

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



**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ  
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION  
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

**2025 (24) 4**

*қазан- желтоқсан*

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

## БАС РЕДАКТОР:

**Исахов Асылбек Абдишимович** — есептеу теориясы саласында математика бойынша PhD доктор, "Компьютерлік ғылымдар және информатика" бағыты бойынша қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінің Басқарма Төрағасы – Ректор (Қазақстан)

## БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

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

## ҒАЛЫМ ХАТШЫ:

**Ипалакова Мадина Түлегеновна** — 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)  
**Лучино 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 Мұхтарбай Өтелбайұлы** — физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, КР 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 Токсужаевич** — 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)

**Мұхамедиева Ардак Габитовна** — экономика ғылымдарының кандидаты, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті бизнес медиа және басқару факультетінің деканы (Қазақстан)

**Абдикаликова Замира Тұрсынбаевна** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті математика және компьютерлік модельдеу кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

**Шильдибеков Ерлан Жаржанович** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті экономика және бизнес кафедрасының меңгерушісі (Қазақстан)

**Дамелия Максумовна Ескендірова** — 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 Азизбековна** — 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 Сахиябай** — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті компьютерлік инженерия кафедрасының профессор-зерттеушісі (Қазақстан)

**Алимереб 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 Валдас** — PhD, Адам Мицкевич атындағы (Польша) университеттің проректоры

**Мамырбаев Оркен Жұмажанович** — PhD, КР 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 сәулет университеті жобаларды басқару кафедрасының меңгерушісі (Украина)

**Белощицкая Светлана Васильевна** — техника ғылымдарының докторы, доцент, Astana IT University есептеу және деректер ғылымы кафедрасының профессоры (Қазақстан)

## 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)

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

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігіне мерзімді баспасөз басылымын есепке қою туралы куәлік № KZ82VPY00020475, 20.02.2020 ж. берілген

Тақырып бағыты: ақпараттық технологиялар, ақпараттық қауіпсіздік және коммуникациялық технологиялар, әлеуметтік-экономикалық жүйелерді дамытудағы цифрлық технология.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 100 дана.

Редакция мекенжайы: 050040 Алматы қ., Манас к., 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09.

E-mail: ijct@iitu.edu.kz

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

© Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті АҚ, 2025

Журнал сайты: <https://journal.iitu.edu.kz> © Авторлар ұжымы, 2025

---

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Исахов Асылбек Абдиашимович** — доктор PhD по математике в области теории вычислимости, ассоциированный профессор по направлению "Компьютерные науки и информатика", Председатель Правления – Ректор Международного университета информационных технологий (Казахстан)

## ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

## УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

**Микеле Пагано** — PhD, профессор Университета Пизы (Италия)

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

**Рысбайулы Болатбек** — доктор физико-математических наук, профессор, профессор Astana IT University (Казахстан)

**Дайнеко Евгения Александровна** — PhD, профессор-исследователь кафедры информационных систем Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

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

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

**Мухамедиева Ардак Габитовна** — кандидат экономических наук, декан факультета бизнеса медиа и управления Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

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

**Дамеля Максумовна Ескендирова** — 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 Сахиябай** — кандидат технических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры компьютерной инженерии, Международного университета информационных технологий (Казахстан)

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

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

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

**Талеуш 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)

## 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)

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

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

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

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 100 экземпляров.

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

E-mail: [ijict@iitu.edu.kz](mailto:ijict@iitu.edu.kz)

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

© АО Международный университет информационных технологий, 2025

© Коллектив авторов, 2025

## EDITOR-IN-CHIEF

**Assylbek Issakhov** — PhD in Mathematics in Computability Theory, associate professor in “Computer Science and Informatics,” Chairman of the Board – Rector of the International Information Technology University (Kazakhstan)

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

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

## ACADEMIC SECRETARY

**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)

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

**Bakhtgerai 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)

## EDITOR

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

«International Journal of Information and Communication Technologies»

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

Owner: International Information Technology University JSC (Almaty).

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

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

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 100 copies.

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

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

© International Information Technology University JSC, 2025

© Group of authors, 2025

## ISSUES OF HANDOVER IN ULTRA-DENSE NETWORKS

*A.S. Abdiraman<sup>1</sup>, L.S. Aldasheva<sup>1</sup>, D. Sagidullauly<sup>1</sup>, A.S. Amirova<sup>1</sup>,  
A. Tanirbergenova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Astana IT University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Euroasian National University named after L.N. Gumilyev, Astana, Kazakhstan.

E-mail: [a.s.abdiraman@gmail.com](mailto:a.s.abdiraman@gmail.com)

**Aliya Abdiraman** — master, senior lecturer of the Cybersecurity School, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

E-mail: [a.s.abdiraman@gmail.com](mailto:a.s.abdiraman@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5494-0223>;

**Laura Aldasheva** — c.t.s., assistant professor of the Cybersecurity School, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-6815-1989>;

**Dauren Sagidullauly** — master, teacher of the Cybersecurity School, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0009-0004-0996-0275>;

**Akzhibek Amirova** — PhD, assistant professor of the Cybersecurity School, Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0002-5715-4954>;

**Alua Tanirbergenova** — PhD, senior lecturer of the Cybersecurity School, Euroasian National University named after L.N. Gumilyev, Astana, Kazakhstan

<https://orcid.org/0000-0001-8555-7315>.

