

**ЖУНУСОВ АЯН РАДИЯНҰЛЫНЫҢ** «6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынған  
**«Телекоммуникациялық желідегі қызмет сапасын бақылау әдісін әзірлеу»** тақырыбындағы диссертациясына

## **АҢДАТПА**

Қазіргі телекоммуникациялық жүйелер мен деректерді беру желілері әртүрлі трафиктің үлкен көлемін тудырады. Мұндай желілерде басқарудың, мониторинг пен деректерді талдаудың дәстүрлі әдістері нақты уақыт режимінде үлкен деректерді дәл әрі тиімді өңдеу мәселелеріне тап болады. Қолданбаның нақты талаптарына сәйкес келетін оқыту алгоритмін таңдауға негізделген шешім қабылдау үшін олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін білу қажет. Деректерді беру желілеріндегі трафикті талдау өнімділікті және желілік операциялар мен басқарудың қауіпсіздігін бағалау сияқты көптеген мақсаттарға ие. Сондықтан желілік трафикті талдау желілердің өнімділігі мен қауіпсіздігін арттырудың маңызды элементі болып саналады. Трафикті талдау саласында машиналық оқыту әдістерін қолдану желілік мәселелерді шешуде тиімді мүмкіндіктерді көрсетеді. IP-желілер әдістері мен интеллектуалды деректерді талдаудың пәнаралық үйлесімі қолданыстағы IP-желілерді сапалы талдауға, тар орындарды анықтауға және сервистер сапасын мониторингтеуге мүмкіндік береді.

### **Зерттеу тақырыбының өзектілігі:**

Қазіргі заманғы телекоммуникациялық желілер архитектуралардың тез күрделенуімен, трафик көлемінің өсуімен және ұсынатын қызметтердің алуандығымен бетпе-бет келеді, бұл пайдаланушыға қызмет көрсетудің сенімділігі мен сапасына (QoS/QoE) жаңа талаптар қояды. Абоненттер санын арттыру, бұлтты технологиялардың кеңінен қолданылуы және e-health, e-gov, қаржылық қызметтер сияқты маңызды сандық қызметтердің пайда болуы желілік инфрақұрылым күйін жедел және нақты бақылау міндетін күшейтеді.

Классикалық сапаны бақылау әдістері – SNMP сұрау, NetFlow және sFlow метрикаларын жинау, сондай-ақ апаттық журналдарды қолмен талдау – тез дамитын немесе жасырын аномалияларға жеткіліксіз сезімтал болып шығып, оқиғаларды анықтауда ұзақ кешігіп, оператор құрал-жабдығына жүктемені арттырады. Бұл шектеулер бағдарлама түрінде анықталатын желілерді (SDN/NFV) ендіру кезінде және бесінші буын желілеріне (5G) көшу барысында айрықша көрінеді, онда SLA және жауап беру уақытына қойылатын талаптар өте қатаң.

Арнайы маңызға ие болып отыр жанама, аз инвазивті мониторинг әдістерін әзірлеу, олар желілік протоколдардың қолжетімді статистикасына негізделген қызмет сапасын диагностикалауға мүмкіндік береді және қымбат сенсорларды енгізу немесе тестілік трафикті құруды қажет етпейді. Желілерді кеңейту және ақау нүктелерінің санының өсу жағдайында инциденттерді анықтаумен қоса, оларды алдын ала болжауға қабілетті машиналық оқыту

әдістеріне негізделген автоматтандырылған болжау құралдары ерекше сұранысқа ие.

Осы контексте қызметтерді мониторингтеу үшін әмбебап, формальданған және түсінікті көрсеткіштерді іздеу өзекті болып табылады, оларды бар OSS/NMS платформаларына аз шығынмен және жедел нәтиже үшін енгізуге болады. Мұндай тәсілдердің бірі – кең жолақты желілерге тән PPPoE-сессияларының статистикасын талдау, онда тұрақсыздықтың жаңа индикаторлары анықталып, аралас (гибридті) болжау модельдері қолданылады.

Осылайша, PPPoE статистикасына және қазіргі заманғы деректерді талдау құралдарына негізделген қызметтер сапасын жанама мониторингтеу әдісін әзірлеу және енгізуге арналған зерттеу саланың заманауи талаптарына жауап береді және оператор желілерінің тұрақтылығын, экономикалық тиімділігін және технологиялық бәсекеге қабілеттілігін арттыруға септігін тигізеді.

Ұсынылған диссертациялық жұмыс ғылыми-зерттеу, әдістемелік және эксперименттік жұмыстардың негізінде жүзеге асырылды, оның аясында бір телекоммуникациялық оператор желісінде тәжірибелік жұмыстар мен модельдеу жүргізілді.

