

UOT 004.9:351

MƏMMƏDOV N.Y., TALİBOV A.N.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

talibovanar09@gmail.com

TELEKOMMUNİKASIYA İNFRASTRUKTURUNUN MODERNİZASIYASI: ÇAĞIRIŞLAR VƏ HƏLL YOLLARI

Giriş. Telekommunikasiya infrastrukturunu sənayesi simli, simsiz və peyk əlaqələri kimi müxtəlif texnologiyalar vasitəsilə səs, video və internet daxil olmaqla geniş çeşidli məlumat növlərinin ötürülməsini asanlaşdıran rabitə sektorunun mühüm seqmentidir. Bu sənaye fərdi istehlakçılardan tutmuş böyük korporasiyalara və hökumətlərə qədər müxtəlif müştərilərə xidmət edir, qlobal əlaqə və məlumat mübadiləsini təmin edir. Tarixən telekommunikasiyalar 18-ci əsrdə optik teleqrafdan bu gün qabaqcıl fiber optika və simsiz texnologiyalara qədər inkişaf edərək rabitə proseslərini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirdi.

Telekommunikasiya infrastrukturunu yeni infrastrukturun mühüm komponenti kimi texnoloji inqilabın önündə gedir. Ənənəvi infrastruktur tikintisi illər ərzində marjinal fayda və gəlirlərin azaldığını müşahidə edir, texnoloji innovasiya ilə idarə olunan yeni infrastruktur isə rəqəmsal iqtisadiyyatla təmsil olunan yeni iqtisadiyyatda getdikcə daha mühüm rol oynayır. Nəticə etibarilə, telekommunikasiya infrastrukturunun inkişafı ilə innovasiyaların inkişaf səviyyəsi arasında əlaqə akademik ictimaiyyətdə geniş müzakirə olunan mövzuya çevrilmişdir. Həm mərkəzi, həm də yerli hökumətlər telekommunikasiya infrastrukturunun qurulmasına böyük əhəmiyyət verir və güclü siyasət dəstəyi verir.

Mobil şəbəkənin qurulması telekommunikasiyanın inkişafının müxtəlif mərhələlərində

əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. 3G-nin inkişaf mərhələsində mobil telekommunikasiya texnologiyası məlumat ötürülməsini dəstəkləməyə başladı. Bu müddət ərzində mobil telefonlar SMS və səs xidmətlərini dəstəkləyə, multimedia xidmətlərini təkmilləşdirir və istifadəçilərə mobil internet erasını açaraq birbaşa mobil telefonlarında veb səhifələrə baxmaq və e-poçt göndərmək/qəbul etmək imkanı yarada bilər.

Mobil telekommunikasiya şəbəkəsinin qurulması əhalinin bölgüsü əsasında optimallaşdırıldığı və təkmilləşdirildiyi üçün əhalinin sıxlığı hər kvadrat kilometrə 2000 nəfərdən çox olan ərazilərə üstünlük verilir. Yüksək texnologiyaya malik olmayan sənayelərlə müqayisədə telekommunikasiya infrastrukturunu qabaqcıl texnologiya, yüksək investisiya və yüksək nüfuzetmə xüsusiyyətlərinə malikdir. O, sənaye zəncirinin yuxarı və aşağı axımında innovasiya inkişafının təşviqində mühüm rol oynayır. İnnovasiyanın inkişafı üç aspektdə əks olunur, bunlar innovasiya Ar-Ge sərmayəsi, innovasiya biliklərinin nəticəsi və innovasiya tətbiqi məhsuludur. Məqalədə, böyük sənaye müəssisələrinin Ar-Ge xərcləri innovasiya Ar-Ge investisiyasını ölçmək üçün istifadə olunur; patent müraciətlərinin sayı innovasiya biliklərinin nəticəsini ölçmək üçün istifadə olunur; və yüksək texnologiyalı müəssisələrin sənaye məhsulu dəyəri innovasiya tətbiqi məhsulunu ölçmək üçün istifadə olunur.