© A.S. Abdiraman, L.S. Aldasheva, A.S. Amirova, D. Sagidullauly, A.S. Tanirbergenova

**Abstract.** This article analyzes current research in the field of mobility management in ultra-dense networks. It examines key challenges and promising approaches to ensuring stable connectivity in high-density device environments with small cell sizes. The transition to 5G/6G networks, the implementation of the Internet of Things (IoT), the development of drone-based networks, and the use of millimeter waves impose new requirements for handover management and network resource adaptation. Particular attention is given to the impact of new communication standards on ICT infrastructure architecture, including the integration of wireless networks with cloud computing, quantum communications, and artificial intelligence. Both traditional mobility management algorithms and adaptive mechanisms based on machine learning, self-optimization, and intelligent systems are considered. The article provides

an overview of modern methods for ensuring connection continuity in high-mobility networks, analyzing their efficiency and limitations. Additionally, it discusses future directions for ICT infrastructure development aimed at improving data transmission reliability and reducing latency in next-generation ultra-dense networks.

**Keywords:** 5G, 6G, ultra-dense networks, handover, mobility management, artificial intelligence

**For citation:** A.S. Abdiraman, L.S. Aldasheva, A.S. Amirova, D. Sagidullauly, A.S. Tanirbergenova. Issues of handover in ultra-dense networks // International journal of information and communication technologies. 2025. Vol. 6. No. 24. Pp. 43–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.003>.

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

## АСА ТЫҒЫЗЖЕЛІЛЕРДЕГІ ҚОСЫЛУДЫ ТАСЫМАЛУ МӘСЕЛЕЛЕРІ

*Ә.С. Әбдіраман<sup>1</sup>, Л.С. Алдашева<sup>1</sup>, А.С. Амирова<sup>1</sup>, Д. Сағидуллаұлы<sup>1</sup>,  
А. Танирбергенова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Astana IT University, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан.

E-mail: a.s.abdiraman@gmail.com

**Әбдіраман Әлия** — Магистр, Киберқауіпсіздік Мектебінің сеньор лекторы, Astana IT University

E-mail: a.s.abdiraman@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5494-0223>;

**Алдашева Лаура** — т.ғ.к, Киберқауіпсіздік Мектебінің ассистент профессоры, Astana IT University

<https://orcid.org/0000-0001-6815-1989>;

**Сағидуллаұлы Даурен** — Киберқауіпсіздік Мектебінің сеньор лекторы, Astana IT University

<https://orcid.org/0009-0004-0996-0275>;

**Амирова Акжибек** — PhD, Киберқауіпсіздік Мектебінің ассистент профессоры, Astana IT University

<https://orcid.org/0000-0002-5715-4954>;

**Танирбергенова Алуа** — PhD, Жүйелік анализ және басқару кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ

<https://orcid.org/0000-0001-8555-7315>.

© Ә.С. Әбдіраман, Л.С. Алдашева, А.С.Амирова, Д.Сағидуллаұлы, А.Танирбергенова

**Аннотация.** Бұл мақалада аса тығыз желілердегі мобильділікті басқару саласындағы өзекті зерттеулерге талдау жасалған. Жоғары құрылғылар тығыздығы мен шағын ұяшық өлшемдері жағдайында тұрақты қосылымды қамтамасыз етудің негізгі мәселелері мен перспективалық





тәсілдері қарастырылады. 5G/6G желілеріне көшу, заттар интернетін (IoT) енгізу, дрон желілерін дамыту және миллиметрлік толқындарды пайдалану хэндоверді басқару мен желілік ресурстарды бейімдеуге жаңа талаптар қояды. Әсіресе, жаңа байланыс стандарттарының бұлттық есептеулермен, кванттық коммуникациялармен және жасанды интеллектпен біріктірілген сымсыз желілерге әсеріне ерекше назар аударылады. Мақалада дәстүрлі мобильділікті басқару алгоритмдерімен қатар, машиналық оқытуға, өзін-өзі оңтайландыруға және интеллектуалды жүйелерге негізделген бейімделгіш механизмдер қарастырылады. Жоғары мобильділік желілерінде қосылымның үздіксіздігін қамтамасыз етудің заманауи әдістеріне шолу жасалып, олардың тиімділігі мен шектеулері талданады. Сонымен қатар, жаңа буын аса тығыз желілерінде деректерді берудің сенімділігін арттыруға және кідірісті азайтуға бағытталған ИКТ инфрақұрылымын дамытудың болашақ бағыттары талқыланады.

**Түйін сөздер:** 5G, 6G, өте тығыз желілер, тапсыру, ұтқырлықты басқару, жасанды интеллект

**Дәйексөздер үшін:** Ә.С. Әбдіраман, Л.С. Алдашева, А.С.Амирова, Д.Сагидуллаулы, А.Танирбергенова. Аса тығызжелілердегі қосылуды тасымалу мәселелері // еждународный журнал информации и коммуникационной тех-нологии. 2025. Vol. 6. No. 24. Рр. 43–58. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.003>.

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

## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ СОЕДИНЕНИЯ В СВЕРХПЛОТНЫХ СЕТЯХ

*А.С. Абдираман<sup>1</sup>, Л.С. Алдашева<sup>1</sup>, А.С. Амирова<sup>1</sup>, А. Танирбергенова<sup>2</sup>,  
Д. Сагидуллаулы<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Астана ИТ университет, Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

E-mail: a.s.abdiraman@gmail.com

**Абдираман Алия** — магистр, сениор лектор Департамента интеллектуальных систем и кибербезопасности, Астана ИТ университет

E-mail: a.s.abdiraman@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5494-0223>;

**Алдашева Лаура** — к.т.н., ассистент профессор Школы кибербезопасности, Астана ИТ университет

<https://orcid.org/0000-0001-6815-1989>;

**Сагидуллаулы Даурен** — магистр, преподаватель Школы кибербезопасности, Астана ИТ университет

<https://orcid.org/0009-0004-0996-0275>;

**Амирова Акжибек** — PhD, ассистент профессор Школы кибербезопасности, Астана ИТ университет

<https://orcid.org/0000-0002-5715-4954>;

**Танирбергенова Алуа** — PhD, старший преподаватель, кафедры системного анализа и управления ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

<https://orcid.org/0000-0001-8555-7315>.

