

## АНОТАЦІЯ

*Абакумова А.О.* Методи моніторингу та підвищення якості надання послуг стільникових мереж зв'язку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка. – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

Сталий і збалансований розвиток галузі зв'язку нерозривно пов'язаний зі збільшенням кількості абонентів і послуг, що надаються. Сучасний рівень розвитку ринку послуг стільникового зв'язку, якісні зміни в засобах та способах надання послуг, підвищення обсягу та багатоаспектності інформації, що циркулює в мережах стільникового зв'язку, висунули потребу в вдосконаленні системи оцінки якості послуг.

З метою збереження конкурентоспроможності основні зусилля оператори спрямовують на підвищення якості і збільшення терміну обслуговування абонентів в мережі, завдяки забезпеченню необхідного рівня задоволеності споживачів у високоякісних послугах за рахунок системи організаційно-технічних і соціально-економічних заходів щодо приведення досягнутого рівня якості надання послуг відповідно до існуючих, тих, що зароджуються або прогнозованих потреб абонентів.

Викладені обставини визначають актуальність дослідження задач, пов'язаних з оцінкою та управлінням якістю надання послуг стільникового зв'язку, і розробку підходів до їх вирішення.

В роботі проведено аналіз сучасних систем стільникового зв'язку з точки зору якості надання послуг, який показав, що стрімке зростання кількості пристроїв, вдосконалення їх технічних можливостей та зростання кількості послуг призвело до таких основних проблем, як низька швидкість завантаження та великий час затримки. Виявлені недоліки сучасних стільникових систем, такі

як відсутність забезпечення заявлених вимог до мереж сьогодення, незадовільна якість обслуговування абонентів, низька ефективність існуючих методів забезпечення якості надання послуг, сприяли аналізу системи наступного покоління (5G) та формуванню основних вимог, що висуваються з широкого кола користувачів, пристроїв, компаній з різних галузей промисловості. У 10000 разів більше трафіку потрібно буде проводити через всі стільникові широкосмугові технології між 2020 і 2030 роками, що висуває потребу в додатковій потужності та доступом до більшої кількості спектра на більш високих частотах. Іншим фактором є радіозатримка менше, ніж одна мілісекунда, що дуже важливо для досягнення високих швидкостей передачі даних, зберігаючи при цьому низьку вартість обладнання. Пікові швидкості передачі даних повинні бути вище, ніж 10 Гбіт/с, при цьому швидкість передачі даних на границі покриття (95% користувачів) повинна становити 100 Мбіт/с для використання стільникового Інтернету в якості надійної заміни кабелю.

Усе перераховане вище визначило напрямок наукового дослідження – забезпечення якості надання послуг операторами стільниковими зв'язку за результатами встановлення взаємозв'язків між ключовими параметрами якості сприйняття та якості обслуговування абонентів стільникових мереж у режимі реального часу з використанням машинного навчання. Для цього були окреслені напрямки наукових досліджень, які проводились в дисертаційній роботі.

Розглянуто ключові показники ефективності (KPI) і якості (KQI) стільникової мережі та встановлено ієрархію їх взаємодії, що визначає якість продукту для задоволення рівня сервісу, який надає стільниковий оператор. При виборі необхідних для адекватної оцінки якості сервісу індикаторів потрібно мінімізувати їх кількість і враховувати можливий «перехресний» вплив окремого KPI на кілька різних KQI. Сукупність параметрів та показників якості послуг повинна відображати основні критерії якості взаємодії стільникового обладнання з телекомунікаційною мережею та споживача з телекомунікаційною

послугою як товаром, що надає оператор стільникового зв'язку відповідно до ETSI TS 102 250-1.

Було встановлено основні випадки використання стандарту 5G, котрі зумовлені збільшенням нових цифрових, хмарних та вимог до безпеки у багатьох галузях, включаючи автомобільну, логістичну, роздрібну, розважальну, виробничу та телекомунікаційну діяльність. Потреба в нових випадках використання висуває нові необхідні функціональні можливості мережі майбутнього, що у свою чергу сприяє удосконаленню KPI в порівнянні з вимогами до мереж сьогодення. Зважаючи на це, в роботі визначено класифікацію випадків використання 5G у співвідношенні до KPI.