Əsas hissə: Telekommunikasiya infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi və onun müxtəlif sənaye sahələrinə nüfuz etməsi ilə sosial innovativ inkişaf səviyyəsi əhəmiyyətli dəyişikliklərə məruz qalmışdır. İnformasiya və telekommunikasiya sənayesinin dərin inteqrasiyası və inkişafı digər sənaye sahələrində istehsal üsullarının innovasiyasına təminat verdi. Bu sənəd telekommunikasiya infrastrukturunun ötürmə mexanizmləri vasitəsilə sosial innovativ inkişaf səviyyəsinə təsir göstərdiyi əsas mexanizmləri təhlil edir və bir neçə mühüm fərziyyə təklif edir [6].

Birincisi, telekommunikasiya infrastrukturunu yuxarı sənaye sahələrində innovasiyaların inkişafına təsir göstərir. Telekommunikasiya texnologiyaları patentləri bütün sənaye zənciri üçün fundamental dəstək verir və informasiya sənayesinin əsasını təşkil edir. Telekommunikasiya sənayesi qapalı xarakter daşıyır, patent texnologiyası və standartlaşdırma üçün yüksək standartlar tələb edir. Telekommunikasiya infrastrukturunun tikintisinin inkişafı müəyyən dərəcədə telekommunikasiya texnologiyalarının elmi-tədqiqat işlərinə təkan verir. Telekommunikasiya sənayesinin inkişaf tarixində elektron avadanlıq şirkətləri tez-tez telekommunikasiya texnologiyaları patentlərini mənimləməklə telekommunikasiya sənayesi zəncirinin yüksəkliklərini tuturlar [5]. Telekommunikasiya infrastrukturunun qurulmasında telekommunikasiya texnologiyalarının R&D-si onu effektiv şəkildə dəstəkləmək üçün yüksək səviyyəli innovasiyaya malik olmalıdır. Buraya əsas texnologiya patentlərinin inkişafı, çip istehsalı və komponent avadanlığının tədqiqatı daxildir. Yüksək keyfiyyətli və müxtəlif telekommunikasiya texnologiyaları imkanları telekommunikasiya infrastrukturunu tətbiqlərinin təkmilləşdirilməsinə şərait yaradır. Bütün bu aspektlər Ar-Ge departamentlərinə daha yüksək tələblər qoyur, onları davamlı olaraq yeni telekommunikasiya texnologiyalarını in-

kişaf etdirməyə, yeni R&D platformaları qurmağa və telekommunikasiya texnologiyaları xidmət imkanlarını və innovasiya səmərəliliyini artırmağa sövq edir, beləliklə, Ar-Ge departamentlərində innovasiyaların yayılması təsirini təşviq edir [2].

İkincisi, telekommunikasiya infrastrukturunun tikintisi və inkişafı aşağı axın sənaye sahələrinə təsir göstərir. Aşağı axın sənaye sahələrinə effektiv telekommunikasiya xidməti imkanları təmin etmək üçün telekommunikasiya infrastrukturunu yüksək texniki imkanlara və şəbəkə dəstəyinə malik olmalıdır [6]. Buraya sənaye terminal bazarının yenidən qurulması üçün qabaqcıl telekommunikasiya şəbəkələrinin təmin edilməsi, bulud hesablamalarına və məlumat mərkəzlərinə investisiyaların artırılması və sənaye interneti sahəsində tədqiqatların irəliləməsi daxildir. Yüksək keyfiyyətli və şaxələndirilmiş telekommunikasiya xidməti imkanları innovasiya metodlarının transformasiyasını və aşağı axın sənaye sahələrində innovasiyanın yaranmasını asanlaşdırır [1].

5G-nin son zamanlar getdikcə daha çox qlobal bazarlarda tətbiq olunduğu üçün onun effektiv olacağı gözlənilir. Əvvəlcə sürətlə köhnələn 5G-nin əsas texnologiyalarını araşdırmaq məqsədəuyğundur. Kiçik hücrələrin çox geniş yerləşdirilməsi vasitəsilə şəbəkə sıxlığı 5G-də əsas rol oynayır. Lakin, bu yerləşdirmənin faydaları, yəni genişləndirilmiş əhatə dairəsi və daha yüksək məlumat ötürmə sürətləri, infrastruktur xərclərinin əhəmiyyətli dərəcədə artması səbəbindən getdikcə daha çox kiçik hücrə yerləşdirildikcə azalan gəliri təmsil edir. Digər bir texnologiya daşıyıcıların aqreqasiyasıdır ki, bu da istifadəçilərə daha yüksək bant genişliyi təklif etmək üçün birdən çox komponentli daşıyıcı tərəfindən xidmət göstərilməsinə imkan verir [4]. Lakin bunun müxtəlif tezlik diapazonlarını dəstəkləmək üçün son istifadəçilər tərəfindəki aparat təminatı üçün nəticələri var. Son cihazların aparat məh-