© А.С. Абдираман, Л.С. Алдашева, А.С.Амирова, Д. Сагидуллаулы, А.Танирбергенова

**Аннотация.** В данной статье проведен анализ актуальных исследований в области управления мобильностью в сверхплотных сетях. Рассматриваются основные проблемы и перспективные подходы к обеспечению стабильного соединения в условиях высокой плотности устройств и малых размеров сот. Переход к сетям 5G/6G, внедрение интернета вещей (IoT), развитие дроновых сетей и использование миллиметровых волн предъявляют новые требования к управлению хэндовером и адаптации сетевых ресурсов. Особое внимание уделяется влиянию новых стандартов связи на архитектуру ИКТ-инфраструктуры, включая интеграцию беспроводных сетей с облачными вычислениями, квантовыми коммуникациями и искусственным интеллектом. Рассматриваются как традиционные алгоритмы управления мобильностью, так и адаптивные механизмы, основанные на машинном обучении, самооптимизации и интеллектуальных системах. В статье приведен обзор современных методов обеспечения непрерывности соединения в сетях с высокой мобильностью, анализируются их эффективность и ограничения. Также обсуждаются перспективные направления развития ИКТ-инфраструктуры, направленные на повышение надежности передачи данных и снижение задержек в условиях сверхплотных сетей нового поколения.

**Ключевые слова:** 5G, 6G, сверхплотные сети, хэндовер, управление мобильностью, искусственный интеллект, ИКТ

**Для цитирования:** А.С. Абдираман, Л.С. Алдашева, А.С. Амирова, Д. Сагидуллаулы, А. Танирбергенова. Проблемы передачи соединения в сверхплотных сетях // Международный журнал информации и коммуникационной технологии. 2025. Vol. 6. No. 24. Рр. 43–58. (На русс.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.24.4.003>.

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

## Введение

За последние три десятилетия мобильные сети претерпели значительное революционное развитие (Kamel et al., 2016). Потенциал 5G и 6G значительно расширился, что привело к разработке множества новых сценариев использования и применению принципиально новых эффективных подходов. Постоянное развитие систем мобильной связи 5G и 6G выявляет существенные ограничения этих сетей. Мобильная сеть 5G уже развернута в некоторых регионах мира.





Ожидается, что к концу 2025 года около 65% населения мира будет иметь доступ к сети 5G (Chen et al., 2016), а к 2026 году их число достигнет 3,5 миллиарда (Hao et al., 2016).

В сетях 5G традиционно выделяют три ключевых усовершенствования: расширенный мобильный широкополосный доступ (enhanced mobile broadband, eMBB), массовые коммуникации между устройствами (massive machine-type communications, mMTC) и ультранадежные связи с низкой задержкой (ultra-reliable low-latency communications, URLLC). Каждое из этих направлений имеет высокие требования, такие как обеспечение более широкой зоны покрытия, увеличение емкости сети, высокая надежность и минимизация задержек. Очевидно, что каждый сценарий использования 5G требует различных стратегий передачи данных, влияющих на нагрузку сигнального трафика, энергопотребление и задержку передачи (Banafaa et al., 2024).

Кроме того, 5G обеспечивает широкие возможности подключения, включая Интернет вещей (IoT), взаимодействие «машина-машина» (M2M), связь «устройство-устройство» (D2D), технологии «автомобиль-все» (V2X) и Bluetooth. В совокупности эти технологии повлияют на способы взаимодействия бизнеса, государственных структур и потребителей в физическом мире (Gures et al., 2020). В течение следующего десятилетия указанные выше сервисы станут ключевыми компонентами крупнейших мировых рынков устройств (Alraih et al., 2022).

Следовательно, ожидается, что в сетях 5G появятся сотни тысяч одновременных подключений, необходимых для массового развертывания данных сервисов, а в предстоящих сетях 6G эта задача станет еще более сложной (Покаместов et al., 2024). Эти разнообразные типы подключенных сервисов предъявляют высокие требования к скорости передачи данных и требуют чрезвычайно широкого спектра частот.

### **Материалы и методы.**

#### ***Эволюция и перспективы развития мобильных сетей: от 5G к 6G***

Разработка и внедрение сетей 5G (Fifth Generation — пятое поколение беспроводной мобильной связи) неизбежно привело к возникновению новых концепций построения сетей мобильной связи (Angjo et al., 2021). Огромный объем трафика, обусловленный потребностью современного поколения, требует изменения парадигмы во всех аспектах работы мобильных сетей. Новые сетевые сервисы, такие как видео высокого разрешения, дополненная реальность, облачные вычисления и интернет вещей определяют требования к современным сетям. Сети 5G позволяют в сотни раз увеличить пропускную способность по сравнению с предыдущим поколением 4G (Fourth Generation — четвертое поколение беспроводной мобильной связи). Развитие концепции было продиктовано внедрением поддержки сот малых размеров (фемтосоты, пикосоты и микросоты). Несмотря на статус внедренного стандарта 5G, исследования в области многих аспектов в рамках стандарта продолжают до сих пор (Shayea

et al., 2022).

В настоящее время ведутся активные исследования по разработке будущего стандарта мобильной связи 6G (Sixth Generation — шестое поколение беспроводной мобильной связи). Технология шестого поколения (6G) мобильных сетей установит новые стандарты производительности мобильных сетей (Alshaibani et al., 2022). Это связано с высокими требованиями к новым сервисам на основе искусственного интеллекта, сверхнизким задержкам, экстремальной скорости передачи данных в сети и поддержке огромного количества различных подключенных приложений. Высокие требования к скорости передачи и задержке вынуждают искать решение в новых частотных диапазонах (рис. 1). Возросшая сложность будущего стандарт мобильной связи привлекает внимание огромного количества исследователей со всего мира, среди которых лидируют коллективы из КНР, Южной Кореи, США и Европы.

