

DOI 10.54596/2958-0048-2026-2-307-327

ӨЖ 004.7

ҒТАМА 49.37.29

## ҚҰРЫЛЫС НЫСАНДАРЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН СЫМСЫЗ ТАРАТЫЛҒАН МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Калиаскаров Н.Б.<sup>1</sup>, Машрапова Г.Н.<sup>1\*</sup>, Жаксылық Ж.Е.<sup>1</sup>, Гарифуллинова Д.Н.<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ,  
Қарағанды, Қазақстан

<sup>2</sup> Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті,  
Қарағанды, Қазақстан

\*Хат-хабар үшін автор: [g.mashrapova@ktu.edu.kz](mailto:g.mashrapova@ktu.edu.kz)

### Аңдатпа

Зерттеу барысында құрылыс нысандарының техникалық жағдайын бақылайтын сымсыз таратылған жүйенің құрылымы жасалды, жүйенің қадамдық жұмыс істеу реті мен қателер туындаған жағдайдағы іс-қимылдар алгоритмі әзірленді, зертханалық және далалық жағдайларда жүйенің жұмысқа қабілеттілігі тексерілді, акселерометр, гироскоп, жарықтандыру, СО<sub>2</sub> және температура мен ылғалдылық датчиктері біріктірілді. Жұмыс барысында келесі мәселелердің шешу жолдары табылды: биік ғимараттар, көпірлер мен жерасты құрылыстарының жағдайын қашықтан бақылау қажеттілігі, кабельді жүйелердің қымбаттығы мен техникалық күрделілігін жою, Қазақстанда қолданылатын шетелдік қымбат жүйелер мен сервистік қызметтерге балама ретінде қолжетімді, икемді отандық жүйе жасау, нысандардың деформациясын ерте анықтап, апаттардың алдын алу.

Әзірленген сымсыз жүйе нақты ортада (ауа райының өзгеруі, кедергілер) тұрақты жұмыс істейтіні дәлелденді, магнитометр мен температура датчиктерінің абсолюттік қателіктері есептеліп, олардың рұқсат етілген нормалар шегінде екені анықталды, жүйенің тек құрылыста емес, энергетика, ауыл шаруашылығы мен метеорология салаларында да масштабтауға болатын икемділігі анықталды.

Деректер нақты уақыт режимінде Thingspeak серверіне түсіп отырады, бұл нысанның жағдайы туралы жедел болжам жасауға мүмкіндік береді, статистикалық өңдеуден өткен қателіктер туралы мәліметтер жүйенің өлшеу дәлдігіне кепілдік береді, зерттеу нәтижелері мен дайын алгоритмдерді қолдана отырып, жүйенің бағдарламалық кодын сәл өзгерту арқылы оны өнеркәсіптің кез келген саласына тез енгізуге болады, бұл уақыт пен қаржыны үнемдейді.

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2025–2027 жылдарға арналған гранттық қаржыландыруымен іске асырылатын АР26197145 «Ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын бақылайтын үйлестірілген сымсыз Wi-Fi жүйесін әзірлеу» жобасы аясындағы зерттеу жұмысының нәтижесі болып табылады.

**Кілт сөздер:** сымсыз мониторинг жүйесі, құрылыс нысандары, техникалық жағдай, датчиктер, Wi-Fi технологиясы, қашықтан бақылау, деформацияны анықтау, нақты уақыттағы деректер.

**РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ  
МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ОБЪЕКТОВ****Калиаскаров Н.Б.<sup>1</sup>, Машрапова Г.Н.<sup>1\*</sup>, Жаксылык Ж.Е.<sup>1</sup>, Гарифуллина Д.Н.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,  
Караганда, Казахстан*<sup>2</sup>*Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика  
Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан**\*Автор для корреспонденции: [g.mashrapova@ktu.edu.kz](mailto:g.mashrapova@ktu.edu.kz)***Аннотация**

В ходе исследования разработана структура распределённой беспроводной системы мониторинга технического состояния строительных объектов, а также сформированы пошаговый алгоритм функционирования системы и алгоритм действий при возникновении ошибок. Работоспособность разработанной системы подтверждена в лабораторных и полевых условиях. В состав системы интегрированы датчики акселерометрии, гироскопии, освещённости, концентрации CO<sub>2</sub>, температуры и влажности. В рамках исследования предложены решения ряда актуальных задач, включая обеспечение дистанционного мониторинга состояния высотных зданий, мостов и подземных сооружений, снижение стоимости и устранение технической сложности кабельных систем, разработку доступной и адаптивной отечественной системы в качестве альтернативы дорогостоящим зарубежным решениям, а также обеспечение раннего выявления деформаций объектов и предупреждения аварийных ситуаций.

Доказано, что разработанная беспроводная система стабильно функционирует в реальных условиях эксплуатации (при изменении погодных условий и наличии помех). Рассчитаны абсолютные погрешности магнитометра и температурных датчиков, установлено, что их значения находятся в пределах допустимых норм. Также выявлена гибкость системы, позволяющая её масштабирование не только в строительной отрасли, но и в энергетике, сельском хозяйстве и метеорологии.

Данные в режиме реального времени передаются на сервер ThingSpeak, что обеспечивает возможность оперативного прогнозирования состояния объекта. Информация об ошибках, полученная в результате статистической обработки, подтверждает точность измерений системы. Использование результатов исследования и разработанных алгоритмов позволяет при незначительном изменении программного кода оперативно внедрять систему в различные отрасли промышленности, что способствует экономии времени и финансовых ресурсов.

Статья является результатом исследовательской работы в рамках проекта ИРН АР26197145 «Разработка распределенной беспроводной Wi-Fi системы контроля технического состояния зданий и сооружений» в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2025-2027 года.

**Ключевые слова:** беспроводная система мониторинга, строительные объекты, техническое состояние, датчики, Wi-Fi технология, дистанционный контроль, обнаружение деформаций, данные в реальном времени.

**DEVELOPMENT OF A WIRELESS DISTRIBUTED SYSTEM FOR MONITORING  
THE TECHNICAL CONDITION OF BUILDING FACILITIES**

**N.B. Kaliaskarov<sup>1</sup>, G.N. Mashrapova<sup>1\*</sup>, Zh.E. Zhaxylyk<sup>1</sup>, D.N. Garifullinova<sup>2</sup>**

<sup>1\*</sup>*«Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» NJSC,  
Karaganda, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Karaganda National Research University named after Academician E.A. Buketov,  
Karaganda, Kazakhstan*

*\*Corresponding author: [g.mashrapova@ktu.edu.kz](mailto:g.mashrapova@ktu.edu.kz)*

**Abstract**

In the course of the study, the structure of a distributed wireless system for monitoring the technical condition of construction facilities was developed, and a step-by-step algorithm for the system's operation and an algorithm for handling errors were created. The developed system was tested in laboratory and field conditions. The system includes sensors for acceleration, gyroscope, light, CO<sub>2</sub> concentration, temperature, and humidity. The study proposes solutions to a number of pressing issues, including remote monitoring of high-rise buildings, bridges, and underground structures, reducing the cost and technical complexity of cable systems, developing an affordable and adaptable domestic system as an alternative to expensive foreign solutions, and ensuring early detection of object deformations and prevention of emergencies.

It has been proven that the developed wireless system functions stably under real operating conditions (with changing weather conditions and interference). The absolute errors of the magnetometer and temperature sensors have been calculated, and it has been established that their values are within the acceptable limits. The system's flexibility has also been identified, allowing for its scaling not only in the construction industry but also in the fields of energy, agriculture, and meteorology.

Data is transmitted to the ThingSpeak server in real time, which allows for prompt forecasting of the object's condition. The error information obtained through statistical processing confirms the accuracy of the system's measurements. The use of research results and developed algorithms enables the rapid implementation of the system in various industries with minimal changes to the software code, resulting in time and financial savings.

The article is the result of research work within the framework of the IRN project AP26197145 "Development of a distributed wireless Wi-Fi system for monitoring the technical condition of buildings and structures" within the framework of grant funding from the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2025-2027.

**Keywords:** wireless monitoring system, construction objects, technical condition, sensors, Wi-Fi technology, remote monitoring, deformation detection, real-time data.