dudiyətlərini azaltmaq üçün bulud radio giriş şəbəkəsinə (C-RAN) 5G-nin əsas komponenti kimi baxmağa dəyər. Şəbəkələr eksponensial olaraq böyüdükcə, təkcə buludun kifayət etmədiyi və duman və kənar qovşaq hesablamalarına ehtiyac olduğu aydın olur. Əsas 5G texnologiyalarında təhlükəsizlik, idarəetmə təbiqləri ilə nəzarətçi arasında etimadı yoxlamaq üçün mexanizmlərin olmadığı proqram təminatı ilə müəyyən edilmiş şəbəkələrdə (SDN) olduğu kimi çox böyük miqyasda təbiq olunmaq üçün kifayət qədər inkişaf etmiş deyil. Başqa bir nümunə, hücum edənlərin virtual infrastruktur meneceri kimi proqram təminatı səviyyəli komponentləri hədəf alması və NFV-nin işləməsinə mane olan saxta qeydlər yarada biləcəyi şəbəkə funksiyasının virtuallaşdırılmasıdır.

(HetNets) anlayışı 5G texnologiyalarının mərkəzindədir, lakin hazırda belə şəbəkə inteqrasiyası yerüstü şəbəkələrlə məhdudlaşır. Əsas şəbəkəyə hava və kosmik şəbəkə şəbəkələri daxil edilməklə bu, üçölçülü olmaq üçün daha da genişləndirilməlidir. Həmçinin qeyd etmək lazımdır ki, 5G xidmətdən imtina (DoS) hücumlarından və ya mövcudluğunu təhlükə altına qoyan təhdidlərdən sığortalanmayıb. Gələcək şəbəkələrdə milyardlarla qovşaqdan ibarət daim böyüyən şəbəkələrin ölçüsünə uyğunlaşmaq üçün bunun təkmilləşdirilməsi vacibdir.

Proqnozlaşdırılır ki, 2030-cu ilə qədər global mobil trafik 2010-cu ildəkindən 670 dəfə çox olacaq və bu, əsasən maşın-maşın (M2M) rabitəsi sayəsində baş verəcək. Bu, dünya üzrə tədqiqatçıları bir çox şəbəkə aspektlərində, xüsusən də spektral və enerji səmərəliliyi texnikalarında texnoloji irəliləyişlər əldə etməyə sövq edən misli görünməmiş eksponensial artımdır [3].

Rabitə sürətlərinin tələb yönümlü təbiəti, 10 ildən az müddətdə məlumat ötürmə sürətlərinin 1 Tbit/s-dən (10 Tbit/s-ə qədər) çox

keçməsi üçün əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmalar tələb edəcəyini göstərir.