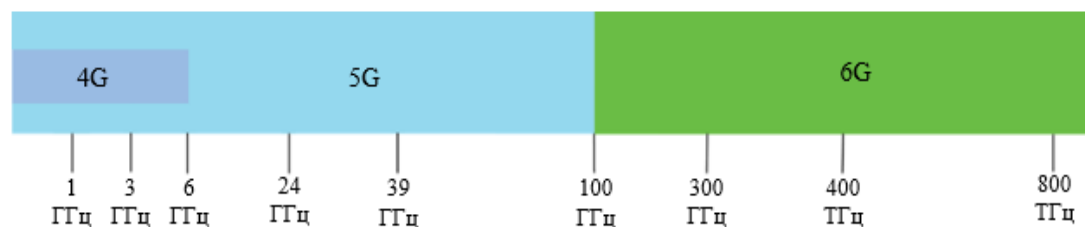


Рис.1. Частотный диапазон 4G/5G и ожидаемый диапазон 6G

Сверхплотный сценарий развертывания сети будет ключевым для стандарта 6G, но он также применим и для сетей пятого поколения. Несмотря на концентрацию особого внимания вокруг активной разработки стандарта 6G, исследования в области 5G продолжают, поэтому в данной работе представлен обзор публикаций в рамках обоих стандартов связи. Развертывание сверхплотных базовых станций на малых сотах в мобильных сетях следующего поколения — одна из важнейших задач для исследователей. Управление мобильностью — критический вопрос, требующий особого внимания для достижения высоконадежного соединения мобильных пользовательских устройств. Задача усложняется тем, что новый стандарт мобильной связи должен быть полностью совместим с предыдущим поколением, например, при внедрении сверхплотных малых сот 5G параллельно с текущими сетями 4G. Таким образом, исследования в области управления хэндовером в будущих сценариях развертывания мобильных сетей в настоящий момент являются очень востребованными и актуальными.

В таблице 1 представлено сравнение ключевых характеристик стандартов 4G, 5G и 6G, включая частотный диапазон, задержку, скорость передачи данных и поддержку устройств. Эти параметры демонстрируют эволюцию мобильных сетей от четвертого к шестому поколению и отражают их влияние на современные технологии и приложения.

Таблица 1. Сравнение ключевых характеристик стандартов 4G, 5G и 6G

Характеристика	4G			5G	6G
Частотный диапазон	2-8 ГГц			3-100 ГГц	100 ГГц – 1ТГц
Задержка	50 мс	1–10 мс	Менее 1 мс		
Скорость передачи данных	До 1 Гбит/с			До 20 Гбит/с	До 1 Тбит/с
Поддержка устройств	Ограниченная поддержка IoT, базовые устройства	Массовая поддержка IoT, смартфоны, дроны	Интеллектуальные устройства, IoT 2.0, квантовые сети		

В представленной таблице показано сравнение ключевых характеристик стандартов мобильной связи 4G, 5G и 6G, демонстрирующее эволюцию технологий. Частотный диапазон увеличился с 2-8 ГГц в 4G до 3-100 ГГц в 5G и до ожидаемого диапазона 100 ГГц - 1 ТГц в 6G. Такое расширение позволяет использовать более высокие частоты для передачи данных, что способствует увеличению пропускной способности. Задержка соединения значительно сократилась: с 50 мс в 4G до 1–10 мс в 5G и менее 1 мс в 6G, что делает сети следующего поколения более подходящими для приложений, требующих мгновенного отклика.

Таблица также демонстрирует экспоненциальный рост скорости передачи данных: от 1 Гбит/с в 4G до 20 Гбит/с в 5G и ожидаемого 1 Тбит/с в 6G. Что касается поддержки устройств, 4G предоставляет ограниченные возможности для IoT, тогда как 5G массово поддерживает IoT, смартфоны и дроны. В 6G акцент будет сделан на интеллектуальных устройствах, IoT 2.0 и квантовых сетях, что откроет новые горизонты для технологий умных городов, промышленной автоматизации и здравоохранения. Эта таблица подчеркивает ключевые изменения, определяющие будущее мобильных сетей.

Согласно терминологии мобильных сетей, хэндовером называют процесс переключения мобильной станции от одной базовой станции к другой. Сбой хэндовера является одной из основных проблем мобильности, поэтому одной из основных задач 5G является управление мобильностью. Развертывание большого количества малых сот в сети приводит к увеличению границ сот и усилению межсотового взаимодействия, что приводит к частым переключениям между базовыми станциями и увеличению числа отказов. Негативное частое переключение абонентского терминала между базовыми станциями в англоязычной литературе называется пинг-понгом хэндовера, или PPНО (Ping-Pong Handover). PPНО снижает производительность сети, поскольку приводит к излишнему потреблению энергии, что критично для мобильных

устройств. Дополнительная нагрузка на сеть возникает при отказах хэндовера, поэтому в рамках исследований в области управления мобильностью данные факторы должны учитываться в первую очередь.

### **Результаты и обсуждение.**

#### ***Влияние 5G/6G в развитие ИКТ***

Поддержка бесперебойного соединения мобильных пользователей – важнейшая задача, которая требует решения в мобильных гетерогенных сетях (HetNet). Проблемы обусловлены различными факторами, такими как использование миллиметровых волн, массовый рост подключенного мобильного оборудования, дублирование развертывания сетей, внедрение двойного подключения, агрегация частот, появление подключенных БПЛА, массовое развертывание малых сот и требования к скорости передачи. В работе (Khan et al., 2022) представлен всесторонний обзор управления хэндовером в будущих мобильных сверхплотных сетях HetNet. В ней обсуждаются различные методы управления мобильностью и хэндовером, рассматриваются некоторые ключевые проблемы, возможности и перспективные решения.

