

# 5G желісі негізінде IoT енгізу тиімділігін бағалау

<sup>1</sup>КЕНГЕСБАЕВА Сара Сапарғалиқызы, магистрант, sarakengesbayeva@gmail.com,

<sup>1\*</sup>ТАЙСАРИЕВА Кырмызы Нурлановна, PhD, қауымдастырылған профессор, taisarieva@mail.ru,

<sup>1</sup>ДЖОБАЛАЕВА Гулим Сасановна, докторант, gulim\_sasanovna@mail.ru,

<sup>1</sup>«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Соңғы жылдары сымсыз технологиялар әлемдік деңгейде белсенді түрде дамып келеді. Сымсыз технологиялар нарығында 5G технологиясы сымсыз байланыс жүйелерін зерттеудегі ең күрделі, ауқымды әрі қызықты тақырыпқа айналды. Жұмыстың мақсаты – 5G желісінде Заттар Интернетін (IoT) енгізу тиімділігін зерттеу, 5G-IoT архитектурасын тұрғызып, математикалық моделін жасау. Сондай-ақ, 5G желісінің қолданыстағы технологиялардан артықшылығын көрсету. Қазіргі қолданыстағы LTE (4G) ұялы желісі бір уақытта бірнеше құрылғыларды қосу талаптарын, жоғары жылдамдықты, жоғары өткізу қабілеттілігін және аз кідірісті қызмет көрсету сапасын (QoS) қанағаттандыру үшін жеткілікті әрі тиімді болмайды. Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox технологиялары да IoT негізгі талаптарын толықтай қанағаттандыра алмайды. Осы мәселелерді шешу үшін бұл жұмыста 5G желісін ең перспективалы технология ретінде қарастырдық. Бұл зерттеу жұмысы келесідей бөлімдерден тұрады: бірінші бөлімде 5G және IoT технологиялары, олардың қолданылу аясы мен артықшылықтары, осы саладағы басқа авторлардың жұмыстарына шолу жасалынды, екінші бөлімде 5G-IoT архитектурасы мен математикалық моделі қарастырылды, келесі бөлімде алынған нәтижелер мен оларға талдаулар жүргізілді және соңғы бөлімде қорытынды жасалды.

**Кілт сөздер:** 5G, IoT, интеллектуалды жүйелер, ақылды құрылғылар, 5G-IoT архитектурасы, 5G-IoT жүйесінің математикалық моделі.

## Кіріспе

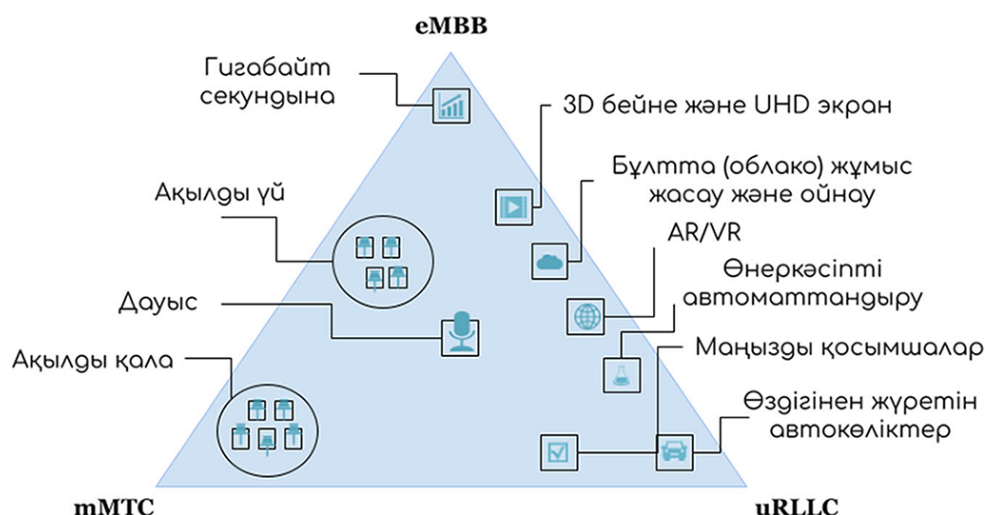
Бүгінгі таңда жоғары жылдамдықпен Интернетке қосылуды қамтамасыз ететін сымсыз байланыс жүйелері қоғамда үлкен сұранысқа ие. Бұл сұраныс Интернет пайдаланушылар санының артуынан туындап отыр. Зерттеулерге сүйенетін болсақ, 2010 жылы Интернетке қосылған құрылғылар мен нысандар саны 12.5 миллиардты құраған, ал бұл көрсеткіш Statista есебіне сәйкес, 2025 жылдың соңына қарай 75 миллиардқа жетеді деп болжануда [1]. Сондықтан да, әлемдік ірі коммуникациялық компаниялар мен зерттеу орталықтары қызмет көрсету сапасы жоғары әрі қолданыстағы желілердің кемшіліктерін толықтыратын жаңа технологияларды жасауда. Бұл технологиялар бір уақытта бірнеше мыңдаған пайдаланушыларға қызмет көрсету, аз энергия тұтыну, аз кідіріс пен деректерді жоғары жылдамдықта беру талаптарына сай келуі керек. Осы талаптар негізінде ұялы байланыс жүйелерінің бесінші ұрпағы – 5G желісі жасалынды.