Жоғарыда аталған жағдайлар диссертациялық зерттеудің **мақсатын** айқындайды, ол былай тұжырымдалған: телекоммуникациялық желілерде сервистер сапасын жанама статистикалық деректерді талдау негізінде мониторингтеу әдісін әзірлеу.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін келесі зерттеу **міндеттері** орындалды:

- қызмет көрсету сапасын мониторингтеу әдістерін зерттеу, олардың артықшылықтары мен шектеулерін анықтау;
- бастапқы жанама белгілер жиынтығын және олардың маңыздылығын анықтау;
- тұрақсыздық коэффициенті  $K$ -ны енгізу;
- тұрақсыздық коэффициенті  $K$  үшін аналитикалық өрнектің дұрыстығын математикалық статистика және имитациялық модельдеу әдістері арқылы дәлелдеу;
- тұрақсыздық коэффициенті  $K$ -ны болжауға арналған регрессиялық және машиналық оқыту (ML) модельдерінің нәтижелерін салыстыру;
- әзірленген әдістің практикалық маңыздылығын және экономикалық тиімділігін оператор желісінің нақты мысалында бағалау.

Зерттеудің **объектісі** — қазіргі телекоммуникациялық желілерде қызметтер сапасын бақылау процестері. Зерттеудің **тақырыбы** — қызметтер сапасының метрикаларын жинау, талдау және болжау әдістері, олар PPPoE протоколының жанама статистикалық белгілеріне және машиналық оқыту алгоритмдеріне негізделген.

Диссертациялық жұмыстың **ғылыми жаңалығы** келесідей тұжырымдалады:

1. **Алғаш рет** желілік протоколдардың жанама статистикалық белгілері (RRPoE мысалында) негізінде қызмет көрсету сапасының көрсеткішін анықтау **тәсілі ұсынылды**. Бұл QoS параметрлерін тікелей өлшеусіз және қосымша жабдық енгізбей-ақ қызмет көрсету сапасының нашарлауын диагностикалауға және болжауға мүмкіндік береді.
2. **Алғаш рет** қосылымдардың авариялық үзілу үлесін сипаттайтын өлшемсіз **тұрақсыздық коэффициенті K ұсынылып**, аналитикалық түрде негізделді. Статистикалық көрсеткіштерді пайдалану тестілік трафикті генерацияламай және пайдаланушы сервистеріне әсер етпей жанама мониторингті жүзеге асыруға мүмкіндік береді.
3. Тұрақсыздық коэффициенті **K негізінде** қызмет көрсету сапасын **мониторингтеу әдісі әзірленді**, ол статистикалық талдау алгоритмдерін қамтиды және ұсынылған көрсеткіштің байланыс қызметтерінің сапасының нашарлауына сезімталдығын және статистикалық тұрғыдан негізділігін дәлелдеуге мүмкіндік береді.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша қорғауға келесі **ережелер** ұсынылады:

1. QoS параметрлерін тікелей өлшеуді қолданбай, қолжетімділік желілерінің протоколдарының жанама статистикалық белгілеріне негізделген қызмет көрсету сапасының көрсеткішін **анықтау тәсілі**.
2. **Тұрақсыздық коэффициенті K** байланыс қызметтерінің сапасын сипаттайтын интегралдық көрсеткіш болып табылады және жанама статистикалық деректер негізінде қосылымдардың тұрақтылығын сандық тұрғыдан бағалауды қамтамасыз етеді.
3. **K коэффициентіне негізделген ұсынылған мониторинг әдісі** статистикалық тұрғыдан негізді және жоғары сезімталдыққа ие.

Алынған нәтижелердің тәжірибелік қолданылуы «Қазақстандық банкаралық есеп айырысу орталығы» Республикалық мемлекеттің шаруашылық жүргізу құқығындағы кәсіпорны шығарған 15.03.2023 ж. даталы енгізу актісі және «Қазақтелеком» АҚ ақпараттық хатына негізделеді. Мониторинг жүйесін енгізу төтенше жағдайларға жауап беру уақытын азайтып, желінің проблемалы учаскелерін бақылау мен анықтауға, көрсетілетін қызметтер сапасын реттеп жақсартуға, сондай-ақ телекоммуникациялық желіні оңтайландыруға арналған сынақтар жүргізуге мүмкіндік бергені атап өтілген.

Зерттеудің негізгі қағидалары мен нәтижелері ғылыми жарияланымдарда көрініс тапқан: барлығы 6 ғылыми еңбек, оның ішінде мақалалар мен баяндамалар бар. Атап айтқанда, Комитеттің ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету жөніндегі (КОКСОН) ұсыным тізіміне енгізілген отандық ғылыми басылымда жарияланған 1 мақала; халықаралық ғылыми-техникалық конференциялардың материалдар жинақтарында жарияланған, соның ішінде ауызша баяндамамен ұсынылған 2 ғылыми баяндама; сондай-ақ Scopus деректер базасында индекстелетін 4 жарияланым, оның ішінде ғылыми журналдарда жарияланған 3 мақала және халықаралық конференция материалдар жинағында жарияланған 1 еңбек бар.

