\_ratio} < 5$  рассматривалось как эмпирический индикатор отсутствия выраженных доминирующих периодических компонент, а не как формальный критерий статистического теста.

Таким образом, непрохождение спектрального теста не является следствием некорректности выбранного критерия или параметров тестирования, а отражает фундаментальное ограничение подхода использования больших языковых моделей в качестве источников стохастических бинарных последовательностей. Причина данного ограничения заключается в детерминированной архитектуре LLM и характере обучающих данных, содержащих устойчивые структурные зависимости. Эти зависимости не полностью устраняются даже при высоких значениях температуры и проявляются в виде остаточных спектральных особенностей выходного сигнала (Kiyoshiro et al., 2023).

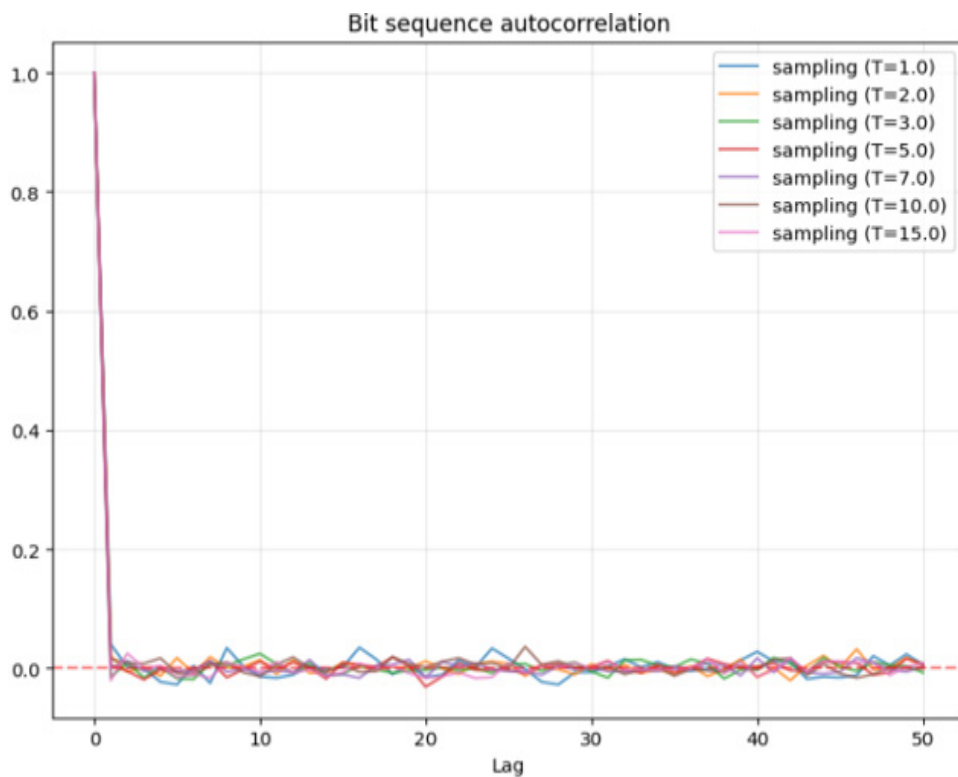


Рис. 3. Автокорреляция битовой последовательности

Фундаментальной причиной наблюдаемых изменений в статистических свойствах битовых последовательностей является прямое влияние гиперпараметра температуры на энтропию распределения вероятностей токенов на выходе модели.

Механизм этой связи, следующий: температура управляет «размытием» распределения. При низкой температуре функция softmax усиливает разрыв между вероятностями наиболее вероятных и маловероятных токенов, делая распределение «пикообразным» и детерминированным. С ростом температуры это распределение «сглаживается», приближая вероятности всех токенов к равномерному распределению.

Изменение энтропии: «пикообразное» распределение (низкая  $T$ ) обладает низкой энтропией (малая неопределённость выбора), в то время как «сглаженное» (высокая  $T$ )-высокой энтропией (высокая неопределённость).