5G желісінің қолданылу аясы тек смартфондармен шектелмейді, әртүрлі салалар мен әлемдік нарықтарға әсер етеді. 5G қолданудың негізгі үш тобы бар: кеңейтілген мобильді кең жолақты байланыс (eMBB), жаппай IoT (Заттар Интер-

неті) және маңызды коммуникациялар, олардың әрқайсысының жылдамдыққа, өткізу қабілеттілігіне және кідіріске өзіндік талаптары бар [2]. 5G желісінің қолданылу аясы 1-суретте көрсетілген.

5G – бұл әлемдік тренд, онсыз заманауи технологиялар дами алмайды. Шын мәнінде, 5G желілерін енгізудің басты бенефиті адамдар үшін емес, роботталған пилотсыз платформаларға арналған. Өйткені, қазіргі қолданыстағы 4G пайдаланушы-адамдарға жеткілікті дәрежеде жоғары қызмет көрсете алғанымен, IoT (Internet of Things, Заттар Интернеті) технологиясының негізгі талаптарын қанағаттандыра алмайды. 5G желісі – IoT технологиясын кеңінен қолдануға мүмкіндік беретін жаңа технология.

IoT технологиясы – ақылды қала, ақылды үй, ақылды машина, ақылды электр желілері сияқты басқа да интеллектуалды заттардың жұмыс істеуін қамтасыз ететін заманауи технология. IoT технологиясын қолданысқа енгізу ҚР цифрландыру саласында маңызды рөл атқарады, сонымен қатар еліміз ҚР экономикасының дамуына үлкен үлесін қосады. Өйткені, цифрлық трансформациялау, инновациялық экономиканы дамыту әлемдік бәсекеге қабілетті елдер қатарына енді негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Сондықтан да,



1-сурет – 5G желісінің қолданылу аясы (дереккөз: 3GPP)

әлем елдері бәсекеге қабілетті болу мақсатында өздерінің цифрлық даму стратегияларын ұсынып, оларды қолданысқа енгізуі қажет.

5G URLLC және 5.0 индустриясына сәйкес Интернетке қол жетімділік Big Data және IoT үлкен деректерін талдаумен бірге цифрлық экономиканы дамытуға арналған. Зерттеу нәтижесі Қазақстан Республикасы мен цифрлық саланың ақпараттық-коммуникациялық технологияларын дамыту тұжырымдамасын бекіту туралы қаулыда қойылған көптеген міндеттерді шешуге негізделген.

**Ұқсас жұмыстар.** [3] жұмыс авторлары IoT концепциясына, архитектурасына шолу жасап, IoT-қа қойылған болашақ тапсырмаларды шешуді қарастырған. [4] жұмыста 5G байланыс технологиясының сипаттамалары мен артықшылықтары көрсетілген. [5] жұмыс авторлары әлемнің кез келген бұрышынан үй жабдықтарына қол жеткізуге және басқаруға болатын, энергияны үнемдейтін ақылды үйді автоматтандыру жүйесін ұсынған. [6] жұмыста 5G-IoT технологиялары үшін блоктық шифрлау әдістерінде маңызды рөл атқаратын жаңа S-box әдісін құру үшін кванттық серуен мүмкіндіктерін пайдаланылған, ұсынылған S-box механизмі мен басқарылатын альтернативті кванттық серуендеу (CAQWs) қосымшасы ретінде қарастырылған. [7] жұмыс авторлары студенттердің оқу үлгерімін, сабаққа қатысуын бақылайтын IoT негізіндегі жүйені ұсынған. Бұл жүйе студенттерді оқыту бағыттарына қарай жіктеуге және таңдалған оқу бағытына сәйкес тапсырмалар беруге негізделген.