Для досягнення задачі підвищення якості надання послуг встановлено функціональну залежність між параметрами мережі, тобто визначено вплив ключових показників ефективності на ключовий показник якості шляхом використання кубічних ермітових сплайнів (КЕС). Застосування сплайнів, в якості моделі сигналу, дозволяє суттєво підвищити якість обробки сигналів за рахунок неперервності значень та частини похідних у вузлах склейки сплайну. КЕС вирізняються простотою розрахунків, за рахунок чого забезпечують високу швидкодію при обчисленні, що, у свою чергу, важливо для роботи в реальному часі при обробці великих масивів даних.

Експериментально показано, що застосування сплайнів дозволяє знаходити не тільки статистичні оцінки шуканих параметрів сплайн-наближень, але і їхні довірчі інтервали, що підвищує точність і вірогідність подальших розрахунків і є безсумнівною перевагою обраного підходу.

За рахунок застосування вперше розробленого методу визначення функціональної залежності між параметрами KPI та KQI на основі використання кубічних ермітових сплайнів стає можливим оцінити ступінь впливу кожного з параметрів KPI на параметр KQI з майбутнім середньостатистичним прогнозом даних, що призведе до реалізації вибору певного параметра KPI для подальшого

його покращення або оптимізації, з метою підвищення рівня якості надання послуг стільниковим оператором.

Розглянута основна технологія штучного інтелекту – машинне навчання – з точки зору застосування в сфері телекомунікацій як апарату для зниження витрат, збільшення обчислювальної потужності, покращення обслуговування і досвіду клієнтів, оптимізацію мережі і робочих процесів. З огляду на збільшення обсягу даних, що підлягають обробці в поточній архітектурі стільникового оператора, збільшується час обчислення і виникає затримка робочих потоків системи. Швидкість процесу розрахунку ключових показників ефективності та ключового індикатора якості, починаючи з приходу даних, що містять лічильники, до подання корисної інформації оператору, є ключовим вузьким місцем в системі управління якістю надання послуг. Машинне навчання дозволить з величезною швидкістю обробляти величезні масиви даних, виділяти необхідні відомості та надасть можливість приймати рішення в режимі реального часу. Машинне навчання є необхідним варіантом рішення операторів стільникового зв'язку щодо покращення якості надання послуг та роботи стільникової мережі в цілому, забезпечить не тільки покращення обслуговування і досвіду клієнтів, оптимізацію мережі і робочих процесів, а й збільшення доступних ресурсів та зниження витрат.

Удосконалено метод управління якістю послуг за рахунок використання машинного навчання, що є ефективним інструментом для моделювання інтегральних показників контролю якості надання послуг зв'язку, моніторингу їх стану в розрізі кінцевих примірників послуг, пошуку причин деградації та побудови звітності. Він відстежує працездатність послуг, що надаються оператором стільникового зв'язку. Крім того, метод перевіряє готовність і доступність послуг, виявляє вузли мережі, через які відбувається деградація якості, збирає різні якісні метрики і зіставляє їх з попередньо встановленими індикаторами якості.

Вперше розроблений метод оцінки та оптимізації стану мережі задля покращення якості надання послуг користувачам операторами стільникового зв'язку із використанням методу управління якістю послуг на основі принципів роботи машинного навчання. Представлений метод оцінки та оптимізації стану мережі є ефективним інструментом для формування запитів від абонентів, моніторингу стану мережі, моделювання інтегральних показників контролю якості надання послуг зв'язку та їх оптимізації, пошуку причин деградації та побудови звітності.

Розроблено прототип цілодобового Chatbot для обслуговування абонентів, що генерує на основі надходження запиту від абонента заяву з подальшим її аналізом системою з використанням машинного навчання. Chatbot реалізовано на мові програмування Python в програмному середовищі розробки PyCharm для додатку Telegram.

Проведено експериментальне дослідження та комп'ютерне моделювання системи моніторингу та оптимізації стільникової мережі в програмному середовищі Atoll на прикладі однієї із скарг, що були зафіксовані розробленим Chatbot, з розрахунком карт покриття, аналізом ключових показників якості та оптимізацією розподіленням навантаження, з метою представлення ефективності запропонованих методів та моделей для підвищення якості надання послуг користувачам.

Практична цінність отриманих результатів в дисертаційній роботі полягає в: розробці алгоритму роботи системи управління якістю послуг; розробці алгоритму роботи моделі оцінки якості надання послуг на основі машинного навчання; розробці та реалізації програмного забезпечення для додатку Telegram.