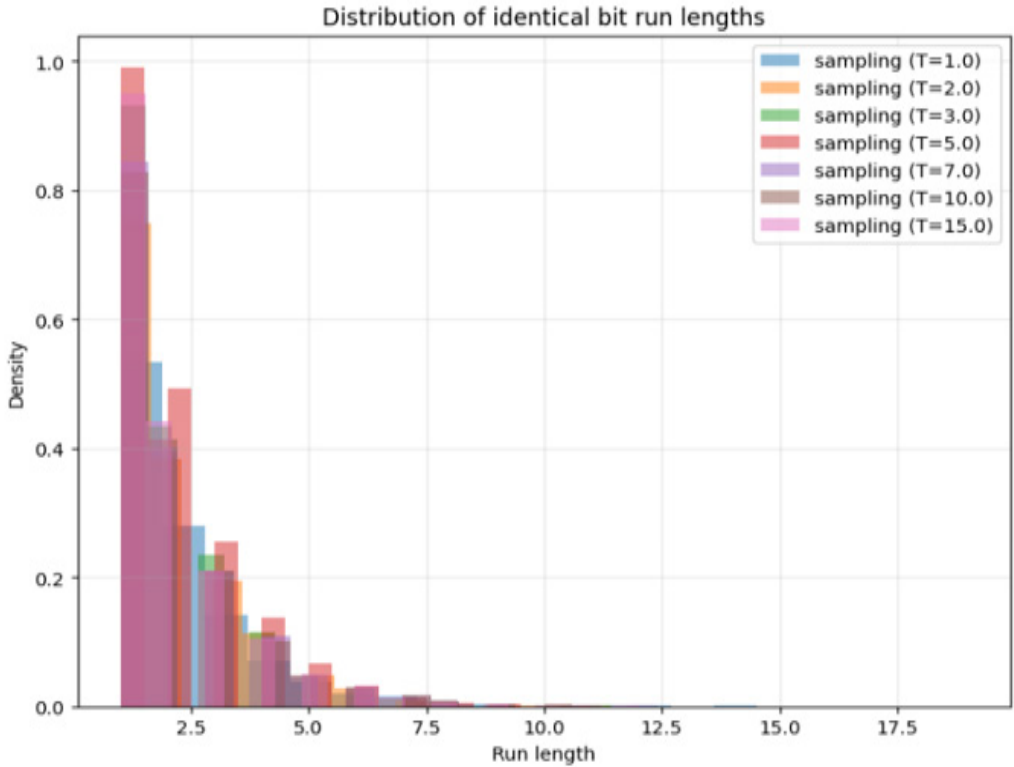


Рис. 4. Распределение длин битовых серий

Влияние на битовую последовательность: поскольку каждый бит в выходной последовательности является производным от выбора или анализа этого распределения вероятностей (через методы сэмплирования, вероятностный или энтропийный), его статистические свойства напрямую наследуют степень неопределённости исходного распределения. Низкая энтропия приводит к предсказуемым, коррелированным битам (провал частотного теста, наличие серий), тогда как высокая энтропия повышает независимость и равномерность битов, улучшая результаты большинства статистических тестов.

Таким образом, температура выступает в роли контроллера энтропии на уровне токенов, а наблюдаемое улучшение статистических свойств бинарного потока является каскадным следствием этого управления фундаментальной мерой неопределённости в модели (Weihua, 2025).

Анализ зависимости энтропии от температуры (рис. 5) позволяет выделить три характерных режима работы модели.