Scopus деректер базасында индекстелетін жарияланымдарға жарияланған сәтінде «Жалпы информатика» пәндік саласы бойынша 17% процентілі бар *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* журналындағы Article типіндегі мақала, «Есептеу желілері және деректерді беру» пәндік саласы бойынша 47% процентілі бар *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* журналындағы мақала, «Сигналдарды өңдеу» пәндік саласы бойынша 53% процентілі бар, Q2 квартиліне жататын *Engineering, Technology & Applied Science Research* журналындағы мақала, сондай-ақ Scopus деректер базасында индекстелетін IEEE халықаралық ғылыми конференциясының (2020 ж.) материалдар жинағында жарияланған еңбек кіреді.

Зерттелетін мәселенің шешіміне автордың жеке үлесі төмендегідей анықталады:

- Телекоммуникациялық желідегі қызмет сапасын мониторингтеу әдісін негіздеу, тұжырымдау және әзірлеу.
- Қызмет сапасының тиімді көрсеткіші ретінде тұрақсыздық коэффициентін есептеу және енгізу.
- Ұсынылған сапа көрсеткішінің тиімділігі туралы гипотезаны жасау және оны бірнеше жолмен дәлелдеу.
- Байланыс провайдерінің желісінде эксперименттік зерттеулер жүргізу және орындау, сондай-ақ MATLAB арнайы бағдарламалық кешенін пайдаланып модельдеу жұмыстарын жүргізу.

Диссертация жоғарыда көрсетілген рәсімдеу, құрылым және мазмұн талаптарына сәйкес орындалған. Жұмыс 4 негізгі бөлімнен, нормативтік сілтемелерден, белгілемелер мен анықтамалардан, кіріспеден, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады.

**Бірінші бөлім** заманауи мониторинг әдістерін жүйелендіруге (SNMP, NetFlow, sFlow, модельге негізделген телеметрия, белсенді/белсенді емес QoS/QoE бақылау, ақауларды анықтауға машиналық оқыту қолдану) арналады. Классикалық және инновациялық тәсілдердің артықшылықтары мен шектеулері бөлініп көрсетілді, сондай-ақ SDN/NFV және бұлтты желілердегі мониторинг талаптары талданды.

Диссертациялық жұмыстың **екінші бөлімінде** қызмет көрсету сапасын мониторингтеу үшін статистикалық деректердің көзі ретінде PPPoE протоколын таңдаудың негіздемесі берілген. PPPoE-сессияларды орнату және аяқтау процесінде қалыптасатын пайдаланушы қосылымдарының жұмысын сипаттайтын жанама белгілер (PADI, PADO, PADR, PADS, PADT) қарастырылған. Сессиялардың авариялық аяқталу санының өзгеруі ( $\Delta$ PADT) қосылымдардың тұрақсыздығының ақпараттық индикаторы болып табылатыны және желілік сервистер сапасының нашарлау белгілерін анықтау үшін қолданылуы мүмкін екендігі көрсетілген.

Авариялық аяқталатын PPPoE-сессиялардың салыстырмалы үлесін сипаттайтын өлшемсіз тұрақсыздық коэффициенті  $K$  енгізіліп, аналитикалық тұрғыдан негізделген. Ұсынылған көрсеткіш пайдаланушы қосылымдарының тұрақтылығын сандық тұрғыдан бағалауға және желі жағдайын әртүрлі жүктеме деңгейлерінде салыстыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген.

Статистикалық деректерді жинау және алдын ала өңдеу архитектурасы сипатталған, сондай-ақ тұрақсыздық коэффициентінің ұсынылған формуласын тексеру үшін MATLAB ортасында имитациялық модель әзірленген.

**Үшінші бөлім**  $K$ -ны болжау модельдерін құру мен салыстыруға арналады: сызықтық регрессиядан бастап ағаш ансамбльдеріне (Random Forest, XGBoost) және символдық регрессияға дейін. Әрбір модель үшін дәлдік метрикалары берілген, инженерлік қолдану сценарийлері келтірілген және өнеркәсіптік енгізу үшін ұсыныстар берілген. Формулалардың түсініктілігінің және болжау аналитикасындағы ML тәсілдерінің артықшылықтарының рөлі атап өтілген.

**Төртінші бөлімде** үлкен оператордың магистралды-қосылу сегментінде әдістің енгізілу тәжірибесі сипатталған. 8 апта бойындағы мониторинг нәтижелері берілген, нақты ақауларды анықтау және жою кейстері келтірілген (мысалы, VLAN 303-де), метрикалардың динамикасы, MTTR-ге әсері, экономикалық тиімділік (CAPEX, OPEX) және клиенттік қызметке ықпалы туралы егжей-тегжейлі талдау жүргізілген.

Қорытынды зерттеу нәтижелері мен диссертациялық жұмыстың негізгі қорытындыларын қорытындылайды.

Қосымшаларда зерттеу нәтижелеріне қатысты келесі негізгі мәліметтер жинақталған:

1. Бастапқы деректер кестелері.
2. Имитациялық модельге арналған кодтар листингі.
3. Машиналық оқытуға арналған кодтар листингі.
4. Дайындалған бағдарламалық қамтылымның листингі.
5. Зерттеу нәтижелерін енгізу актісінің көшірмесі.
6. Ақпараттық хаттың көшірмесі.