Жоғарыда келтірілген жұмыстар қазіргі таңда IoT технологияларының өзекті әрі тиімді, адам өмірін жеңілдететін сала екендігін көрсетіп отыр.

### Зерттеу әдісі

IoT негізіндегі жүйелерді енгізу кезінде әртүрлі технологиялар мен протоколдар қолданылады. Қазіргі уақытта қолданыстағы IoT қолдайтын тех-

нологияларға Bluetooth, радиожилікті сәйкестендіру технологиясы (RFID), Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox жатады. Ал, 5G желісі аталған технологиялардың қол жеткізе алмайтын мүмкіндіктерін ұсынатын жаңа технология болып табылады.

Bluetooth – бұл жеке желілерге арналған, аз қуатты сымсыз байланыс технологиясы. Bluetooth 10 метрге дейінгі қашықтықта ғана мобильді құрылғылар арасында төмен өткізу қабілеттілігі бар деректерді тасымалдауға жарамды [8]. Яғни, Bluetooth көмегімен алыс қашықтыққа ақпарат жібере алмаймыз.

RFID деректерді беру үшін радиожиліктерді пайдаланады, әдетте объектілерді, адамдарды, көлік құралдарын және т.б. бірегей сәйкестендіру үшін қолданылады.

Wi-Fi IEEE 802.11 стандартына негізделген және шектеулі қашықтықта (100 м-ге дейін) жоғары жылдамдықты Интернет байланысын (1 Мбит/с-тан 6.75 Гбит/с-қа дейін) қамтамасыз ету үшін сымсыз жиіліктерді (2.4, 5 және 60 ГГц) пайдаланады. Wi-Fi сымсыз жергілікті желілерге (WLAN) арналған [8].

WiMAX IEEE 802.16 стандартына негізделген, 2-66 ГГц жиілік диапазонында жұмыс жасайды және 1.5 Мбит/с-тан 1 Гбит/с-қа дейінгі деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді. WiMAX стационарлық станциялар үшін 50 км-ге дейін және мобильді станциялар үшін 5-15 км-ге дейін кең жолақты сымсыз қолжетімділікті қолдай алады [8].

Zigbee протоколы 2.4 ГГц жиілікте жұмыс жасайды және шамамен 250 Кбит/с деректер жылдамдығын қамтамасыз етеді, 10-100 м қашықтықта хабар тарата алады [8].

Sigfox – бұл деректерді алыс қашықтыққа жіберуге арналған тар жолақты байланыс жүйесі (40 км-ге дейін). Sigfox тар жолақты сигналдарды қолданғанымен, геолокациялық қызметтер мен басқару хабарламалары сияқты көптеген қосымшаларға жарамды болып келеді [8].

5G – ұялы желілердің бесінші буыны. 5G өте аз

кідіріс (1 мс-тан аз), деректерді жоғары жылдамдықта беру (10 Гбит/с), жоғары өткізу қабілеттілігі, энергияны аз тұтыну сияқты артықшылықтарға ие. Сонымен қатар, 5G лицензияланған және лицензияланбаған спектрді де қолдана алады. 5G желісі орналасқан жері мен уақытына қарамастан, Интернетке өте көп құрылғыларды қосуға мүмкіндік береді [8].

5G желісінде IoT технологиясын енгізу үшін ең алдымен. 5G-IoT архитектурасын қарастыру керек. 5G-IoT технологиясының негізгі функционалдығын бес компонент сипаттайды. Датчиктер нақты уақыт режимінде деректерді қабылдай алатын және оны жоғарғы модуль немесе IoT шлюзі арқылы жібере алатын ең төменгі деңгейде орналасқан. IoT шлюзі барлық сенсорлық деректерді жинайды және оны 5G базалық ортамен 5G қосылымын қолдана отырып жібереді. 5G базалық станциясы (gNB) сақтау және одан әрі өңдеу үшін ақпаратты бұлтқа жібереді. Бұл деректерді Ақылды үйді автоматтандыру, пилотсыз автокөлік және т.б. сияқты әртүрлі мақсаттарда пайдалануға мүмкіндік береді. 5G-IoT архитектурасы 2-суретте көрсетілген [9].