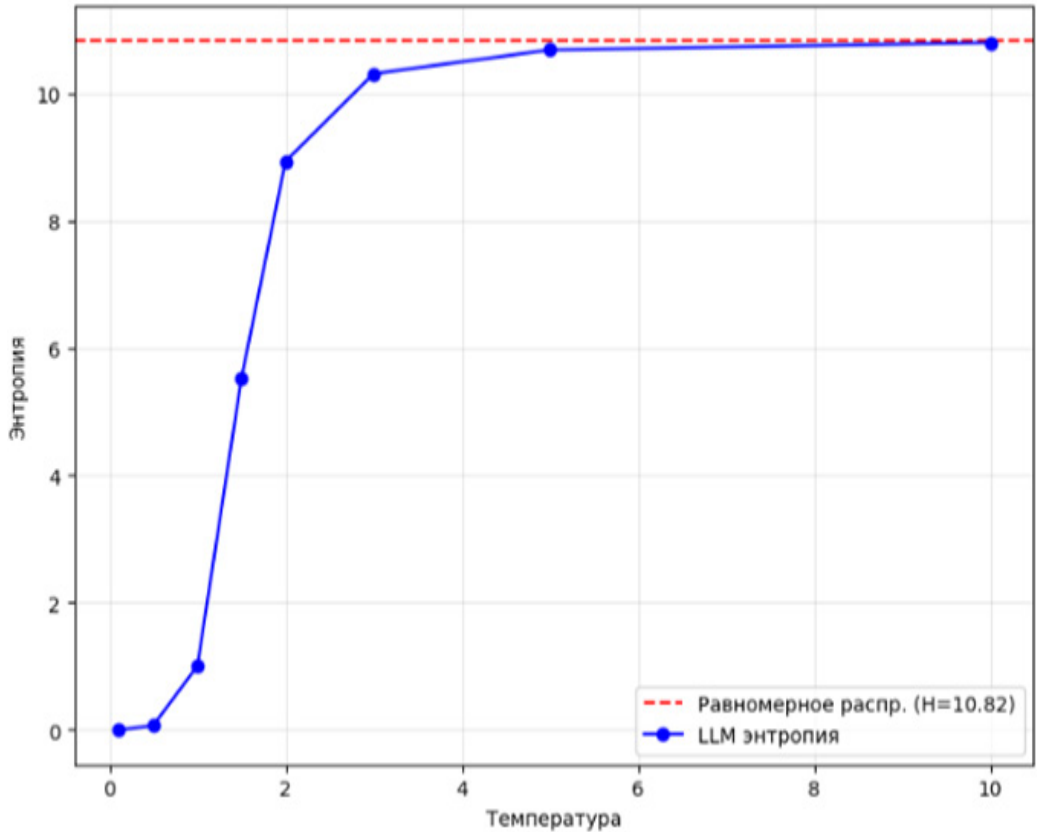


Рис. 5. Зависимость энтропии от температуры в сравнении с равномерным распределением

График демонстрирует нелинейный рост средней энтропии распределения токенов от  $\sim 0.0$  при  $T=0.1$  до плато около  $10.79$  бит при  $T=10.0$  (Huang et al., 2024). Горизонтальная линия на графике соответствует теоретически максимальной энтропии  $H_{max}$  для модели GPT-2, которая определяется размером словаря  $N=50257$  и вычисляется по формуле Шеннона как

$$H_{max} = \ln(n) = \ln(50257) \approx 10.86$$

Таким образом, при высоких значениях температуры наблюдается асимптотическое приближение распределения вероятностей токенов к равномерному.

В детерминированном режиме ( $T < 1.0$ ) энтропия распределения остаётся близкой к нулю, что отражает доминирование нескольких наиболее вероятных токенов и приводит к формированию высокоструктурированных, предсказуемых битовых последовательностей.

В переходном режиме ( $T \approx 1.0 - 2.0$ ) наблюдается резкий нелинейный рост энтропии, сопровождающийся сглаживанием распределения вероятностей и качественным улучшением результатов частотных тестов и тестов на серии.

В стохастическом режиме ( $T > 3.0$ ) энтропия достигает плато, асимптотически приближаясь к максимально возможному значению для данной модели; при этом распределение вероятностей токенов становится близким к равномерному, что обеспечивает стабильно высокие (до 83,3%), хотя и не идеальные, результаты статистического тестирования.

### **Результаты и обсуждение.**

Результаты убедительно доказывают, что гиперпараметр температуры является мощным и управляемым инструментом (Chang et al., 2024) инъекции стохастичности в выходные данные LLM (Huang et al., 2024; Javier, 2025). Повышение температуры приводит к монотонному росту энтропии распределения токенов, что каскадно улучшает статистические свойства результирующих битовых последовательностей.