**Кіріспе**

Телекоммуникациялық жүйелер мен электрониканың дамуы автоматтандырылған бақылау және зияткерлік басқару жүйелерін қолданумен тығыз байланысты, бұл қолжетімділігі қиын аймақтарда орналасқан нысандарға қашықтан мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді. Мұндай нысандарға құрылыс ғимараттары мен үймереттері жатады. Осы жүйелер арқылы қашықтан мониторинг жүргізу жыл сайын әртүрлі құрылғылар мен датчиктерді қолданудың жаңа әдістері мен тәсілдерімен жаңартылып отырады. Қашықтан мониторингті жүзеге асыруда маңызды критерийлердің бірі – сымсыз байланыстың жоғары сапасы және өлшеу датчиктерін деректерді беру үшін сымсыз модульдермен дұрыс баптау. Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын бақылау олардың негізгі деформациялық сипаттамаларын өлшеу арқылы жүзеге асырылады. Мониторингті тиімді әрі дұрыс жүргізу үшін деректерді тек бір ғана емес, әртүрлі мөлшердегі датчиктерден сымсыз түрде жеткізуді қамтамасыз ету қажет, бұл өз кезегінде жоғары сапалы нәтижелер алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі автономды сымсыз мониторинг жүйелерін талдау және оларға қойылатын негізгі талаптарға шолу жасау жүйе құрылымы иерархиялық түрде байланысқан болуы керектігін көрсетті, ал барлық элементтер мен ішкі жүйелер жүйенің жұмыс алгоритмін бұзбай, оның құрылымдық бөліктерін логикалық түрде біріктіруі тиіс. Жүйе оңай орналастырылатын болуы қажет, барлық элементтері зерттеу процесін бұзбай ауыстырылуы тиіс. Сонымен қатар, қашықтан мониторинг жүргізілуіне байланысты, барлық элементтер зерттелетін нысандарға еш қиындықсыз орнатылуы керек. Басқару нысанына қолжетімділік тікелей болуы тиіс, ал датчиктер мен атқарушы механизмдердің блоктары басқарушы сигналдарды дұрыс қалыптастырып, оларды сымсыз байланыс арқылы жеткізуі қажет.

#### **Әдеби деректерді талдау және мәселені қою**

Инженерлік құрылымдардың мониторинг жүйелерін пайдалану мәселелері Мирсояпов И.Т., Королев И.В., Болдырев Г.Г., Епинин Е.С., Живаев А.С. және басқа да зерттеушілердің еңбектерінде қарастырылған.

Abruzzese D., Micheletti A., Tiero A., Cosentino M., Forconi D., Grizzi G., Scarano G., Vuth S. және Abiuso P. авторлары өз жұмыстарында құрылымдардың жағдайын мониторингтеу бойынша өздерінің заманауи шешімдерін ұсынған [1]. Жүйе құрамына әртүрлі акселерометрлер, тензодатчиктер, деформометрлер және басқа да құрылғылар енгізілген. Құрылымға егжей-тегжейлі бақылау жүргізу үшін жүйе құрамына кіретін датчиктерге тәжірибелік апробация жүргізілген. Бұл процесс нақты уақыт режимінде өлшеу нәтижелерін құрылымның сандық модельдеу нәтижелерімен салыстыруды да қамтуы мүмкін. Сонымен қатар, қарапайым бақылау деңгейінен неғұрлым күрделі «зияткерлік бақылау» деңгейіне көшуге мүмкіндік беретін кері байланысты қамтамасыз ету де қарастырылған.

Сондай-ақ Репников Л.Н., Мороз А.И., Жашков В.С. және Аникин А.А. авторларының «Құрылыс конструкцияларындағы жарықтарды мониторингтеу тәсілі» - атауымен патенттелген өнертабысы белгілі [2]. Бұл әдіс құрылыс нысандарын, ғимараттарды, іргетастарды немесе жерасты құрылыстарын тексеру, бақылау және ұзақ мерзімді пайдалану барысында қолданылуы мүмкін. Өнертабыс келесі міндеттерді шешуге бағытталған: өлшеу дәлдігін арттыру, мониторинг жүргізу кезінде тіркелетін параметрлер санын көбейту, жарықтардың өлшемі мен сипатының жылдам өзгеруі кезінде қауіпті үрдістерді жедел және уақтылы анықтау мүмкіндігін қамтамасыз ету. Ұсынылған тәсіл бойынша жарықтың ұлғаю параметрлері өзара перпендикуляр бағыттарда өлшенеді.

Тағы бір белгілі өнертабыс – «Ғимараттар мен құрылыстардағы жарықтар мен буындардың жағдайын мониторингтеу жүйесі», оны Евтушенко С.И., Крахмальний Т.А. және Крахмальная М.П. ұсынған және патенттеген. Бұл жүйеге сағат типті датчик-индикатор және өлшенетін жарықтың әртүрлі ұштарында құрылыс конструкциясының бетіне орналастырылған тіректер кіреді. Жүйеге [3] қосымша ретінде қабылдаушы радиомодуль, өлшенетін мәндерді тіркеу құрылғысы енгізілген. Құрылыс ғимарат бетіне бекітілген датчик құрамында реохорд, қозғалмалы ток қабылдағыш, АЦТ, жіберуші, микроконтроллер, химиялық кернеу көзі және «сағат-оятқыш» деп аталатын модуль орналасқан. Сағат типті датчик-индикатордың шығатын штоктары конструкцияның тірек бөліктеріне тіреліп тұрады.

«Ғимараттар мен құрылыстардың негізгі конструкцияларының техникалық жағдайын мониторинг жүргізу барысында олардың кернеу-деформациялық күйін бағалау» тақырыбындағы техникалық ғылым кандидаты дәрежесін алу үшін жазылған

диссертациясында Коргина М.А. [4] ғимараттар мен құрылыстардың техникалық жағдайын бағалау үшін мониторинг жүйесін әзірлеген, оған ғимарат нүктелерінің қозғалысын автоматтандырылған зияткерлік түрде түсірудің жаңа әдістері мен тахеометрлер кіреді. Автор ғимараттарды таңдамалы тексеру, құрылымдардың кернеу-деформациялық күйін шекті-элементтік талдау және алынған нәтижелер бойынша кеңістіктік-координаттық өлшеулер жүргізуді қолдануды ұсынады.

Ғимараттарды мониторингтеу жүйесінің тағы да бір мысалы – Лазебник Г.Е. және Кошелева Н.Н. әзірлеген жүйе [5]. Осы жүйенің көмегімен топырақ күйінің динамикасын, бетон формасының өзгерісін және арматура стерженьдеріндегі күшті бақылауға болады. Аталған жүйе есептік және нақты шөгудер мен қисықтық көрсеткіштеріндегі айырмашылықтарды ескере отырып әзірленген.

Суцев С.П. сипаттаған «Стрела» кешені [6] биік ғимараттар мен құрылыстардың тұрақтылығын және қалған ресурсын мониторингтеу үшін қолданылады. Кешен 0,1 Гц-тен 300 Гц дейінгі диапазонда реакцияны тіркеуге арналған.

Әлемнің басқа елдерінде ғимараттар мен құрылыстардың қашықтан мониторинг жүйелерін әзірлеуші ретінде мынадай компаниялар танымал: АО «КТБ Железобетон», НТП «Горизонт», ИПФ НАН Беларуси, ООО «ГПКО», Sisgeo, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd, Geokon, ФГУП «ВНИИА», ФГУП «НИИФИ», RefTek, Kinematics, Digitexx және басқа да компаниялар.

Қазақстанда осы мәселені мынадай компаниялар зерттейді: ТОО «СтройДевелопмент», INTELVISION, MONITORING SYSTEMS GROUP және басқа да компаниялар.

Талдаудан өткен жүйелер құрылыс ғимараттарының техникалық жағдайын мониторингтеу кезінде белгілі бір тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Алайда [1, б.378] еңбекте Abruzzese D., Micheletti A., Tiero A., Cosentino M., Forconi D., Grizzi G., Scarano G., Vuth S. және Abiuso P. авторлары барлық жүйенің сенімділігі мен ұзақ мерзімді мониторингтің тұрақтылығы мәселесін толық шешпеген.