$t > 0$  уақытында 5G-IoT жүйесінің базалық станциясының ақпараттық ортасы субъект-жүйенің өзара әрекеттесу  $\varepsilon(t)$  сеанстарын қолдайды деп есептейік, олардың әрқайсысы  $n_1(t), \dots, n_{\varepsilon(t)}(t)$  тұтынады, мұндағы  $n(t)$  – жүйелік ресурстар. Бұл жағдайда стационарлық ықтималдықтар мына формуламен анықталады:

$$\begin{aligned} q_0 &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = 0\}, \\ q_k(r) &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\varepsilon(t) = k, \delta(t) = r\}, \\ (k, r) &\in \bar{X}_k. \end{aligned} \quad (1)$$

Стационарлық ықтималдықтардың (1) сандық мәндерін тепе-теңдік теңдеулер жүйесінің LU-ыдырауы көмегімен есептеуге болады, ол үшін соңғы теңдеуді матрицалық түрде береміз:

$$\begin{aligned} q^T \cdot A &= 0^T, \\ q^T \cdot I &= 1, \end{aligned} \quad (2)$$

мұндағы  $I$  – сәйкес өлшемнің бірлік матрицасы [10].

### Нәтижелер мен талдаулар

Жоғарыда көрсетілген қолданыстағы технологиялар IoT негізгі талаптарын толығымен орындай алмайды. Бірі алыс қашықтыққа хабар тарата алмаса, бірі деректерді жоғары жылдамдықта бере алмайды, тағы бірі энергияны көп тұтынады. 5G осы мәселелердің шешімін ұсынатын жаңа технология. Бұл жұмыстың жаңашылдығы – IoT технологияларын енгізуде 5G желісін қолдану. Қазіргі таңда 5G желісі әлемнің көптеген дамыған елдерінде іске қосылғанымен, Қазақстанда әлі толық іске қосылған жоқ. 5G негізіндегі IoT технологияларын жасау еліміздің экономикалық да-



2-сурет – 5G-IoT архитектурасы

муына да, әлемдік ірі нарыққа шығуына да үлкен үлесін тигізеді. IoT енгізу үшін, бұл жұмыста ұсынылған 5G-IoT архитектурасын қолдану тиімді болып табылады. Өйткені, ол шығынды көп қажет етпейді, энергияны аз тұтынады, деректерді өте жоғары жылдамдықта аз кідіріспен бере алады.

Зерттеу әдісі бөлімінде ұсынылған математикалық модель негізінде 5G-IoT жүйесінде функционалды сценарийдің орындалуын қарастырсақ, тепе-теңдік теңдеулер жүйесін шешу арқылы стационарлық ықтималдықты (1) табамыз. Белгілі стационарлық ықтималдықтар үшін (1) 5G-IoT жүйесінде кіріс сұранысының жоғалу ықтималдығы  $B$  және пайдаланылған жүйелік ресурстардың орташа саны келесідей анықталады:

$$B = 1 - \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{r: (k,r) \in \bar{X}_k} q_k(r) \sum_{j=0}^{R-r} \rho_j, \quad (3)$$

$$b = 1 - \sum_{k=0}^N \sum_{r: (k,r) \in \bar{X}_k} r q_k(r). \quad (4)$$

5G-IoT жүйесіндегі ағымдағы трафикті талдауға сүйене отырып, базалық станцияның жаңа кіріс сұрауын қабылдау ықтималдығы геометриялық GEM ( $p$ ) немесе биномдық BIN ( $r, p$ ) үлестіру заңдарына сәйкес бөлінеді деп қарастырылады.

Қолданылған формуладағы есептеулерге сүйенетін болсақ, 5G-IoT жүйесінің базалық станциясы барлық жүйелік ресурстардың 100%-на дейін қолдау үшін  $N = 1000$ ,  $R = 100$  қатысатын 1000 субъект-жүйенің өзара әрекеттесу сессияларына бір уақытта қызмет ете алады. Субъект-жүйенің өзара әрекеттесу сеансының орташа ұзақтығы 60 с, ал базалық станция интерфейсіне кіретін сұраулардың орташа саны 16 болады.