Достижимый уровень случайности: при температурах  $T \geq 2.0$  LLM (в данном случае GPT-2) способна генерировать битовые последовательности, успешно проходящие 83,3% базовых статистических тестов (Hopkins et al., 2023). Это характеризует их как качественные псевдослучайные последовательности, пригодные для широкого круга приложений, не требующих криптографической стойкости (например, моделирование, генерация синтетических данных, тестирование).

Фундаментальные ограничения: непрохождение тестов Spectral Test даже при высоких температурах указывает на архитектурные ограничения (Chen et al., 2024) последовательности, присущее детерминированной архитектуре LLM, обученной на коррелированных текстовых данных. Модель не может полностью устранить следы своей структурной предрасположенности, что проявляется в генерации аномально длинных серий и слабых периодичностях.

Практическая значимость: несмотря на ограничения, работа демонстрирует, что LLM могут выступать в роли конфигурируемых генераторов стохастичности. Главное практическое преимущество — плавное управление уровнем «хаотичности» через единственный параметр (температуру) (Roberts, 2024), что открывает перспективы для их использования в задачах, требующих контролируемого и семантически связанного случайного выбора.

Таким образом, LLM не заменяют криптографические генераторы случайных чисел, но предлагают уникальный гибридный подход к генерации стохастических последовательностей (Grados, 2015), занимая нишу между традиционными PRNG и источниками истинной энтропии.

### **Заключение.**

В рамках данного исследования была экспериментально подтверждена возможность использования больших языковых моделей для синтеза стохастических последовательностей (Weihua et al., 2025) с управляемыми свойствами. Ключевые выводы работы:

Управление энтропией: гиперпараметр температуры LLM является эффективным средством контроля энтропии выходного распределения вероятностей токенов. Это позволяет напрямую и детерминировано влиять на фундаментальную меру

неопределённости в работе модели, что открывает путь к управляемой стохастической генерации на её основе.

Качество случайности: при температурах  $T \geq 2.0$  модель (GPT-2) генерирует битовые последовательности, успешно проходящие 83.3% адаптированных тестов NIST (5 из 6 тестов), что свидетельствует о достижении статистических характеристик, близких к качественным псевдослучайным последовательностям, пригодным для широкого класса некриптографических задач (Yasmeen et al., 2025).

Практическая применимость: предложенный подход открывает перспективы применения LLM в качестве конфигурируемых стохастических генераторов для задач моделирования, тестирования алгоритмов и синтеза данных (Maged et al., 2023), где не требуется абсолютная криптографическая стойкость (Brown, 2025), но необходима контролируемая и семантически связанная (в случае текстовой генерации) степень случайности. Главное практическое преимущество, это возможность тонкой настройки уровня «хаотичности» выходных данных с помощью единого интуитивного параметра (температуры).