Егер бақылауға алынатын жарық қолжетімділігі қиын жерде немесе үлкен биіктікте орналасқан болса, Репников Л.Н., Мороз А.И., Жашков В.С. және Аникин А.А. ұсынған әдісте және патенттеген тәсілде қиындық туындайды [2, б.2]. Сонымен қатар, бұл жүйені ғимараттағы немесе құрылыстағы көптеген жарықтарды бақылау қажет болған жағдайда қолдану қиын.

Евтушенко С.И., Крахмальный Т.А. және Крахмальная М.П. авторлары ұсынған жүйесінде және патенттеген тәсілде жарықтарды өлшейтін датчик ретінде реостат типті датчик қолданылады, оның шығыс сигналы сатылы сипатқа ие, бұл шығыс сигналында қосымша қателіктің пайда болуына әкеледі және де датчиктегі контакті электромеханикалық бөлшектер құрылғының қызмет ету мерзімін қысқартады [3, б.3]. Сонымен қатар, жарық өлшемдерінің динамикасын бақылаудың жоқтығы жүйенің ақпараттылығын және ғимарат жағдайы туралы болжам сапасын төмендетеді.

Коргина М.А. еңбектерінде қолданған тәсілдің кемшілігі – жарықтарды өлшеу, температура, ылғалдылық және басқа параметрлерді белгілі әдістермен өлшеудің жоқтығы [4, б.62]. Өлшеу барысында толық бақылаудың болмауы тек тахеометриялық түсіру нәтижелеріне сүйене отырып зерттеуді толық жүргізуге мүмкіндік бермейді.

Лазебник Г.Е. және Кошелева Н.Н. әзірлеген жүйесінің кемшілігі – ескі жабдықты қолдану, ол жылдар өте келе параметрлерді қате өлшейтін қасиетке ие, себебі уақытында калибрлеу жұмыстары жүргізілмейді [4, б.18]. Сондықтан сымсыз техникалық бақылау және мониторинг жүйелері осы фактіні ескеруі тиіс және пайдаланушыға осындай

қиындықтар туғызбауы керек; басқаша айтқанда, жүйе элементтерді физикалық түрде ауыстыру мен қайта баптаудың қолжетімділігі мен қарапайымдылығына ие болуы қажет.

Суцев С.П. сипаттаған кешен методологиялық кемшілікке ие – уақыт өте келе өзгертін сипаттамалар тек жиіліктік аймақ әдістерімен анықталады, ал талдауды толық жүргізу үшін уақыттық аймақ әдістерін де қолдану қажет [6, б.2].

Қазақстанда қолданылатын қашықтан мониторинг жүйелері негізінен басқа елдердің өндірушілері әзірлеген шешімдер болып табылады, ал компаниялар бұл қызметтерді жоғары бағамен ұсынады, өйткені жүйелерді зерттелетін нысандарға орнатумен қатар техникалық қолдау қызметін де қамтамасыз етеді, ал бұл қызмет белгілі бір ақыны талап етеді. Сонымен қатар, жүйені баптау және бағдарламалау процесі, сондай-ақ жүйеде қолданылатын жабдықтар компаниялардың зияткерлік меншігі болып табылады және оларға қолжетімділік тек шектеулі адамдар тобына беріледі. Отандастар әзірлеген жүйелер мен олардың техникалық қолдауын отандық мамандар қамтамасыз ету ғимараттар мен құрылыс конструкцияларының техникалық жағдайын қашықтан мониторингтейтін жаңа сымсыз жүйелерді әзірлеу арқылы осы бағыттың дамуына белгілі бір серпін береді.

#### **Зерттеудің мақсаты мен міндеттері**

Жүргізілген ғылыми еңбектерді талдау және оларда анықталған кемшіліктерді азайту негізінде келесі мақсат қойылды – құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеудің сымсыз таратылған жүйесін әзірлеу. Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер мен ғылыми жаңалықтары анықталды:

- Сымсыз жүйенің сенімділігін, дәлдігін және масштабтауын жоғарлату.
- Белгілі жүйелерге қарағанда қашықтықтан апаттық конструкцияларды техникалық бақылау кезінде жоғары жылдамдықты деректерді алыс қашықтыққа жіберуге арналған жаңа таратылған сымсыз бақылау жүйесін ұсыну.
- Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің жаңа функционалдық сұлбасын әзірлеу.
- Құрылыс ғимараттарының техникалық жай-күйін қашықтан мониторингтеу бойынша әзірленген деректерді жіберудің жаңа тәсілін жаңа алгоритмін құрастыру негізінде ұсыну.
- Эксперименттердің жаңа нәтижелері алынды және оңтайлы деректерді алу үшін қажетті параметрлер таңдау.
- Аталған жүйені өнеркәсіптің басқа салаларында қолдану мүмкіндігін қарастыру.

#### **Зерттеу материалдары мен әдістері**

Нысандардың техникалық жағдайы туралы объективті ақпарат алу және қабылданған нақты шешімдерді іске асыру мәселесі бүгінгі таңда нысандарды зерттеуге арналған заманауи әдістер мен құралдарды жасау барысында өзекті болып табылады. Алексеев О.В., Викторов А.Д., Кутузов В.М. еңбектеріне сәйкес, «мониторинг» термині ғылыми әдебиетте 1960-жылдардың соңында пайда болып, кеңінен қолданыла бастады және бастапқыда бұл ұғым қоршаған ортаны, оның өзгерістерін және қауіпті факторлардың табиғатқа әсерін бақылауды білдірген [7]. Крахмальний Т.А., Евтушенко М.П. және Крахмальная М.П. еңбектерінде уақыт өте келе бұл терминнің мағынасы өзгергені анықталған, яғни «мониторинг» ұғымы құрылыс нысандарын бұзылудан алдын алу мақсатында бақылау жүйесін білдіретін болды. Көп жағдайда бақылау бірегей немесе аса маңызды құрылыстарға жүргізіледі, олардың қауіпсіздігін және үздіксіз

жұмысын қамтамасыз ету қажет, мысалы: атом электр станциялары, бөгеттер, жерасты құрылыстары, көпірлер, көпқабатты тұрғын үйлер және басқа да нысандар [8].

Деректерді беру құралдарын таңдау кезінде құрылыс ғимараттары мен үймереттері үздіксіз мониторингтеу жүйелерінің басты ерекшелігі – өлшеу нысанының үлкен сызықтық ұзындығы екенін ескеру қажет. Бұл датчиктерді қосатын кабельдерді қолдануды шектейді, өйткені ол экономикалық тұрғыдан да, техникалық сипаттамалары бойынша да тиімсіз болуы мүмкін. Сонымен қатар, көпір құрылыстары мен құрылыс ғимараттарын үздіксіз мониторингтеу өлшеу жүйелері ашық ауада, температураның үлкен ауытқулары, жоғары ылғалдылық және атмосфералық жауын-шашын жағдайларында жұмыс істеуі тиіс [9].

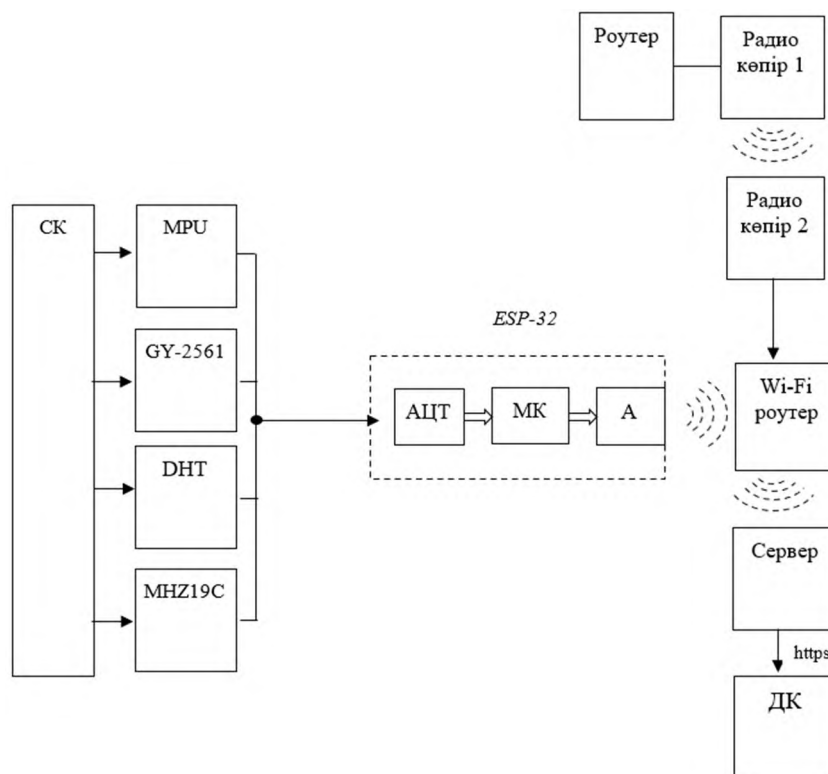
Таратылған сымсыз жүйені қолдану ақауларды жоюға бағытталған әртүрлі іс-шараларға жұмсалатын қаржылық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді, себебі нысанның орналасу орны, еңкею бұрышы, діріл көрсеткіштері, температураның әсері және қажетті жөндеу жұмыстарының түрі дәл анықталады. Көп жағдайда мұндай таратылған жүйелердегі өлшеу құрылғылары ретінде деректерді сәйкестендіру және бақылау технологияларына қатаң сәйкес параметрлерді өлшейтін әртүрлі датчиктер қолданылады [6].