**Қорытынды**

Бұл зерттеу жұмысы 5G желісінде IoT технологиясын енгізу тиімділігін бағалауға бағытталды. Зерттеу барысында 5G-IoT архитектурасы тұрғызылды және математикалық моделі ұсынылды. Сондай-ақ, басқа авторлардың ұқсас жұмыстарына шолу жасалынды, 5G және IoT технологияларының жұмыс принциптері мен артықшылықтары

қарастырылды. Зерттеу барысында қолданыстағы LTE (4G), Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox технологиялары IoT тапсырмаларын толықтай орындай алмайтындығы және бұл мәселелерді 5G көмегімен шешуге болатындығы дәлелденді. Зерттеу нәтижесі IoT енгізу үшін 5G желісі оңтайлы әрі тиімді әдіс екендігін көрсетті.

**ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Haojun Huang, Wang Miao, Geyong Min and Chunbo Luo, «Mobile Edge Computing for 5G Internet of Things», ResearchGate, Chapter, May 2019, DOI: 10.1201/9780429199820-7.
2. Электрондық ресұрс: Internet of Things in the 5G Era – 5G HUB TECHNOLOGIES, INC
3. Patel, K.K. and Patel, S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.
4. S. Liu, L. Liu, H. Yang, K. Yue and T. Guo, «Research on 5G technology based on Internet of things», 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 2020, pp. 1821-1823, doi: 10.1109/ITOEC49072.2020.9141671.
5. S.K. Vishwakarma, P. Upadhyaya, B. Kumari and A.K. Mishra, «Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT», 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777607.
6. A.A.A. El-Latif, B. Abd-El-Atty, W. Mazurczyk, C. Fung and S.E. Venegas-Andraca, «Secure Data Encryption Based on Quantum Walks for 5G Internet of Things Scenario», in IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 17, no. 1, pp. 118-131, March 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.2969863.
7. A. Saxena, K. Shinghal, R. Misra and A. Agarwal, «Automated Enhanced Learning System using IOT», 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777711.
8. Pierfrancesco Bellini, Paolo Nesi\* and Gianni Pantaleo, «IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies», Appl. Sci. 2022, 12, 1607. <https://doi.org/10.3390/app12031607>
9. N. Gupta, S. Sharma, P.K. Juneja and U. Garg, «SDNFV 5G-IoT: A Framework for the Next Generation 5G enabled IoT», 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM), 2020, pp. 289-294, doi: 10.1109/ICACCM50413.2020.9213047.
10. V. Kovtun, I. Izonin and M. Gregus, Mathematical models of the information interaction process in 5G-IoT ecosystem: Different functional scenarios, ICT Express (2021). <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.11.008>

**Оценка эффективности внедрения IoT на основе сети 5G**

<sup>1</sup>КЕНГЕСБАЕВА Сара Сапарғалиқызы, магистрант, [sarakenesbayeva@gmail.com](mailto:sarakenesbayeva@gmail.com),

<sup>1\*</sup>ТАЙСАРИЕВА Кырмызы Нурлановна, PhD, ассоциированный профессор, [taisarieva@mail.ru](mailto:taisarieva@mail.ru),

<sup>1</sup>ДЖОБАЛАЕВА Гулим Сасановна, докторант, [gulim\\_sasanovna@mail.ru](mailto:gulim_sasanovna@mail.ru),

<sup>1</sup>НАО «Казакский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казакстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** В последние годы беспроводные технологии активно развиваются на мировом уровне. На рынке беспроводных технологий технология 5G стала самой сложной, обширной и интересной темой в исследованиях систем беспроводной связи. Цель данной работы – изучить эффективность внедрения Интернета вещей (IoT) в сети 5G, построить архитектуру 5G-IoT и разработать математическую модель. А также показать преимущества сети 5G перед существующими технологиями. Существующая в настоящее время мобильная сеть LTE (4G) не будет достаточной и эффективной для удовлетворения требований к подключению нескольких устройств одновременно, высокой скорости, высокой пропускной способности и качества обслуживания с низкой задержкой (QoS). Технологии Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox также не могут полностью удовлетворить основные требования IoT. Для решения этих проблем мы рассматривали сеть 5G как наиболее перспективную технологию. Данная исследовательская работа состоит из следующих разделов: в первом разделе представлены технологии 5G и IoT, их область применения и преимущества, обзор работ других авторов в этой области, во втором разделе рассмотрены архитектура и математическая модель 5G-IoT, в следующем разделе проведены полученные результаты и их анализ, а в последнем разделе сделан вывод.