5G 20-100 GHz aralığında millimetr dalğa diapazonundan istifadə etmək üçün hazırlanmışdır. Lakin, mövcud ötürücü-ötürücü dizaynları və qeyri-xətti güc gücləndiriciləri, faz səs-küyü və zəif analoq-rəqəm çevirici (ADC) qətnaməsi kimi rəqəmsal modulyasiya texnikalarının məhdudiyətləri səbəbindən bu diapazonda belə yüksək sürətlərə nail olmaq mümkün deyil. Rabitədə növbəti sıçrayış 100 GHz-dən yuxarı, ehtimal ki, bir neçə THz-ə qədər tezliklərə baxmağı nəzərdən keçirəcək, çünki bu spektr yüksək məlumat ötürmə sürətlərinə nail olmaq üçün bol miqdarda mövcuddur. M2M rabitəsində gözlənilən artımla, İnternetə yüz milyardlarla cihazın qoşulacağı gözlənilir. Bununla belə, 5G-nin yalnız bir milyard cihaz miqyasında ən yaxşı performans kompromislərini təklif edəcəyi gözlənilir. Ağıllı şəhərlər və özünü təmin edən şəbəkələr süni intellektlə sıx bağlıdır; buna görə də süni intellekt 6G şəbəkələri üçün ciddi inkişaf və təkmilləşdirmələrə məruz qalmalıdır [4]. Xüsusilə, şəbəkə resursları məhduddur; buna görə də, yüksək şəbəkə səmərəliliyi və tutum səviyyələrini qoruyarkən performansını artırmaq üçün süni intellektin şəbəkəyə inteqrasiyası vacibdir. Başqa sözlə, süni intellekt şəbəkələrin əsas strukturuna inteqrasiya olunacaq və şəbəkələrin dizaynı, yerləşdirilməsi və optimallaşdırılması üçün lövbər rolunu oynayacaq. Məsələn, çip istehsalçısı Nvidia bu yaxınlarda keyfiyyəti azaltmadan video zənglər üçün tələb olunan bant genişliyini onda birinə endirmək üçün Maxine adlı bulud süni intellekt video yayım platformasını elan etdi. Nvidiyanın ən son qrafik emal qurğusu (GPU) seriyası olan 3000 seriyası, video oyunlar üçün təkmilləşdirilmiş detallarla saniyədə daha çox kadr qurmaq üçün təkmilləşdirilmiş süni intellektlə təchiz olunmuşdur və bu, birbaşa 6G-də geniş şəkildə nümayiş olunacaq virtual

reallıq təcrübəsini artıracaqdır.

Nəticə: 5G dünyada ilkin olaraq tətbiq olunmaqda olsa da və bu da bir çox yeni imkanlar vəd etsə də, simsiz xidmətlərə və tətbiqlərə artan tələbata uyğunlaşmaq üçün 6G üzərində tədqiqatlara artıq başlanılıb. Bu məqalədə 5G-nin çatışmazlıqlarını və 6G-nin bu məhdudiyətləri necə aradan qaldıra biləcəyini vurğuladıq. 6G-nin sosial, iqtisadi, texnoloji və əməliyyat aspektləri barədə müzakirə apardıq. Şəbəkələrdə süni intellekt üçün digər əhəmiyyətli istifadə avtonom modulyasiya təsnifatı üçün konvolyusiya neyron şəbəkələrinin inteqrasiyasında tapıla bilər. Bu, yüksək spektr effektivliyini qoruyarkən müxtəlif son istifadəçi tələbləri və tətbiqlərindən əhəmiyyət qazanır. Bununla belə, muxtar sistemlər üçün ağlabatan şəbəkə mürəkkəbliyi ilə təhlükəsiz paylaşmış süni intellekt modellərinin tətbiqi kimi həll edilməli bir neçə çətinlik var. Şəbəkə mürəkkəbliyi zamanla eksponensial olaraq artmağa davam edəcək və bu, mübahisəsiz olaraq şəbəkə sıxlığı, çoxsəviyyəli heterojen baza stansiyalarının yerləşdirilməsi, süni intellekt inteqrasiyası və proqram təminatı kimi bir çox fəaliyyətin nəticəsidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Əliyev, R. (2022). *Mobil rabitənin inkişaf mərhələləri: 5G və gələcək perspektivlər*. Bakı: Elm və Təhsil Nəşriyyatı.
2. Məmmədov, S. (2021). *Ağıllı şəhərlərdə 5G texnologiyasının rolu və perspektivləri*. Bakı: Texnologiya və Cəmiyyət.
3. Chowdhury, M. Z., Shahjalal, M., Ahmed, S., & Jang, Y. M. (2020). "6G wireless communication systems: Applications, requirements, technologies, challenges, and research directions." *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1, 957-975.
4. Gui, G., Liu, M., Tang, F., & Adachi, F. (2020). "6G: Opening New Horizons for Integration of Comfort, Security, and Intelli-

gence." *IEEE Wireless Communications*, 27(5), 126-132.