Авторы (Alhammadi et al., 2018) предложили динамическое управление параметрами хэндовера в сетях HetNet с плотными малыми ячейками. Результаты моделирования показывают, что предложенный алгоритм значительно снижает вероятность скачкообразных переключений и прерывания связи, тем самым улучшая производительность сети.

В работе (Shayea et al., 2020) рассматриваются ключевые факторы, которые будут в значительной степени способствовать росту проблем мобильности. Кроме того, обсуждаются инновационные, передовые, эффективные и интеллектуальные методы передачи данных, которые были внедрены в сетях 5G. В исследовании также выделены основные проблемы существующих сетей, а также направления будущих исследований в области управления мобильностью в сетях 5G и выше.

Авторы (Alhammadi et al., 2020) предлагают алгоритм самооптимизации на основе скорости для управления параметрами хэндовера в сетях 4G/5G. Предложенный алгоритм использует полученную мощность и скорость пользователя для настройки запаса НО и времени срабатывания во время мобильности пользователя в сети. Результаты моделирования показывают, что предложенный алгоритм позволяет значительно сократить количество скачков передачи при хэндовере по сравнению с другими существующими алгоритмами, превосходя их в среднем более чем на 70 % по всем показателям производительности НО.

В исследовании (Alraih et al., 2022) предлагаются различные настройки системы управления хэндовером для изучения и анализа в сетях 5G и выше. Результаты показывают, что различные настройки системы оказывают различное и значительное влияние на производительность сети. В работе продемонстрировано, что для повышения эффективности управления

хэндовером параметры системы должны быть тщательно подобраны с учетом мобильной среды и сценария использования.

Одна из важнейших технологий хэндовера известна как оптимизация устойчивости мобильности, которая связана с настройкой параметров управления хэндовером. В статье (Alraih et al., 2022) предлагается надежная техника оптимизации хэндовера с контроллером на основе нечеткой логики. Предлагаемый метод направлен на автоматическую настройку параметров хэндовера на основе информации о мощности и качестве принимаемого опорного сигнала, а также скорости перемещения мобильных станций. Методика проверена в различных сценариях мобильности в сетях 5G. Результаты показывают, что метод имеет значительно лучшую производительность по сравнению с другими. В работе показано, что метод до 95,5 % эффективнее по рассматриваемым метрикам производительности хэндовера.

В работе (Saad et al., 2023) приведен анализ эффективности самооптимизации балансировки нагрузки в сотовых сетях пятого поколения. Также в статье представлен краткий обзор балансировки нагрузки в мобильных сетях 5G и 6G, выделены источники проблем, технические трудности, некоторые из предложенных решений и обозначены исследовательские задачи, которые необходимо решить на втором этапе развития мобильных сетей 5G и 6G. В то же время освещаются исследования, которые были проведены в литературе для решения этих проблем. Также в исследовании предложена имитационная модель, которая может быть использована для изучения, исследования и анализа самооптимизации балансировки нагрузки в мобильных сетях 5G с различными сценариями скорости передачи данных. Результаты моделирования показывают, что оптимизация на основе алгоритма расстояния продемонстрировала заметное повышение производительности для различных сценариев скорости передвижения в течение всего времени моделирования по сравнению с алгоритмом на основе нечеткой логики. Полученные результаты указывают на то, что местоположение пользователя является важным фактором при оптимизации параметров управления хэндовером в будущих мобильных сетях.

В работе (Alhammad et al., 2020) авторы предлагают алгоритм оптимизации с автонастройкой, который учитывает скорость передвижения пользователя и опорную мощность принимаемого сигнала для адаптации управления хэндовером. Предложенный алгоритм направлен на снижение количества частых срабатываний хэндовера и коэффициента отказов переключения передачи. Результаты моделирования показывают, что средняя частота пинг-понга хэндовера значительно снижается с помощью предложенного алгоритма по сравнению с другими алгоритмами из литературы. Кроме того, алгоритм обеспечивает низкий процент обрывов вызовов и уменьшает задержку и время прерывания хэндовера в сетях HetNet.

В работе (Shayea et al., 2020) предлагается алгоритм

индивидуализированной динамической оптимизации параметров хэндовера на основе автоматической весовой функции для сетей 5G. Этот алгоритм динамически оценивает параметры управления хэндовером для каждого отдельного абонентского терминала. Алгоритм учитывает три независимые ограниченные функции: отношение сигнал/шум, нагрузка соты и скорость перемещения абонента. С помощью адаптивного алгоритма рассчитывается автоматическая весовая функция для оценки веса каждой выходной ограниченной функции. После этого итоговый результат используется в качестве индикатора для автоматической оптимизации настроек хэндовера для конкретного пользователя. Алгоритм проверен на различных условиях мобильности в сети 5G. Результаты моделирования показывают, что предложенный алгоритм обеспечивает заметные преимущества в условиях различных сценариев по сравнению с существующими алгоритмами самооптимизации параметров хэндовера.

В работе (Alhammadī et al., 2023) приведен анализ производительности различных алгоритмов оптимизации устойчивости мобильности с различными настройками системы и сценариями для сети 5G. Рассматриваются алгоритмы на основе расстояния, функции стоимости, контроллер нечеткой логики и индикатор производительности хэндовера. Результаты моделирования показывают, что последний алгоритм более чувствителен к сценариям скорости мобильной связи с течением времени и позволяет значительно снизить вероятность пинг-понга хэндовера по сравнению с другими алгоритмами.

По итогам проведенного литературного обзора была составлена таблица 2 с описанием ключевых аспектов управления мобильностью в 5G/6G. В данной таблице отражены различные аспекты управления мобильностью в 5G/6G.