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено у діяльність ПрАТ «ВФ Україна», у навчальний процес Національного авіаційного університету, Національного технічного університету України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського» та Державного закладу «Київський коледж зв'язку».

Ключові слова: стільникова мережа, мережа наступного покоління, машинне навчання, сплайни, ключові параметри ефективності, якість надання послуги, оптимізація.

## **ABSTRACT**

*Abakumova A.O.* Methods of monitoring and improving the quality of cellular communication network services. – As a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, specialty 172 – Telecommunications and radio engineering. – National Aviation University, Kyiv, 2021.

Sustainable and balanced development of the communication industry is inextricably linked with an increase in the number of subscribers and services provided. The current level of development of the cellular services market, qualitative changes in the means and methods of providing services, increasing the volume and diversity of information circulating in cellular networks, put forward the need to improve the services quality assessment system.

In order to maintain competitiveness, the main efforts of operators are aimed at improving the quality and increasing the service life of subscribers in the network, by ensuring the required level of customer satisfaction in high quality services through a system of organizational-technical and socio-economic measures to bring the achieved level of QoS provision in accordance with the existing, emerging or projected needs of subscribers.

These circumstances determine the relevance of the study tasks related to the assessment and management of the quality of cellular services, and the development of approaches to their solution.

The paper analyzes modern cellular systems in terms of service quality, which showed that the rapid growth in the number of devices, improving their technical capabilities and increasing the number of services has led to such major problems as low download speeds and long latency. The shortcomings of modern cellular systems, such as the lack of compliance with the stated requirements for today's networks, unsatisfactory quality of customer service, low efficiency of existing methods of quality assurance, contributed to the analysis of next generation (5G) and the formation of basic requirements for a wide range of users. devices, companies from various industries. 10,000 times more traffic will be needed through all cellular broadband technologies between 2020 and 2030, which puts forward the need for additional power and access to more spectrum at higher frequencies. Another factor is the radio delay of less than one millisecond, which is very important to achieve high data rates while maintaining low equipment costs. Peak data rates should be higher than 10 Gbps, and the data rate on the border of coverage (95% of users) should be 100 Mbps to use cellular Internet as a reliable cable replacement.

All of the above defined the direction of research - ensuring the quality of services provided by cellular operators through the establishment of relationships between key parameters of the quality of perception and quality of service to mobile network subscribers in real time using machine learning. For this purpose, the directions of scientific researches which were spent in the dissertation work were outlined.

The key performance indicators (KPI) and quality (KQI) of the cellular network are considered and the hierarchy of their interaction is established, which determines the quality of the product to meet the level of service provided by the cellular operator. When selecting the indicators needed to adequately assess the quality of service, it is necessary to minimize their number and take into account the possible "cross" impact of a single KPI on several different KQI. The set of parameters and indicators of service quality should reflect the main criteria for the quality of cellular

equipment with the telecommunications network interaction and the consumer with the telecommunications service as a product, provided by the cellular operator in accordance with ETSI TS 102 250-1.

The main uses of the 5G standard have been identified due to the increase in new digital, cloud and security requirements in many areas, including automotive, logistics, retail, entertainment, manufacturing and telecommunications. The need for new use cases puts forward the new necessary functionality of the future network, which in turn contributes to the improvement of KPI compared to the requirements for today's networks. In view of this, the paper defines the classification of cases of 5G use in relation to KPI.

To achieve the task of improving the quality of service provision, a functional relationship between network parameters has been established, i.e. the impact of key performance indicators on a key quality indicator through the use of cubic Hermitian splines (CHS) has been determined. The use of splines, as a signal model, can significantly improve the quality of signal processing due to the continuity of values and part of the derivatives in the joints of spline gluing. CHS are characterized by simplicity of calculations, due to which they provide high speed in computing, which, in turn, is important for real-time work when processing large data sets.

It is experimentally shown that the use of splines allows to find not only statistical estimates of the required parameters of spline approximations, but also their confidence intervals, which increases the accuracy and probability of further calculations and is a definite advantage of the chosen approach.

Due to the application of the first developed method of determining the functional relationship between KPI and KQI parameters based on the use of cubic Hermitian splines, it becomes possible to assess the degree of influence of each KPI parameter on the KQI parameter with future average data forecast, which will lead to the implementation of the certain KPI parameter choice for its further improvement or



optimization, in order to improve the quality of service provision by the cellular operator.