Деректерді сымсыз тәсілмен беру пайдаланушыға зерттелетін нысанға қашықтан мониторинг жүргізу мүмкіндігін береді [10]. Бұл жағдайда деректерді беру жылдамдығы жоғары, тұтастығы сақталады және өлшеу нәтижелерін жеткізу үшін қамту радиусы кең болады. Нәтижесінде құрылғының қызмет ету мерзімі ұзартылады және көпір құрылыстары мен ғимараттардың жағдайы туралы болжамның дәлдігі, ақпараттылығы және сапасы артады. Қосылатын құрылғылардың төмен өзіндік құны және оларды бағдарламалаудың қолжетімділігі бүкіл жүйенің сенімділігін төмендетпейді, керісінше әзірленетін сымсыз жүйенің артықшылықтарын арттырады.

Әзірленетін жүйе құрылымы келесі мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді:

- ішкі жүйелер арасындағы байланыстарды, олардың аппараттық және бағдарламалық жүзеге асырылуын біріздендіру;
- жүйенің аппараттық бөлігін шешілетін міндеттер мен қолданылатын өлшеу жабдықтарының талаптарына ең аз шығынмен бейімдеу;
- жүйенің функционалдылық, ақауға төзімділік және масштабталу талаптарына сәйкестігін қамтамасыз ету;
- қауіпсіздік пен ұзақ пайдалану мерзімін қамтамасыз ету;
- деректерді беру процесінде алдыңғы жіберілген деректер пакеттерінің нәтижелерін сақтау және ескеру.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, 1-суретте көрсетілгендей құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің функционалдық сұлбасы әзірленді.



Сурет 1. Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің функционалдық сұлбасы

1-суретте келесі шартты белгілер қабылданған:

СК – сигнал көзі;

HS-SR04 – қашықтық датчигі;

MPU – акселерометр, гироскоп және магнитометр функциялары бар датчик;

GY-2561 – жоғары сезімтал цифрлық жарықтандыру датчигі;

MHZ19C – инфрақызыл CO<sub>2</sub> датчигі;

DHT – температура және ылғалдылық датчигі;

АЦТ – аналогты - цифрлық түрлендіргіш;

МК – микроконтроллер;

А – антенна;

ESP - 32 – Wi-Fi модулі;

Thinkspreak.com сервері – зерттеу жұмысы барысында қолданылатын сервер және оның желілік мекенжайы;

Роутер – желінің әртүрлі сегменттері арасында пакеттерді маршруттау кестелері мен ережелеріне сүйене отырып тасымалдайтын арнайы құрылғы;

Радиокөпір 1 – деректерді беру үшін тар бағытталған сәулені құрайтын сыртқы кіру нүктесі;

Радиокөпір 2 – провайдерден (WAN-порт арқылы) немесе басқа роутерден сигнал қабылдап, оны жергілікті желі ішінде тарататын желілік құрылғы;

https – қауіпсіздігі күшейтілген гипермәтінді беру протоколы, пайдаланылған әдепкі порт нөмірі - 443;

ПК – дербес компьютер.

Жүйенің функционалдық сұлба бойынша жұмыс істеу сипаттамасы және құрылымдық элементтерді таңдау негіздемесі келесідей: басқару объектісінде зерттелетін параметрлер бойынша сигналдар қалыптасады және олардың мәндерін қорек көзіне қосылған датчиктер тіркейді. Қорек көзі автономды болып табылады және датчиктер мен Wi-Fi модулін энергиямен қамтамасыз етуге арналған. Жүйеде датчиктердің келесі түрлері қолданылады:

MPU – акселерометр, гироскоп және магнитометр функциялары бар датчик; Зерттеу барысында қолданылатын MPU-6050 және MPU-9250 датчиктері – құрамында гироскоптар, термометрлер және акселерометрлер бар шағын (миниатюралық) кешендер болып табылады. Әрбір датчик X, Y, Z осьтері бойынша деректерді өлшейді. Сонымен қатар, MPU-9250 датчигінің ішінде осы үш ось бойынша өлшеу жүргізетін магнитометр де орнатылған.

GY-2561 – жарықтылықты өлшеуге арналған жоғары сезімтал цифрлық датчик, TSL2561 фотоэлементі негізінде жасалған және Arduino платформасын қолданатын құрылғылармен бірге пайдалануға арналған. GY-2561 модулі Silicon Labs технологиясына негізделген цифрлық жарықтылық датчигі болып табылады. Ол жарық деңгейін кең диапазонда дәл өлшеуді қамтамасыз етеді. GY-2561 негізгі сипаттамалары: өлшеу диапазоны: 0.1-ден 40000 люксқа дейін; цифрлық шығысы 16 бит рұқсат етілімділігімен; деректерді беру үшін I2C интерфейсі; энергия тұтынуы төмен; өлшеу тұрақтылығын арттыру үшін кіріктірілген сүзгі. Жарықтылық датчигінің модулі жарықты қосу/өшіруді басқаратын автоматтандыру жүйелерінде немесе жарық деңгейін бақылайтын құрылғыларда қолдануға арналған.

DHT – температура мен ылғалдылықты өлшейтін датчик; ол температура мен ылғалдылық мәндерін тіркеу үшін қажет, себебі олардың өзгеруі көпірлер мен ғимараттардың техникалық жағдайына тікелей әсер етеді. Зерттеу барысында өлшеу нәтижелерін алу орнына байланысты DHT маркалы датчиктердің екі түрі таңдалды: ғимарат ішінде және сыртқы ортада (ашық ауада) қолдануға арналған.

MHZ19C – көмірқышқыл газының (CO<sub>2</sub>) деңгейін өлшейтін датчик, ол дисперсиясыз инфрақызыл сәулелену (NDIR) қағидасы бойынша жұмыс істейді. Бұл датчиктің ішкі температуралық компенсациясы бар, ол үш түрлі интерфейс арқылы қосыла алады (аналогтық, ЕИМ, UART), өлшемі шағын және қызмет ету мерзімі ұзақ.

ESP32-ге келетін датчиктерді өлшеу нәтижелері цифрландыру процесінен өтеді (аналогтық датчиктерді қолданған кезде) және кіріктірілген микроконтроллердің бағдарламалық кодымен басқарылады, бұл таймерді орнату, сымсыз байланыс желісі арқылы қабылдаушы тараппен байланыс орнату және деректерді пайдаланылатын серверге жіберу үшін қажет.