Таблица 2. Ключевые аспекты управления мобильностью в 5G/6G

Аспект		Описание	Примеры исследований
Основные проблемы управления мобильностью	Проблемы частого переключения (ping-pong handover), возросшее число подключенных устройств, влияние миллиметровых волн и развертывание БПЛА.	Работы (Alshaibani et al., 2022; Khan et al., 2022; Alhammadī et al., 2018)	акцентируют на проблемах частого переключения и сбоев.
Решения на основе машинного обучения	Использование нейросетей, алгоритмов глубокого обучения и обучения с подкреплением для адаптации параметров хэндовера.	Работы (Alhammadī et al., 2023; Saad et al., 2022; Yazici et al., 2023)	описывают использование глубоких нейронных сетей и методов машинного обучения.





Преимущества подходов на основе ИИ	Улучшение скорости передачи данных, снижение частоты сбоев и обрывов соединений, адаптивное управление мобильностью.	Работы (Shayea <i>et al.</i> , 2020; Alhammadi <i>et al.</i> , 2020) подтверждают улучшение производительности благодаря ИИ.
Задачи для сетей 5G	Оптимизация хэндоверов, обеспечение высокой пропускной способности и надежности соединений.	Работы (Shayea <i>et al.</i> , 2022; Alshaibani <i>et al.</i> , 2022; Khan <i>et al.</i> , 2022) направлены на оптимизацию параметров и снижение сбоев.
Задачи для сетей 6G	Интеграция частот выше 100 ГГц, повышение эффективности использования спектра, адаптация к сверхплотным сценариям.	Работы (Gures <i>et al.</i> , 2020; Banafaa <i>et al.</i> , 2023; Alraih <i>et al.</i> , 2022) изучают сценарии использования частот терагерцового диапазона.

Ключевые направления включают интеллектуальные города, кибербезопасность, IoT, квантовые сети и дроны. Наибольшая доля приходится на интеллектуальные города (40 %), что подчеркивает значимость 6G в развитии цифровых экосистем и улучшении качества жизни. Остальные области, такие как кибербезопасность (25 %) и IoT (20 %), также играют важную роль, обеспечивая более безопасные и эффективные технологические решения.

На рисунке 3 представлено распределение ожидаемых областей применения технологий 6G.

Хэндовер на основе искусственного интеллекта. Интеллектуальные транспортные системы, интеллектуальная энергетика, цифровые близнецы, беспилотные летательные аппараты, интеллектуальное здравоохранение, кибербезопасность являются значительными вариантами использования, для которых большие данные играют важную роль. Большой объем данных влечет за собой более интеллектуальные системы по сравнению с традиционными методами, а также влечет за собой значительное сокращение времени отклика для вариантов использования. Модели искусственного интеллекта и машинного обучения отлично подходят для удовлетворения требований этих ситуаций с большими данными для различных вариантов использования. В работе представлен обзор приложений машинного обучения и искусственного интеллекта для различных вариантов использования, поддерживаемых будущими системами мобильной связи, а также типов машинного обучения и искусственного интеллекта для понимания концепций интеллектуальных методов.

## Ожидаемые области применения 6G

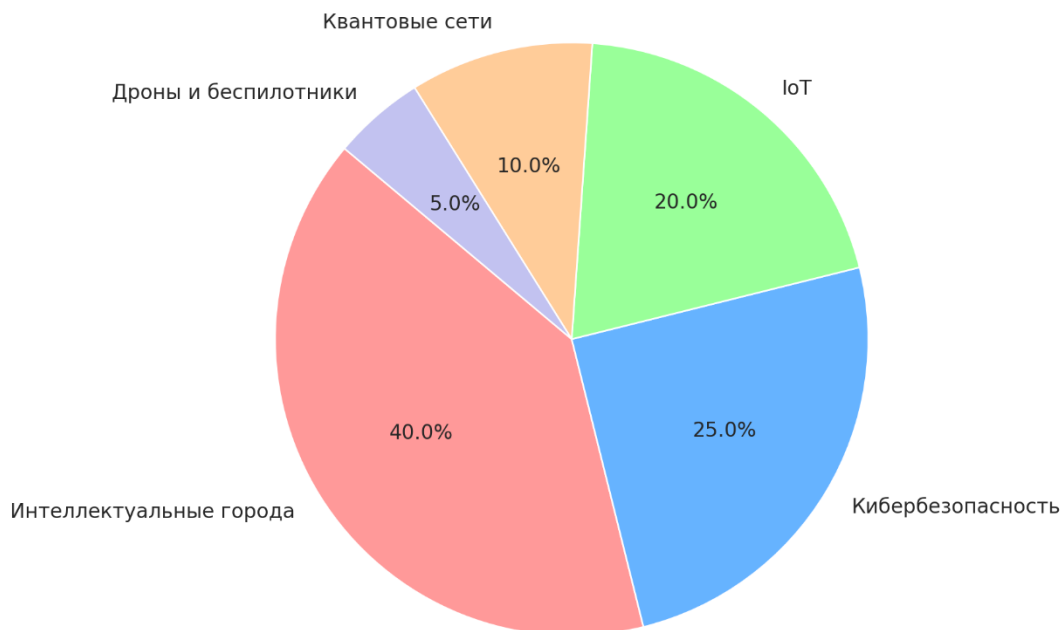


Рис.3. Ожидаемые области применения технологий 6G

Авторы (Shayea et al., 2020) предлагают решение, основанное на прогнозировании будущих выборок стандартных опорных сигналов с использованием сетей с длинной краткосрочной памятью на первом этапе. После этого прогнозируемые выборки мощности отправляются в алгоритм двоичной классификации для определения, приведет ли временной ряд к запуску передачи или нет. Результаты показывают среднюю абсолютную погрешность около 0,6 дБ при прогнозировании выборок сигнала мощности и более 97% точности, что указывает на будущий момент запуска передачи. Также в работе приведены возможные варианты использования для реализации модели, включая архитектуры Open RAN и MEC.