5. Kumar, P., Singh, A., & Tripathi, A. (2020). "The convergence of Internet of Things (IoT) and next-generation communications: A review on Internet of Everything (IoE)." *Journal of Network and Computer Applications*, 150, 102504.
6. Tataria, H., Shafi, M., Chung, H., & Reed, E. (2021). "6G Wireless Systems: Vision, Requirements, Challenges, Insights, and Opportunities." *Proceedings of the IEEE*, 109(7), 1166-1199.

Məmmədov N.Y., Talibov A.N.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

talibovanar09@gmail.com

Telekommunikasiya infrastrukturunun modernizasiyası: çağırışlar və həll yolları

XÜLASƏ

Qloballaşma şəraitində telekommunikasiya şirkətləri üçün beynəlxalq əlaqələrin inkişafı getdikcə daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Müasir dünya telekommunikasiyanın yerli şəbəkələrdən tutmuş qlobal əhatə dairəsinə qədər bütün səviyyələrdə əlçatan olmasını tələb edir. Qloballaşma şirkətlərə xidmətlərini genişləndirmək, ölkələr və qitələr arasında əlaqələri yaxşılaşdırmaq və istifadəçilərə daha yüksək keyfiyyətli xidmət göstərmək imkanı təklif edir. Telekommunikasiya şirkətləri üçün bu, təkcə yeni çağırışlar deyil, həm də böyümə və beynəlxalq arenada mövqələrini möhkəmləndirmək üçün əhəmiyyətli imkanlar deməkdir. Məqalədə infrastruktur, enerji səmərəliliyini, kibertəhlükəsizliyi və rəqəmsal bərabərliyi optimallaşdırmaq üçün 5G və 6G texnologiyalarının tətbiqi təhlil edilir. Nəticələr texnoloji innovasiyaların, hökumət siyasətinin və

dövlət sektoru ilə inteqrasiyanın uğurlu tətbiq üçün əhəmiyyətini vurğulayır.

Açar sözlər: telekommunikasiya, infrastruktur, modernizasiya, çağırışlar, həll yolları, rəqəmsal transformasiya, 5G, 6G.

Mammadov N.Y., Talibov A.N.

*Azerbaijan University
of Architecture and Construction
talibovanar09@gmail.com*

Modernization of telecommunications infrastructure: challenges and solutions

ABSTRACT

In the context of globalization, the development of international relations is becoming increasingly important for telecommunications companies. The modern world requires telecommunications to be accessible at all levels, from local networks to global coverage. Globalization offers companies the opportunity to expand their services, improve connections between countries and continents, and provide users with higher quality services. For telecommunications companies, this means not only new challenges, but also significant opportunities for growth and strengthening their positions in the international arena. The article analyzes the implementation of 5G and 6G technologies to optimize infrastructure, energy efficiency, cybersecurity, and digital equality. The results emphasize the importance of technological innovation, government policy, and integration with the public sector for successful implementation.

Keywords: telecommunications, infrastructure, modernization, challenges, solutions, digital transformation, 5G, 6G

Redaksiyaya daxil olma/Received 28.11.2025

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 06.02.2026

Мамедов Н.Я. Талыбов А.Н.

*Азербайджанский Архитектурно
Строительный Университет*

Модернизация телекоммуникационной инфраструктуры: проблемы и решения

АННОТАЦИЯ

В контексте глобализации развитие международных отношений приобретает все большее значение для телекоммуникационных компаний. Современный мир требует доступности телекоммуникаций на всех уровнях, от локальных сетей до глобального покрытия. Глобализация предоставляет компаниям возможность расширять свои услуги, улучшать связи между странами и континентами и предоставлять пользователям услуги более высокого качества. Для телекоммуникационных компаний это означает не только новые вызовы, но и значительные возможности для роста и укрепления своих позиций на международной арене. В статье анализируется внедрение технологий 5G и 6G для оптимизации инфраструктуры, повышения энергоэффективности, кибербезопасности и обеспечения цифрового равенства. Результаты подчеркивают важность технологических инноваций, государственной политики и интеграции с государственным сектором для успешной реализации.

Ключевые слова: телекоммуникации, инфраструктура, модернизация, вызовы, решения, цифровая трансформация, 5G, 6G.

*Məqaləyə AzNIU-nun "Mühəndis sistemləri
və qurğuladının tikintisi" kafedrasının dosenti
M.A.Əliyev rəy vermişdir.*