The main technology of artificial intelligence - machine learning – is considered in terms of application in the field of telecommunications as a device to cost reduction, computing power increase, customer service and experience improvement, network optimization and workflow. Due to the data amount increase to be processed in the current architecture of the cellular operator, the computation time increases and there is a delay in the workflow of the system. The speed of the calculating process of key performance indicators and key quality indicators, from the arrival of data containing in meters to the provision of useful information to the operator, is a key bottleneck in the quality management system. Machine learning will allow to process huge amounts of data with great speed, extract the necessary information and provide the opportunity to make decisions in real time. Machine learning is a necessary solution for cellular operators to improve the quality of service and the cellular network as a whole, not only to improve customer service and experience, network optimization and workflows, but also to increase available resources and cost reduction.

The method of service quality management through machine learning has been improved, which is an effective tool for modeling integrated indicators of communication services quality control, monitoring their condition in terms of final copies of services, finding the causes of degradation and reporting. It monitors the performance of services provided by the cellular operator. In addition, the method checks the readiness and availability of services, detects network nodes through which quality degradation occurs, collects various quality metrics and compares them with pre-installed quality indicators.

For the first time, a method has been developed to assess and optimize the network state to improve the quality of service provision to users by cellular operators using the method of services quality management based on the principles of machine

learning. The presented method of assessing and optimization of the network state is an effective tool for generating requests from subscribers, network state monitoring, modeling integrated indicators of communication services quality control and their optimization, finding the causes of degradation and reporting.

A prototype of a 24-hour Chatbot for customer service has been developed, which generates a statement based on the receipt of a request from the subscriber with its subsequent analysis by a system using machine learning. Chatbot is implemented in the Python programming language in the PyCharm software development environment for the Telegram application.

An experimental study and computer modeling of the monitoring and optimization system of the cellular network in the software environment Atoll were conducted on the example of one of the complaints that were recorded by Chatbot, with the calculation of coverage maps, analysis of key quality indicators and optimization of load distribution, in order to present the effectiveness of the proposed methods and models to improve the customer service quality.

The practical value of the obtained results in the dissertation work is: development of the algorithm of the service quality management system; development of the algorithm of the model for assessing the quality of service provision based on machine learning; development and implementation of software for the Telegram application.

The materials of the dissertation were introduced into the activity of Vodafone Ukraine, into the educational process of the National Aviation University, the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky" and the Kyiv-based Communications College.

Keywords: cellular network, next generation network, machine learning, splines, key performance indicators, service quality, optimization.

**Список публікацій здобувача**

1. Абакумова А.О. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні / Одарченко Р.С., Дика Н.В., Абакумова А.О. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 2 (54). – К.: НАУ, 2016. – С. 52-59

2. Абакумова А.О. Визначення залежності між параметрами стільникової мережі кубічним ермітовим сплайном / Абакумова А.О., Одарченко Р.С., Шутко В.М. // Науково-технічний журнал «Мікросистеми, Електроніка та Акустика» ». – 2018. – Том 23, № 6 (107). – С. 34-41

3. Abakumova A. Adaptive Regulation of Radiated Power Radio Transmitting Devices in Modern Cellular Network Depending on Climatic Conditions / Mazin AlHadidi, Jamil S. Al-Azzeh, R. Odarchenk, S. Gnatyuk, A. Abakumova // Contemporary Engineering Sciences [Електронне наукове видання]. Vol. 9 – 2016. – № 10. – С. 473-485. Режим доступу: <http://www.m-hikari.com/ces/ces2016/ces9-12-2016/p/alazzeHCES9-12-2016.pdf>

4. Абакумова А.О. Поліноміальний сплайн для вирішення прикладних задач в телекомунікаціях та радіотехніці / Абакумова А.О., Сліпучіна О.О., Одарченко Р.С., Яновський Ф.Й., Шутко В.М. // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – 2018. – Том 29 (68) № 5. – С. 60-64

5. Абакумова А.О. Метод балансування навантаження в опорній мережі стільникового оператора / Одарченко Р.С., Абакумова А.О. // Науковий журнал «Наукоємні технології» (“Science-Based Technologies”). – 2016. – № 4 (32). – С. 369-375

6. Abakumova A. Advanced method for QoE evaluation and improvement in modern cellular networks / R. Odarchenko, A. Abakumova, S. Bondar, Y. Bogachuk, K. Maratkyzy //

Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T):  
Conference proceedings. – October 6-9, 2020, Kharkiv, Ukraine.