Работа (Alhammadi et al., 2020) посвящена автоматизации мобильной связи пятого поколения на основе использования искусственного интеллекта. Авторы предлагают использовать рекуррентные нейронные сети GRU, так как они обеспечивают быструю реакцию на изменения окружающей среды, что часто встречается в беспроводных сетях. Также предлагается использовать трехуровневую модель для интеграции искусственного интеллекта в мобильную сеть. Это позволит эффективно увеличить объем полезной информации, передаваемой по каналу, и сократить служебную информацию. Результат достигается за счет того, что на каждом устройстве, содержащем

блок с нейронной сетью, вся персональная и конфиденциальная информация будет обрабатываться локально, а на основной сервер Базы знаний будут отправляться только результаты работы нейронных сетей, которые будут пригодны только для дальнейшей обработки нейронной сетью. Такой подход позволит существенно сократить объем служебного трафика, который будет передаваться по каналам связи.

В работе (Saad et al., 2023) рассмотрен особый сценарий – передача данных в диапазоне видимого света. Такой подход считается важной дополнительной технологией для достижения высокой скорости передачи данных в 6G, и он вполне может стать частью гибридной архитектуры внутренней сети 6G со сверхплотным развертыванием точек доступа, что представляет серьезные проблемы для мобильности пользователей. Для преодоления этих проблем предлагается адаптивный механизм передачи, который включает в себя бесшовный протокол передачи и алгоритм выбора, оптимизированный с помощью метода глубокого обучения с подкреплением. Результаты моделирования авторов показывают, что средняя скорость передачи данных по нисходящей линии связи с предлагаемым алгоритмом может быть на 48% выше, чем с традиционными алгоритмами.

В целом, в научной литературе встречается огромное множество работ с описанием алгоритмов машинного обучения для управления мобильностью в самых различных видах мобильной связи, включая подводные сети, сети БПЛА, наземные и спутниковые беспроводные сети мегагерцового, гигагерцового и терагерцового диапазона. Обзор таких методов стоит отдельного внимания и выходит за рамки текущей работы.

В результате анализа представленной литературы были выделены факторы, влияющие на производительность хэндовера, а также основные проблемы управления мобильностью в условиях сверхплотного развертывания мобильных сетей. Также в данном разделе приведены основные решения для эффективной реализации хэндовера в условиях сверхплотного развертывания. Использование миллиметровых волн в ИКТ-инфраструктуре

Переход в диапазон миллиметровых и терагерцовых волн (mmWave, THz) в сетях 6G — это важное изменение, обусловленное физическими принципами распространения радиоволн. Чем выше частота, тем больше потери сигнала, и тем сильнее связь зависит от прямой видимости, а также от климатических условий. В ИКТ-сетях будущего для компенсации этих эффектов планируется использование интеллектуальных отражающих поверхностей (IRS), адаптивных антенн Massive MIMO и алгоритмов ИИ для динамического управления лучами. Эти технологии позволят повысить устойчивость связи и снизить влияние затухания сигналов в плотных городских зонах и удаленных районах.

В условиях роста числа подключенных устройств и высокой плотности размещения базовых станций необходимо оптимизировать алгоритмы мобильности. Двойное подключение и агрегация поднесущих позволяют

устройствам работать одновременно в нескольких сетях (например, 5G и 6G), используя сразу несколько частотных диапазонов для повышения надежности соединения. Кроме того, сети на основе БПЛА и спутников будут активно применяться для расширения зоны покрытия и повышения устойчивости связи в труднодоступных районах. Управление мобильностью в таких гетерогенных средах потребует использования интеллектуальных платформ на основе ИИ, которые смогут адаптироваться к изменяющимся условиям.

Современные исследования показывают, что в ИКТ-инфраструктуре 6G ключевую роль сыграют самооптимизирующиеся механизмы хэндовера. Традиционные методы управления параметрами переключений (HCP) не способны одинаково эффективно работать во всех условиях, поэтому ИИ и машинное обучение будут использоваться для динамической адаптации сетевых параметров в реальном времени. Глубокие нейронные сети смогут анализировать множество факторов (загруженность базовых станций, шумовую обстановку, качество канала) и оптимизировать процесс передачи данных между узлами сети. Внедрение квантовых сетей и голографической связи дополнительно усложнит задачи управления мобильностью, но параллельное развитие ИИ-алгоритмов позволит обеспечивать надежность и высокую производительность ИКТ-инфраструктуры будущего.

### **Выводы**

Сети шестого поколения (6G) станут ключевым элементом ИКТ-инфраструктуры будущего, обеспечивая беспрецедентные скорости передачи данных, сверхнизкие задержки и массовую подключаемость. В отличие от 5G, 6G будет интегрировать передовые технологии, такие как искусственный интеллект, машинное обучение и распределенные вычисления, создавая интеллектуальные сети с высокой степенью автономности. Эти улучшения позволят поддерживать сложные цифровые сервисы, включая умные города, промышленный интернет вещей (IIoT) и новые уровни автоматизации производственных процессов.

Одним из революционных направлений 6G станет внедрение квантовых сетей, обеспечивающих абсолютную защиту передаваемых данных с использованием квантовой криптографии. Это особенно важно для государственных структур, финансового сектора и стратегически значимых отраслей, где защита информации играет решающую роль. Кроме того, 6G предполагает развитие голографической связи, которая заменит традиционные видеозвонки интерактивными 3D-проекциями. Такая технология найдет применение в медицине (например, в телехирургии), в сфере образования (дистанционное обучение с эффектом присутствия) и в бизнесе (виртуальные совещания без VR-устройств).

Для обеспечения глобального покрытия и высокой доступности связи 6G интегрирует спутниковые системы, создавая единое пространство связи между наземными и орбитальными сетями. Это позволит обеспечить высокоскоростной



интернет в удаленных регионах, улучшить системы мониторинга и управления беспилотными устройствами, а также повысить надежность критически важных коммуникаций. Благодаря этим технологиям 6G станет фундаментом цифровой трансформации, обеспечивая связь нового уровня для всех сфер экономики и общества.