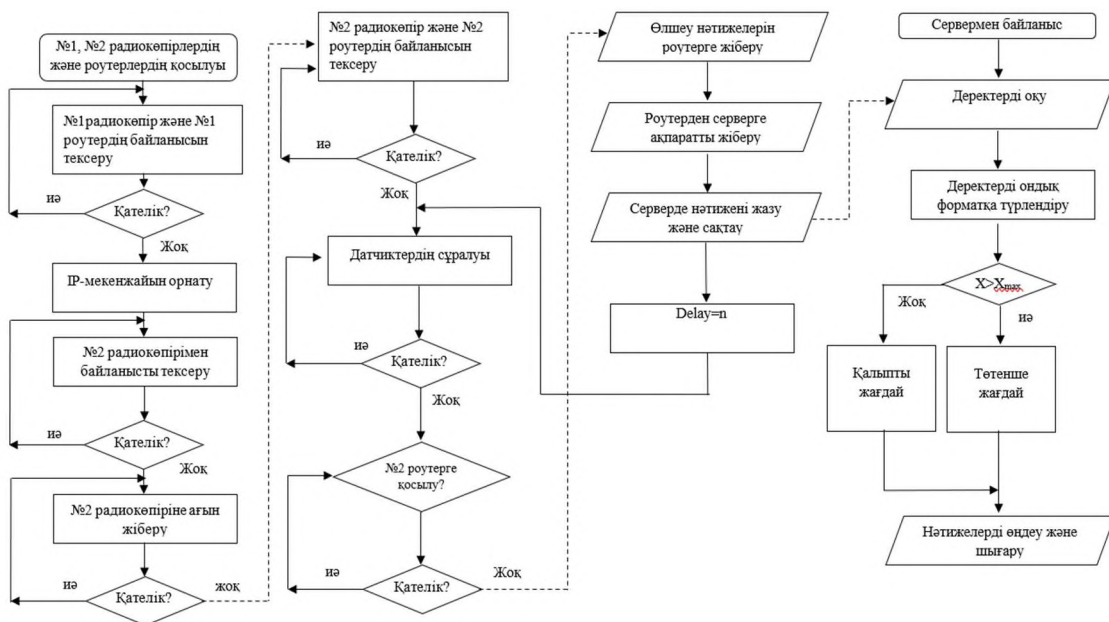
Сымсыз байланыс желісі Wi-Fi сигналы арқылы жіберуші және қабылдаушы желілерді біріктіретін роутерді пайдалану негізінде құрылады. Роутер ретінде Wi-Fi технологиясын қолдайтын, зерттелетін нысанда оңай орналастырылатын, көп антенналарды қосу мүмкіндігі бар және байланыс желісінің кедергілерге төзімділігін қамтамасыз ететін кез келген қолайлы құрылғыны пайдалануға болады.

Сервер датчиктерден алынған өлшеу нәтижелерін сақтауға арналған. Пайдалану мақсаттары үшін және қауіпсіздік талаптарын орындау үшін құрылыс үймереттеріне немесе техникалық ғимаратқа жауапты тұлға қол жеткізетін арнайы, қауіпсіз серверді пайдалану қажет. Дегенмен, ағымдағы зерттеу үшін бірқатар эксперименттер жүргізу, функционалдығын тексеру және үймереттер мен ғимараттардың техникалық жағдайын

бақылау және жүйені жөндеу үшін [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) сайтында орналасқан танымал сервер таңдалды.

Жүйенің функционалдық сұлбасы бойынша жұмыстың соңғы процесі - өлшеу нәтижелерін серверден соңғы құрылғыға беру болып табылады. Әзірленіп жатқан үлестірілген жүйе сымсыз әрі автономды болғандықтан, деректерді беру OSI моделі негізіндегі пакеттік тасымалдау қағидаларына сәйкес жүзеге асырылуы тиіс. Осыған байланысты сервер мен соңғы құрылғы өзара байланысып, деректер алмасуды http протоколы арқылы жүзеге асырады. Бұл протокол кеңінен қолданылатын http протоколымен салыстырғанда жоғары деңгейдегі қауіпсіздікпен ерекшеленеді.

Жоғарыда сипатталған үдерістер мен жүйенің жұмыс істеу қағидалары негізінде 2-суретте көрсетілген құрылыс ғимараттарын мониторингтеуге арналған үлестірілген жүйенің жұмыс алгоритмін құрастыруға болады. Бұл алгоритмде мониторинг жүйесінің бір арнасының жұмысы бейнеленген. Алгоритм төрт бағаннан тұрады. Сол жақ шеткі бағанда қабылдау және жіберу жағындағы роутерлер мен радиокөпірлердің өзара байланысы көрсетілген. Екінші бағанда қабылдау жағындағы радиокөпір мен роутер арасындағы байланыс сипатталған. Үшінші бағанда датчиктердің жұмыс істеу алгоритмі және өлшеу нәтижелерін серверге жіберу үдерісі берілген. Ал оң жақ бағанда соңғы құрылғыда деректерді қабылдау және өңдеу үдерісі сипатталады.



Сурет 2. Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің алгоритмі

Берілген серверді таңдаудың негізділігі эксперименттік деректерді алу үшін оның келесі артықшылықтарында жатыр: - серверді техникалық сүйемелдеуді қамтамасыз ететін әзірлеуші IoT және компьютерлік модельдеу саласындағы көшбасшылардың бірі болып табылатын Mathworks болып табылады; – бір есептік жазба серверде бір уақытта 32 параметрмен жұмыс істеуге мүмкіндік береді, ал бірнеше есептік жазбасы бар жүйеде жұмыс істегенде параметрлер саны бірнеше есе артады; - өлшеудің күні мен уақытын көру үшін графиктегі кез келген нүктені таңдау мүмкіндігі; - сервер алынған

нәтижелердің графиктері түрінде көрсету үшін координаттар жүйесін автоматты түрде жасайды; - алынған деректерді 3 жалпы форматта экспорттау мүмкіндігі (json, xml, csv); - әрбір кіріс арнаның жеке және бірегей шифрлау кілті бар, бұл зерттеу нәтижелерінің сенімділігін арттырады; - MATLAB бағдарламалық ортасында өлшеу нәтижелерін сайттан шықпай және осы бағдарламаны компьютерге орнатпай өңдеу мүмкіндігі.

Сондай-ақ зерттеу тақырыбы бойынша сымсыз технологияның стандартын таңдау үшін бірнеше сымсыз стандарттар салыстырылды, нәтижесінде олардың келесі кемшіліктері анықталды (зерттеу тақырыбына кедергі болатын):

Z-Wave негізіндегі жүйені іске асыру үшін барлық құрылғыларды пайдалану жоспарланған елдің өндірушілерінен сатып алу қажет. Бірақ бір елдің ішіндегі нарықтағы ассортимент шектеулі болуы мүмкін болғандықтан, бұл сымсыз таратылған жүйені дамытуда қосымша қолайсыздықтарға әкеледі. Аталған кемшіліктен басқа, бұл технология жабдықтың жоғары бағасына байланысты зерттеу мақсаттарын жүзеге асыруға жарамайды, бұл сымсыз технологияның қолайлы стандартын таңдауда маңызды фактор болып табылады [11].

Bluetooth low energy технологиясы ықтимал кедергілерден (қабырғалардан, көру сызығындағы әртүрлі нысандардан немесе адамдар жиналуынан) қатты әлсірейді, стандартта "жұлдыз" топологиясы мен оның масштабталуының сәйкес күрделілігіне байланысты сенімділік жеткіліксіз, сонымен қатар шағын диапазон (үй-жайларда максимум 10 метрге дейін) [12].

Thread стандартын пайдалану кезінде әртүрлі өндірушілердің құрылғыларының үйлесімділігіне қатысты ықтимал мәселелер туындауы мүмкін, өйткені оларда OSI анықтамалық моделінің қолданбалы деңгейінде стандарттау жоқ. Осы кемшіліктен басқа, келесі кемшіліктер бар: технологияны енгізудің өте баяу қарқыны (сәйкесінше осы стандартты қолдайтын сертификатталған құрылғылардың аз саны), қолданылатын 2,4 ГГц жиіліктегі шудың нашар тұрақтылығы және дамудың белгісіз перспективалары [13].

Мобильді желілердің көмегімен құрылыс күрделі архитектураны, желінің көптеген құрылымдық элементтерін және қымбат базалық және мобильді станцияларды пайдалануды білдіреді, ал таратқыш пен қабылдағыш арасындағы қашықтық ұлғайған кезде, әсіресе қатты жауын-шашын кезінде деректердің ішінара жоғалуы мүмкін. Сондай-ақ, көру сызығы болмаған кезде қосымша қайталағыштарды қосу қажеттілігі туындайды, бұл онсыз да күрделі желі архитектурасын қиындатады [14].