7. Abakumova A. QoE Optimization Technique for Media Delivery in 5G  
Networks / R. Odarchenko, A. Abakumova, P. Usik, O. Smirnov, M. Kundyz // 2019  
IEEE International Scientific-Practical Conference:  
Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T):  
Conference proceedings. – October 8-11, 2019, Kyiv, Ukraine. – pp. 597 - 601. –  
ISBN: 978-172814184-8, DOI: 10.1109/PICST47496.2019.9061469

8. Abakumova A.  
Security key indicators assessment for modern cellular networks / R. Odarchenko, A.  
Abakumova, V. Gnatyuk, S. Gnatyuk // IEEE 1st  
International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, SAIC 2018:  
Conference proceedings. – October 8-12, 2018, Kiev, Ukraine. – pp. 83 - 89. –  
ISBN: 978-153867195-5, DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516889

9. Abakumova A. Traffic offload improved method for 4G/5G  
mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Poligenko, S. Gnatyuk //  
14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics,  
Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): Conference proceedings. –  
February 20-24, 2018, Slavske, Ukraine. – pp. 1051 - 1054. – ISBN: 978-153862556-  
9, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336375

10. Abakumova A.  
Estimation and reduction of the climatic conditions influence on the radio signal propagation in  
the troposphere / R. Odarchenko, N. Dyka, G. Konakhovych, A. Abakumova, D.  
Vergeles // 2017 4th International Scientific-  
Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC  
S&T): Conference proceedings. – October 10-13, 2017, Kharkiv, Ukraine. – pp. 45 –  
48. – ISBN: 978-1-5386-0983-5, DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246346

11. Abakumova A.  
Mobile operators base stations subsystem optimization method / R. Odarchenko, N. Dyka, O. Poligenko; L. Kharlai, A. Abakumova // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T): Conference proceedings. – October 10-13, 2017, Kharkiv, Ukraine. – pp. 29 – 33. – ISBN: 978-1-5386-0983-5, DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2017.8246342
12. Abakumova A.  
Transport network optimization methods of mobile operators in Ukraine / R. Odarchenko, Y. Kochergin, D. Vergeles, A. Abakumova // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON): Conference proceedings. – May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine. – pp. 1107-1112. – ISBN: 978-1-5090-3006-4
13. Abakumova A. LTE  
and wireless sensor networks integration in the concept of "Smart Home" / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Tkalic, O. Ustinov // 2016 IEEE 4th International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC): Conference proceedings. October 18-20, 2016, Kyiv, Ukraine. – pp. 35 – 38. – ISBN: 978-1-5090-1052-3, DOI: 10.1109/MSNMC.2016.7783100
14. Abakumova A. Evaluation of SDN  
Network Scalability with Different Management Level Structure / R. Odarchenko, O. Tkalic, G. Konahovich, A. Abakumova // 2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T): Conference proceedings. October 4-6, 2016, Kharkiv, Ukraine. – pp. 128 – 131. – ISBN: 978-1-5090-2978-5, DOI: 10.1109/INFOCOMMST.2016.7905357
15. Study the problem of service provision quality assessment in cellular networks / A. Abakumova, M. Roshchuk // Inzynier XXI wieku: Monografia. – Bielsko-Biala: 2017. – pp. 17-26. – ISBN 978-83-65182-81-4 (Tom 2)

16. Traffic flow reservation and redistribution methods in the backbone mobile operator network / A. Abakumova // Inzynier XXI wieku: Monografia. – Bielsko-Biala: 2016. – pp. 25-34. – ISBN 978-83-65182-51-7

17. Абакумова А.О.  
Удосконалена архітектура системи безпеки мережі стільникового оператора нового покоління / Р.С. Одарченко, А.О. Абакумова, Дика Н.В., В.О. Гнатюк // «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації»: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село ВерхнєСтудене, туристичний комплекс «Едельвейс». 21-24 лютого 2018 р.) – К.: Видавництво Європейського університету, 2018. – С. 8-10

18. Абакумова А.О. Використання машинного навчання для планування та управління послугами мереж 5G / Р.С. Одарченко, А.О. Абакумова // «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації»: тези доповідей учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село ВерхнєСтудене, туристичний комплекс «Едельвейс». 21-24 лютого 2018 р.) – К.: Видавництво Європейського університету, 2018. – С. 8-10

19. Абакумова А.О. Аналіз мережі 5G та перспектив її розгортання / Р.С. Одарченко, А.О. Абакумова, Л.О. Харлай // Проблеми навігації і управління рухом: тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студ.; м. Київ, 22–24 листопада 2017 р., Національний авіаційний університет / редкол.: І. О. Мачалін та ін. – К. : НАУ, 2017. – С. 55.