Вопросы управления мобильностью в современных и перспективных ИКТ-инфраструктурах приобретают особую значимость в контексте развития сверхплотных сетей 6G. В настоящий момент существуют четко определенные критерии хэндовера в наземных мобильных сетях и сетях с участием БПЛА. Однако с расширением частотного диапазона 6G-технологий, многие традиционные механизмы сетевого управления потребуют адаптации к новым условиям. Повышенные рабочие частоты и высокая плотность подключения устройств создадут дополнительные сложности в управлении мобильностью, требуя принципиально новых подходов. В данной работе рассматриваются ключевые проблемы управления мобильностью, возникающие в ИКТ-среде будущего, а также анализируются актуальные методы адаптации хэндовера, включая самооптимизирующиеся алгоритмы.

Одним из перспективных направлений автоматизации сетевого управления в ИКТ-инфраструктуре 6G является применение методов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Развитие технологий обработки данных позволило выявить значительный потенциал адаптивных и когнитивных сетей, способных самостоятельно обучаться и оптимизировать процессы передачи данных. Наиболее эффективными подходами в этом направлении являются алгоритмы глубокого обучения, обучения с подкреплением, а также ансамблевые методы. В работе проанализированы различные типы машинного обучения и их применимость к управлению мобильностью, с учетом высокой плотности устройств и гетерогенности будущих 6G-сетей.

Результаты проведенных исследований показывают, что самые перспективные стратегии управления мобильностью в ИКТ-инфраструктуре 6G основываются на использовании интеллектуальных алгоритмов машинного обучения. Авторы современных работ рассматривают как традиционные методы МО, так и сложные комбинированные алгоритмы, адаптируемые под голографическую связь, квантовые сети и спутниковые системы 6G. Следующим этапом исследований станет углубленный анализ наиболее подходящих решений для автоматизированного управления сетью, а также их интеграция с виртуальными сетевыми инфраструктурами для обеспечения высокой надежности и гибкости будущих цифровых экосистем.

**Финансирование.** Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровня жизни горожан».

## REFERENCES

- Alhammadi A., Bouktif S., Elhajj I.H. & Habaebi M.H. (2020). Auto tuning self-optimization algorithm for mobility management in LTE-A and 5G HetNets. — *IEEE Access*, 2020. — Pp. 294–304. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2961186.
- Alhammadi A., Bouktif S., Elhajj I.H. & Al-Mashaqbeh I.A. (2023). Intelligent coordinated self-optimizing handover scheme for 4G/5G heterogeneous networks. — *ICT Express*, 2023. — Pp. 276–281. DOI: 10.1016/j.icte.2022.04.013.
- Chen S., Qin Y., Hu J., Li B. & Liang Y.C. (2016). User-centric ultra-dense networks for 5G: Challenges, methodologies, and directions. — *IEEE Wireless Communications*, 2016. — Pp. 78–85. DOI: 10.1109/MWC.2016.7462488.
- Hao P., Ding M., Liu B., Elkashlan M., Li W. & Hanzo L. (2016). Ultra dense network: Challenges enabling technologies and new trends. — *China Communications*, 2016. — Pp. 30–40. DOI: 10.1109/CC.2016.7405723.
- Gures E., Ergul M., Yigit M. & Kurt G.K. (2020). A comprehensive survey on mobility management in 5G heterogeneous networks: Architectures, challenges and solutions. — *IEEE Access*, 2020. — Pp. 195883–195913. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3030762.
- Покаместов Д.А., Крюков Я.В., Абенов Р.Р., Исмаилов К.И. & Зейнуллин А.Ж. (2024). Системы связи 6G: концепция, тренды, технологии физического уровня. — *Радиотехника и электроника*, 2024. — Pp. 3–33. DOI: 10.31857/S0033849424010016.
- Shayea I., Din J., Ali I., Alshaibani W.T. & Habaebi M.H. (2022). Handover management for drones in future mobile networks—A survey. — *Sensors*, 2022. — Vol. 22(17). DOI: 10.3390/s22176424.
- Shayea I., Din J., Ali I., Alshaibani W.T. & Habaebi M.H. (2020). Key challenges, drivers and solutions for mobility management in 5G networks: A survey. — *IEEE Access*, 2020. — Pp. 172534–172552. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3023802.
- Saad W.K., Al-Khateeb A. & Al-Rubaye S. (2023). Handover and load balancing self-optimization models in 5G mobile networks. — *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2023. DOI: 10.1016/j.jestch.2023.101418.
- Shayea I., Din J., Ali I. & Alshaibani W.T. (2020). Individualistic dynamic handover parameter self-optimization algorithm for 5G networks based on automatic weight function. — *IEEE Access*, 2020. — Pp. 214392–214412. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3037048.
- Saad W.K., Shakir M.Z. & Habib W. (2022). Performance evaluation of mobility robustness optimization (MRO) in 5G network with various mobility speed scenarios. — *IEEE Access*, 2022. — Pp. 60955–60971. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3173255.
- Yazici I., Shayea I. & Din J. (2023). A survey of applications of artificial intelligence and machine learning in future mobile networks-enabled systems. — *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2023. DOI: 10.1016/j.jestch.2023.101455.





**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ  
КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖУРНАЛЫ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ИНФОРМАЦИОННЫХ И  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:

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

ISSN 2708–2032 (print)

ISSN 2708–2040 (online)

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР  
**Мрзабаева Раушан Жалиқызы**

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР  
**Ермакова Вера Александровна**

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР  
**Рашидинов Дамир Рашидинович**

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА  
**Асанова Жадыра**

Подписано в печать 15.12.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф. 9,0 п.л. Тираж 100  
050040 г. Алматы, ул. Манаса 34/1, каб. 709, тел: +7 (727) 244-51-09).

---

Издание Международного университета информационных технологий  
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59