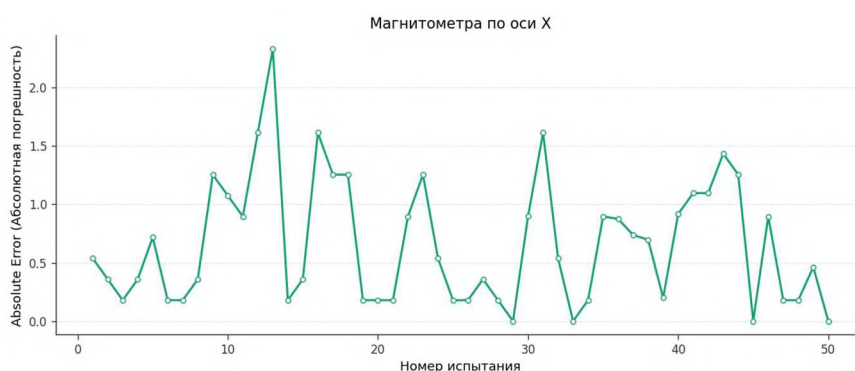
Wi-Fi стандарты барлық соңғы құрылғыларда (компьютерлер, планшеттер, ноутбуктер, мобильді құрылғылар) 802.11 инфрақұрылымының барлық жерде қол жетімділігіне байланысты кең таралған және басқа технологиялармен салыстырғанда энергияны сәл көбірек тұтынатынына қарамастан, ол ақпаратты берудің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді, өткізу қабілеттілігінің теориялық шегі қарапайым пайдаланушының қажеттіліктерінен әлдеқайда жоғары және үлкен диапазонды қамтиды [15]. Энергияны тұтыну мәселесін шешу үшін өндірушілер энергияны үнемдеу режимдерін бағдарламалық түрде конфигурациялауға болатын әртүрлі модульдерді әзірледі. Сол себепті бұл зерттеу жұмысында Wi-Fi стандартын қолдану басым деп шешілді.

Заттар интернеті саласындағы қолданылатын әдістер мен құралдар – мақаладағы қарастырылатын бағытта да жиі және белсенді түрде қолданысқа ие бола алады. Себебі Заттар интернеті (IoT) технологиялары бүгінде әлемдік құрылыс пен инженерлік мониторинг саласындағы ең озық әрі сұранысқа ие бағыт болып табылады. Халықаралық

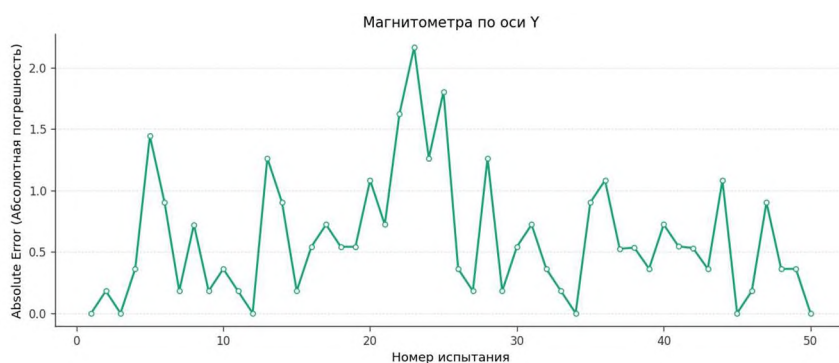
тәжірибе көрсеткендей, дамыған елдерде ірі инфрақұрылымдық нысандарды, көпірлер мен зәулім ғимараттарды бақылау толығымен дерлік IoT концепциясына негізделген «ақылды сенсорлар» (Smart Sensors) желісі арқылы жүзеге асырылады. Мұндай тәсіл дәстүрлі кабельді жүйелермен салыстырғанда шығындарды айтарлықтай азайтып, деректерді жоғары дәлдікпен жинауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, халықаралық зерттеулерде IoT құралдарын бұлтты технологиялармен (Cloud Computing) интеграциялау арқылы үлкен деректерді (Big Data) жедел өңдеу мәселесі сәтті шешілуде. Мақалада ұсынылған сымсыз жүйе мен Thingspeak сервері арасындағы байланыс осы жаһандық трендтерге толық сай келеді. Осылайша, IoT әдістерін қолдану отандық мониторинг жүйесін халықаралық стандарттар деңгейіне көтеруге, нысандардың деформациясын ерте кезеңде математикалық тұрғыдан дәл болжауға және жаһандық деңгейде бәсекеге қабілетті икемді технологиялық шешімдер жасауға мүмкіндік береді [16-19].

### Зерттеу нәтижелері

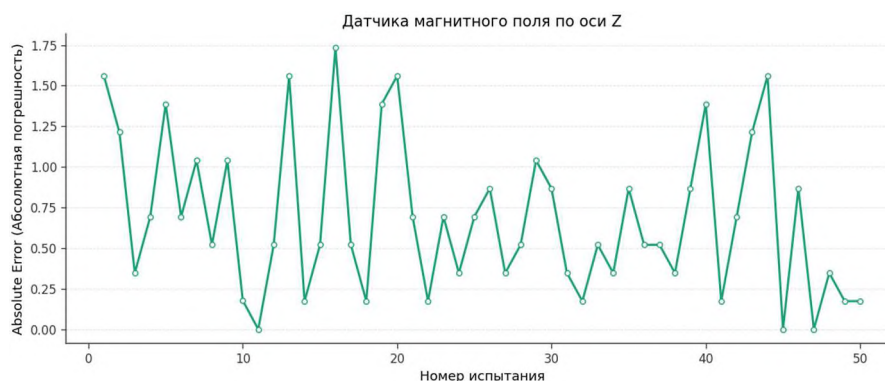
Берілген алгоритм мен функционалдық сұлбаны пайдаланып бірқатар тәжірибелер жүргізілді. Бұл тәжірибелер тек негізгі сенсор параметрлерін өлшеуді ғана емес, сонымен қатар сымсыз байланыс арнасын қателер мен деректердің жоғалуына тексеруді де қамтыды. Тәжірибелерден кейін барлық өлшеу нәтижелері математикалық есептеулерге арналған бағдарламалық жасақтаманы пайдаланып қателерді анықтау үшін статистикалық түрде өңделді. Абсолютті қателік есептеулерінің нәтижелері 3-7 суреттерде көрсетілген.



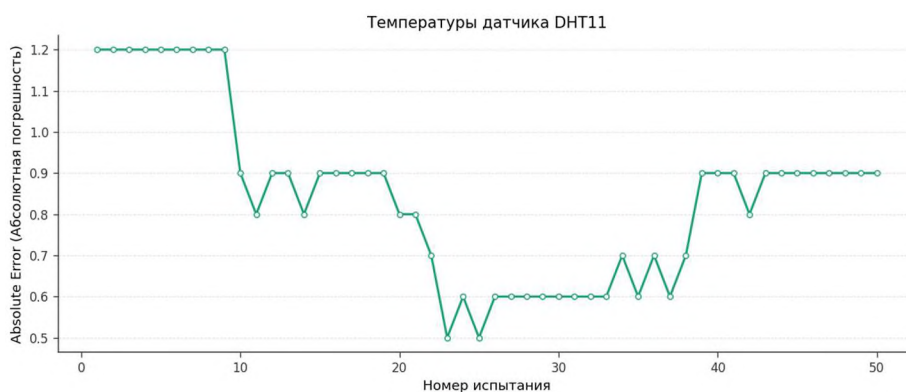
Сурет 3. X осі бойынша магнитометрдің абсолюттік қателігін есептеу нәтижесі