## REFERENCES

- A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications (NIST SP 800-22) (2010). National Institute of Standards and Technology. — Gaithersburg. Pp.131. <https://csrc.nist.gov/projects/random-bit-generation/documentation-and-software> (in Eng.)
- Agarwal S., Zhang Z., Yuan L., Han J., Peng H. (2025) The Unreasonable Effectiveness of Entropy Minimization in LLM Reasoning. — arXiv.2525.15134v1. — May 2025. DOI:10.48550/arXiv.2507.10532 (in Eng.)
- Brown D. (2025). Top 10 Real-Life Applications of Large Language Models. — PixelPlex Blog. <https://vegavid.com/blog/top-10-real-life-applications-of-large-language-models-reshaping-our-world> (in Eng.)
- Chang Y. A., Wang X., Wang J., Wu Y., Yang L., Zhu K., Chen H., Yi X., Wang C., Wang Y., Ye W., Zhang Y., Chang Y., Yu P., Yang Q., Xie X. (2024). Survey on Evaluation of Large Language Models. — ACM Computing Surveys. — Vol. 15. — No. 3. DOI:10.1145/3641289 (in Eng.)
- Charu C. (2023) Neural Networks and Deep Learning. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. Pp. 529. DOI 10.1007/978-3-031-29642-0 (in Eng.)
- Grados Matej. (2015). Assessing Cryptographic Random Number Generators using NIST SP 80022 Statistical Test Suite. Master's Thesis, Tampere University. Pp. 75. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/229045/GradosMatej.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (in Eng.)
- Hadi U.M., Tashi al Q., Shah A., Muneer A., Irfan M., Zafar A., Shaikh B.M., Akhtar N., Hassan Z.S., Shoman M., Wu J., Mirjalili S., Shah M. (2025). A Survey on Large Language Models: Applications, Challenges, Limitations, and Practical Usage. preprint, 2025. DOI: 10.36227/techrxiv.23589741.v8 — TechRxiv preprint. <https://www.techrxiv.org/users/618307/articles/682263-> (in Eng.)
- Javier C. (2025). Deterministic or Probabilistic? The Psychology of LLMs as random number generators. AlphaXiv preprint. DOI :10.48550/arXiv.2502.19965 (in Eng.)
- Kiyoshiro, O., Tndo R., Yasuoka K., Kurabayashi S. (2023). Learned pseudo-random number generator: WGAN-GP for generating statistically robust random numbers – PubMed. DOI: 10.1371/journal.pone.0287025 (in Eng.)
- Minaee S., Mikolov T., Nikzad N., Chenaghli M., Socher R., Amatriain X., Gao J. (2024). Large Language Models: A Survey. - arXiv preprint arXiv:2402.06196. DOI:10.48550/arXiv.2402.06196 (in Eng.)
- Menezes, A.J., van Oorschot, P.C., & Vanstone, S.A. (2025) Handbook of Applied Cryptography. — CRC Press, — 2025. <https://sites.google.com/view/textbook-appliedcrypto/home> (in Eng.)
- NIST. (2018). NIST SP 800-90B: Recommendation for the Entropy Sources Used for Random Bit Generation. — Gaithersburg. Pp.76. DOI:10.6028/NIST.SP.800-90B (in Eng.)
- Saleh Y., Abu Talib M., Nasir Q., Dakalbab F. (2025). Evaluating large language models: a systematic review of efficiency, applications, and future directions. - Front. Comput. Sci. 7:1523699. doi: 10.3389/fcomp.2025.1523699 (in Eng.)
- Shimao Z., Bao Y., Huang S. (2024). EDT: Improving Large Language Models' Generation by Entropy-based Dynamic Temperature Sampling. — arXiv:2403.14541v. DOI:10.48550/arXiv.2403.14541 (in Eng.)



Vaswani, A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez N.A., Kaiser L., Polosukhin I. (2017). Attention Is All You Need. - Advances in Neural Information Processing Systems. DOI:10.48550/arXiv.1706.03762 (in Eng.)

Weihua D., Yiming Y., Sean W. (2025). Optimizing Temperature for Language Models with Multi-Sample Inference., preprint. DOI: 10.48550/arXiv.2502.05234 <https://arxiv.org/html/2502.05234v2> (in Eng.)

Yasmeen, S., Talib a.M., Nasir mh Q., Dakalbab F. (2025). Evaluating large language models: a systematic review of efficiency, applications, and future directions. Frontiers in Computer Science. DOI: 10.3389/fcomp.2025.1523699 <https://doaj.org/article/5c9134037ab242d5a8451db826badb65> (in Eng.)

Zhang S., Bao Y., Huang, S. (2024). Improving Large Language Models' Generation by Entropybased Dynamic Temperature Sampling. — arXiv preprint arXiv:2403.14541. DOI:10.48550/arXiv.2403.14541 (in Eng.)

Weihua, D., Yang Y., Welleck S. (2025). Optimizing Temperature for Language Models with Multi-Sample Inference. — arXiv:2502.05234v2. DOI:10.48550/arXiv.2502.05234 (in Eng.)

White E. (2025). Exploring the Impact of Temperature on Large Language Models: Hot or Cold. — arXiv preprint arXiv:2506.07295. DOI:10.48550/arXiv.2506.07295 (in Eng.)

Пустовой Е. (2025). [Исходный код для облачного хранилища. [https://drive.google.com/file/d/1hWuhvKeyrmm\\_u3TF6m6oK-cME-c0Jdsr/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1hWuhvKeyrmm_u3TF6m6oK-cME-c0Jdsr/view?usp=sharing)

**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).