**Ключевые слова:** 5G, IoT, интеллектуальные системы, умные устройства, архитектура 5G-IoT, математическая модель системы 5G-IoT.

### Evaluation of the Effectiveness of IoT Implementation Based on the 5G Network

<sup>1</sup>KENGESBAYEVA Sara, Master Student, sarakengesbayeva@gmail.com,

<sup>1</sup>\*TAISSARIYEVA Kyrmyzy, PhD, Associate Professor, taisarieva@mail.ru,

<sup>1</sup>JOBALAYEVA Gulim, Doctoral Student, gulim\_sasanovna@mail.ru,

<sup>1</sup>NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Kazakhstan, Almaty, Satpayev Street, 22a,

\*corresponding author.

**Abstract.** In recent years, wireless technologies have been actively developing at the global level. In the market of wireless technologies, 5G technology has become the most complex, large-scale and interesting topic in the study of wireless communication systems. The purpose of this work is to study the effectiveness of the implementation of the Internet of Things (IoT) in the 5G network, to build the 5G-IoT architecture and create a mathematical model. Also, to demonstrate the advantages of 5G network over existing technologies. The current LTE (4G) cellular network will not be sufficient and efficient to meet the requirements of simultaneous connection of multiple devices, high speed, high bandwidth and low latency Quality of Service (QoS). Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, Zigbee, Sigfox technologies cannot fully satisfy the basic requirements of IoT. In order to solve these problems, we considered 5G network as the most promising technology. This research work consists of the following parts: the first part reviews 5G and IoT technologies, their scope and advantages, the works of other authors in this field, the second part considers the architecture and mathematical model of 5G-IoT, the next part presents the results and their analysis, and the last part a conclusion was made.

**Keywords:** 5G, IoT, intelligent systems, smart devices, 5G-IoT architecture, mathematical model of the 5G-IoT system.

## REFERENCES

1. Haojun Huang, Wang Miao, Geyong Min and Chunbo Luo, «Mobile Edge Computing for 5G Internet of Things», ResearchGate, Chapter, May 2019, DOI: 10.1201/9780429199820-7.
2. Электрондық ресурс: Internet of Things in the 5G Era – 5G HUB TECHNOLOGIES, INC
3. Patel, K.K. and Patel, S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.
4. S. Liu, L. Liu, H. Yang, K. Yue and T. Guo, «Research on 5G technology based on Internet of things», 2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 2020, pp. 1821-1823, doi: 10.1109/ITOEC49072.2020.9141671.
5. S.K. Vishwakarma, P. Upadhyaya, B. Kumari and A.K. Mishra, «Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT», 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777607.
6. A.A.A. El-Latif, B. Abd-El-Atty, W. Mazurczyk, C. Fung and S.E. Venegas-Andraca, «Secure Data Encryption Based on Quantum Walks for 5G Internet of Things Scenario», in IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 17, no. 1, pp. 118-131, March 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.2969863.
7. A. Saxena, K. Shinghal, R. Misra and A. Agarwal, «Automated Enhanced Learning System using IOT», 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), Ghaziabad, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777711.
8. Pierfrancesco Bellini, Paolo Nesi\* and Gianni Pantaleo, «IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies», Appl. Sci. 2022, 12, 1607. <https://doi.org/10.3390/app12031607>
9. N. Gupta, S. Sharma, P.K. Juneja and U. Garg, «SDNFV 5G-IoT: A Framework for the Next Generation 5G enabled IoT», 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM), 2020, pp. 289-294, doi: 10.1109/ICACCM50413.2020.9213047.
10. V. Kovtun, I. Izonin and M. Gregus, Mathematical models of the information interaction process in 5G-IoT ecosystem: Different functional scenarios, ICT Express (2021). <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.11.008>