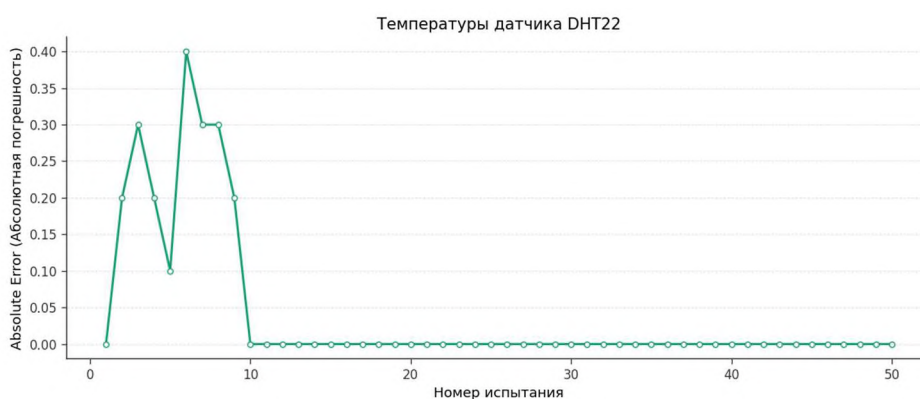
Сурет 4. Y осі бойынша магнитометрдің абсолюттік қателігін есептеу нәтижесі



Сурет 5. Z осі бойынша магнитометрдің абсолюттік қателігін есептеу нәтижесі



Сурет 6. DHT11 температура датчигінің абсолюттік қателігін есептеу нәтижесі



Сурет 7. DHT22 температура датчигінің абсолюттік қателігін есептеу нәтижесі

Сонымен қатар статистикалық өңдеу жасау үшін, Excel бағдарламасына өлшеу нәтижелерін енгізу арқылы негізгі статистикалық нәтижелерді өлшеу жүргізілді (сурет 8). Айта кетейік, бұл суретте қолданылған барлық датчиктер көрсетілмеді, себебі бұл жүйедегі зерттеулер кезінде көптеген датчиктерді қолдандық, олардың бәрін мақаланың көлеміне шығару мүмкін емес.

№	Расстояние1 пр	Расстояние1 бн	Расстояние2 пр	X магнит пр	Z магн пр	X магнит бн	U магнит бн	Z магнит бн	Темп пр 11	Темп бн 11	Влажность 11 пр	Влажность 11 бн	Темп пр 22	Темп бн 22	Влажность 22 пр	Влажность 22 бн
1	1,196	1,19066	1,18983	8,9619	43,1144	30,1658	8,4235	43,1144	31,7261	23,1	21,9	37	36	24,1	24,1	53,5
2	1,195	1,19059	1,18997	9,8573	42,934	31,206	9,4988	42,7536	29,9924	23,1	21,9	37	36	24,3	24,1	53,2
3	1,196	1,19034	1,1902	9,8573	43,2948	30,8593	9,678	43,2948	31,206	23,1	21,9	37	36	24,4	24,1	52,7
4	1,195	1,1907	1,18997	9,1404	42,3928	30,3392	9,4988	42,0321	29,6457	23,1	21,9	37	36	24,5	24,3	52,4
5	1,195	1,19031	1,19024	9,3196	43,2948	30,1658	8,6027	41,8517	31,5527	23,1	21,9	37	36	24,5	24,4	52,3
6	1,196	1,19053	1,19014	10,2157	43,1144	30,5125	10,3949	42,2125	29,8191	23,1	21,9	37	36	24,4	24	52,3
7	1,196	1,19058	1,19017	9,1404	42,3928	29,4723	9,3196	42,5732	30,5125	23,1	21,9	37	36	24,4	24,1	52,3
8	1,196	1,19054	1,19012	9,3196	42,934	29,9924	9,678	42,2125	30,5125	23,1	21,9	37	36	24,4	24,1	52,4
9	1,195	1,19073	1,1899	10,5724	42,7536	29,1256	9,3196	42,934	30,1658	23,1	21,9	37	36	24,4	24,2	52,5
10	1,196	1,1908	1,19024	9,678	42,5732	29,299	8,6027	42,934	29,4753	22,8	21,9	37	36	23,5	23,5	51,4
11	1,196	1,1907	1,19015	10,0365	43,6556	30,6859	9,1404	43,836	30,6859	22,8	22	37	36	24,1	24,1	51,2
12	1,196	1,19027	1,19017	9,8573	41,8517	30,6859	8,2442	41,8517	31,206	22,8	21,9	37	36	24,1	24,1	53,8
13	1,196	1,19071	1,19029	10,3949	43,2948	29,1256	8,605	42,0321	30,6859	22,8	21,9	37	36	24,3	24,3	54,5
14	1,196	1,1907	1,19005	9,8573	42,7536	31,0326	9,678	43,6556	30,8593	22,8	22	37	36	24,5	24,5	53,3
15	1,196	1,19031	1,19019	9,4988	42,5732	31,5527	9,8573	42,7536	32,0728	22,8	21,9	37	35	24,6	24,6	52,3
16	1,195	1,19073	1,19029	10,9326	42,0321	31,8995	9,3196	42,5732	30,1658	22,8	21,9	37	35	25	25	52,3
17	1,196	1,19054	1,18998	9,678	42,7536	30,8593	8,4235	43,4752	30,3392	22,8	21,9	37	35	25	25	52,3
18	1,194	1,1907	1,1901	10,2157	43,4752	30,6859	8,9611	42,934	30,5125	22,8	21,9	37	35	25,2	25,2	49,6
19	1,195	1,19075	1,19019	9,678	42,5732	32,0728	9,8573	42,0321	30,6859	22,8	21,9	37	35	25,4	25,4	49,8
20	1,196	1,19066	1,1899	8,2442	42,3928	31,206	8,4235	43,4752	29,6457	22,8	22	37	35	25,4	25,4	52,3
21	1,193	1,19032	1,19007	9,4988	43,2948	29,8191	9,678	42,5732	30,5127	22,8	22	37	35	25,4	25,4	52,9
22	1,196	1,19088	1,19017	9,4988	43,836	30,3392	10,3949	42,2125	30,1658	22,8	22,1	37	35	24,8	24,8	52,9
23	1,196	1,19071	1,19014	10,0365	41,6713	31,0326	11,2911	43,836	30,3392	22,7	22,2	37	35	25,3	25,3	52,9
24	1,194	1,19065	1,19027	9,1404	43,836	31,206	8,6027	42,5732	30,8593	22,8	22,2	37	35	25,2	25,2	53
25	1,195	1,19051	1,19	9,4988	44,0164	30,5125	9,678	42,2125	31,206	22,8	22,3	37	35	25,1	25,1	53,1
26	1,196	1,19077	1,19012	8,9611	42,3928	31,206	9,1404	42,0321	32,0728	22,8	22,2	37	36	25,1	25,1	53,1
27	1,195	1,1907	1,19026	8,9611	42,7536	30,8593	9,3196	42,934	31,206	22,8	22,2	37	36	25	25	53,3
28	1,195	1,19065	1,1901	9,1404	42,7536	30,3392	9,3196	44,0164	30,8593	22,8	22,2	37	36	25	25	48,5
29	1,193	1,19061	1,19005	9,1404	42,2125	29,9924	9,1404	42,0321	31,0326	22,8	22,2	37	36	24,9	24,9	48,8

Сурет 8. Өлшеу нәтижелері

Шыққан нәтижелерді шетелдік аналогтармен салыстырмалы талдауды жүргізу кезінде [20-23] өлшеу нәтижелерін статистикалық өңдеуден өткізіп, салыстырмалы түрде сенімділік мәндері арқылы талдау жұмысы жасалынды.

Біріншіден, 98% сенімділік көрсеткіштерімен математикалық күтуді, дисперсияны және сенімділік аралығын есептеуі жүргізілді.

Барлық есептеулер  $K$  статистикасының есептелген бақыланатын мәндері барлық жағдайларда сыни аймаққа енбейді және  $K_{\text{қараст}} < K_{\text{крит}}$  шартын қанағаттандырады, сондықтан нөлдік гипотезаны жоққа шығаруға негіз жоқ. Әзірленген жүйені зерттеудің алынған нәтижелері 98% сенімді, себебі есептелген формулалары бойынша есептеулер осы диапазондағы таңдалған сенімділік деңгейіне сүйене отырып жүргізілді.