20. Abakumova A.  
Efficiency Improving Methods of Modern Troposphere Radio Systems of Special Purpose / R. Odarchenko, A. Abakumova, D. Verheles, N. Dyka // Перша міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні та

інформаційні системи і технології». Збірник наукових праць. Харків: ХНУРЕ. 2017. – С. 10.

21. Абакумова А.О. Аналіз основних вимог до транспортної мережі нового покоління / А.О. Абакумова, Р.С. Одарченко // АВІА-2017: XIII міжнародна науково-технічна конференція, 19-21 квітня 2017 р.: матеріали конф. – К., 2017. – С. 14.19-14.23.

22. Абакумова А.О. Вибір оптимального методу резервування ресурсів транспортної мережі стільникового оператора зв'язку / А.О. Абакумова, С.Ю. Даков, С.А. Буйновський, Р.С. Одарченко // «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації»: тези доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції (Закарпатська область, Міжгірський район, село Верхнє Студене, туристичний комплекс «Едельвейс». 22 – 25 лютого 2017 р.). – К.: Видавництво Європейського університету, 2017. – С. 9-10.

23. Абакумова А.О. Методика вибору оптимальної технології транспортної мережі / А.О. Абакумова // Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: тези доп. наук.-техн. конф., м. Київ, 21–23 листопада 2016 р., Національний авіаційний університет / редкол.: В.І. Чепіженко, С.М. Креденцар та ін. – К.: НАУ, 2016. – С. 34.

24. Абакумова А.О. Метод підвищення ефективності використання каналів транспортної мережі стільникових операторів / А.О. Абакумова // Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем: Тези наук.-практ. конф.; м. Київ, 7–9 червня 2016 р., Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2016. – С. 5-6.

25. Абакумова А.О. Основні вимоги до обладнання мереж стільникових операторів / А.О. Абакумова // XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки».

[Електронний ресурс]. – К.: НАУ, 2016. – С. 102. Режим доступу до збірника:<http://iids.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2014/03/polit2016.pdf>

26. Абакумова А. О. Метод побудови сучасної стільникової мережі на базі технології SDN / А. О. Абакумова // Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: Збірник тез доп. Міжнародної науково-практичної конференції, 24–25 березня 2016 р., м. Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 82-83.

27. Абакумова А. О. Формування вимог до транспортної мережі оператора стільникового зв'язку / А. О. Абакумова, Р. С. Одарченко // Проблеми навігації і управління рухом: тези доп. Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів; м. Київ, 23–25 листопада 2015 р., Національний авіаційний університет / редкол.: В.П. Харченко та ін. – К.: НАУ, 2015. – С. 80.

28. Абакумова А. О. Система керування мікрокліматом з використанням сенсорних мереж / А. О. Абакумова // Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем: Тези наук.-практ. конф.; м. Київ, 2–4 червня 2015 р., Національний авіаційний університет. – К.: ТОВ «Центр учбової літератури», 2015. – С. 72-73. – ISBN: 978-611-01-0740-2.

29. Абакумова А. О. Технологія IP-over-DWDM на опорній транспортній мережі IP/MPLS / А. О. Абакумова // VIII Міжн. наук.-техн. конф. молодих вчених «Електроніка-2015», 15–17 квітня 2015 р.: зб. статей. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 258-261. – ISBN: 978-617-7240-07-3.

30. Абакумова А. О. Дослідження можливості інтеграції сенсорних мереж з мережею LTE / А. О. Абакумова, Р. С. Одарченко // Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: тези доп. наук.-техн. конф., м. Київ, 17–19 листопада 2014 р., Національний авіаційний університет / редкол.: М.С. Кулик та ін. – К.: НАУ, 2014. – С. 41.



31. Пат. 108520 UA, МПК H04K 1/06 (2006.01)  
Спосіб підсилення стійкості квантових протоколів прямого безпечного зв'язку  
[Текст] / Одарченко Р. С., Гнатюк С. О., Абакумова А. О., Стоянович А.  
Д., Жмурко Т. О., Кінзерявий В.  
М.; заявник Національний Авіаційний Університет. – № u201512445; заявл.  
16.12.2015; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14, 2016 р.