Алынған нәтижелерді өңдеу үшін олардың сенімділігінің математикалық негіздемесін жүргізу қажет. Екі жолмен өлшеу жүргізу Фишердің таралуы бар статистиканы қолданатын екі дисперсияны салыстыру үшін қажет, нәтижесінде сенімділікті негіздеуге болады. Шарттарды орындау кезінде бақыланатын мән сыни мәннен аз болса, әзірленген сымсыз жүйенің сенімділігі дәлелденеді. Студент пен Фишердің коэффициентін есептей отырып, дәлірек нәтиже алу үшін 50 эксперимент жүргізу және берілген үлгідегі мәндерді математикалық өңдеу қажет екендігі анықталды. Сондай ақ жүйені масштабтау сынақтары да өткізілді, өлшеу нәтижелері 500 дейін ұлғайды (сурет 10).

Нәтижелердің көптігіне және алынған мәндерді XLS форматында өңдеу мақсатында экспорттау мүмкіндігіне байланысты әрбір зерттелетін параметр үшін есептік бөлік Microsoft Excel бағдарламасында жүргізілді.

9-суретте Microsoft Excel бағдарламасының көмегімен есептелген көрсеткіштер көрсетілген.

«СРНАЧ(6,55)»

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
		диапазон		мат ожидание					
		21,9		22,084					
		21,9		значение n			Доверительный интервал		
		21,9		49			от	22,0199	
		21,9					до	22,1481	
		21,9							
		21,9				Дисперсия			
		21,9				0,0213714			

Сурет 9. Excel бағдарламасындағы статистикалық өңдеу кезіндегі негізгі көрсеткіштерді анықтау

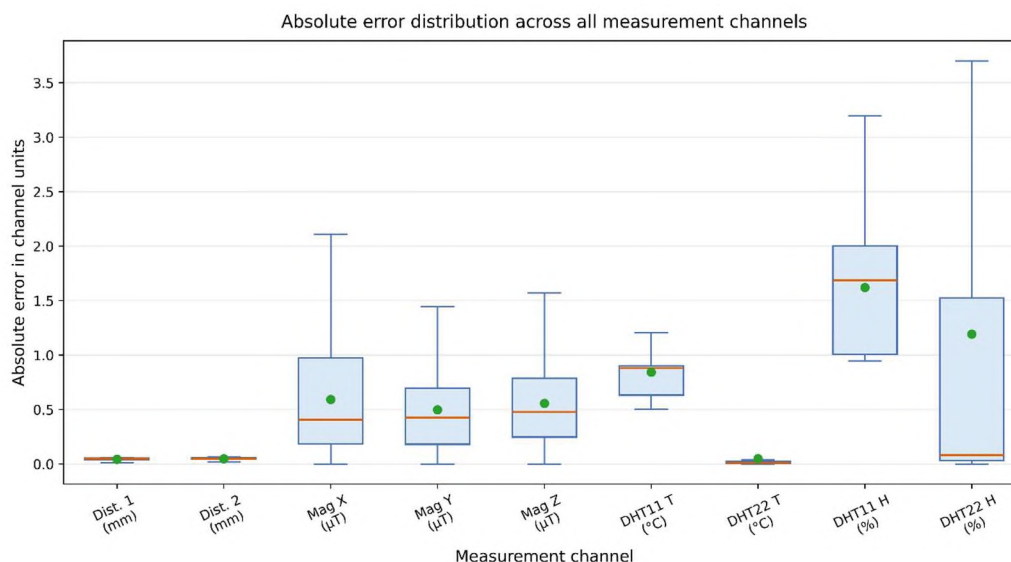
Басқа жүйелерге салыстырып қарағанда алынған нәтижелер 0,9-2% аралығында айырмашылықты көрсетті, яғни бұл диапазонда дәлдігі жоғарырақ болды (мысалы 1 кестеде ұсынылған әдіс пен белгілі әдістің зерттеу нәтижелерін салыстыра отырып, статистикалық өңдеу нәтижелерін салыстыруы көрсетілген). Мақаланың көлемін ескере отырып, барлық датчиктердің барлық салыстырмалы нәтижелер көрсетілмеген.

Кесте 1. Екі түрлі әдістермен салыстырғандағы статистикалық өңдеу нәтижелерін салыстыру

Өлшеу жүргізген датчиктің түрі	Матем. күтім (белгілі әдіс)	Матем. күтім (зерттеу бойынша ұсынылған әдіс)	Дисперсия (белгілі әдіс)	Дисперсия (зерттеу бойынша ұсынылған әдіс)	Доверительный интервал (белгілі әдіс)	Доверительный интервал (зерттеу бойынша ұсынылған әдіс)
Магнитометр (X осі)	9,4477	9,2801	0,3539	0,4212	9,1869-9,7086	8,995-9,5646
Магнитометр (Y осі)	42,6601	42,7076	0,3742	0,3942	42,3919-42,9284	42,4314-42,9839
Магнитометр (Z осі)	30,5021	30,6096	0,4114	0,4649	30,2208-30,7833	30,3106-30,9085
Температура (DHT11)	22,93	22,084	0,022	0,021	22,86-22,99	22,01-22,14
Ылғалдылық (DHT11)	37,08	35,46	0,30	0,2534	36,83-37,32	35,23-35,68
Температура (DHT22)	24,538	24,498	0,208	0,228	24,33-24,73	24,28-24,7
Ылғалдылық (DHT22)	51,446	50,286	2,65	2,69	50,7-52,1	49,56-51
Қашықтық датчигі №1	1,19496	1,19	≈0	≈0	1,1941-1,1957	1,1905-1,1907
Қашықтық датчигі №2	1,19486	1,19	≈0	≈0	1,1942-1,1954	1,1900-1,1901

Сонымен қатар, жүйені масштабтау кезінде жоғарыда айтылған датчиктерден басқа қосымша радиокөпірлер арқылы мәліметтерді жіберу қашықтығын ұлғайту жұмыстары басталған. Ол кезде зерттеу нәтижелері 500 дейін ұлғайтылып, қашықтығы 1 км-ден астам көрсеткішке өзгертілді. Сол кездегі абсолютты қателіктердің өлшеуіш арналары бойынша мәндері келесідей болды (10 сурет).

Масштабтау кезінде жүйенің арна саны әр бір датчикке байланысты ұлғайтылды (параметрлердің саны мен қабылданатын арналар саны 4 есе көбейтілді), өлшеу сынақтары 10 есе ұлғайды, қолданылатын порттар саны мен сымсыз қабылдау және жіберу нүктелері көбейтілді.



Сурет 10. Әзірленген мониторинг жүйесінің барлық өлшеу арналары бойынша абсолютті қатенің таралуы (графиктің оқылуын арттыру үшін шығарындылар көрсетілмеген)

- Сымсыз жүйенің сенімділігі, дәлдігі және масштабтауы жоғарланды.
- Белгілі жүйелерге қарағанда қашықтықтан апаттық конструкцияларды техникалық бақылау кезінде жоғары жылдамдықты деректерді алыс қашықтыққа жіберуге арналған жаңа таратылған сымсыз бақылау жүйесі ұсынылды.
- Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің жаңа функционалдық сұлбасы әзірленді.
- Құрылыс ғимараттарының техникалық жай-күйін қашықтан мониторингтеу бойынша әзірленген деректерді жіберудің жаңа тәсілін жаңа алгоритмін құрастыру негізінде ұсынылды.
- Эксперименттердің жаңа нәтижелері алынды және оңтайлы деректерді алу үшін қажетті параметрлер таңдалды.
- Аталған жүйені өнеркәсіптің басқа салаларында қолдану мүмкіндігі қарастырылды.

### Талқылау

Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу үшін әзірленген жүйе теориялық модельдердің практикалық жұмыс жағдайларымен терең интеграциялануымен ерекшеленеді. Әдістің негізгі ерекшелігі ауа райы жағдайлары, уақыттық өзгерістер және нақты ортада сигналдардың таралу ерекшеліктері сияқты әртүрлі тұрақсыздандыратын факторларды ескере отырып бастапқы кезеңде жобаланған бейімделгіш құрылымдық және функционалдық сұлбаларды құру болып табылады. Қолданыстағы ұқсас жүйелермен салыстырғанда, ұсынылған тәсіл қадамдық жұмыс алгоритміне негізделген, онда қателер туындаған жағдайда нақты регламенттелген

әрекеттер қарастырылған. Бұл өз кезегінде жүйенің жоғары сенімділігі мен істен шығуға төзімділігін қамтамасыз етеді. Жүйенің техникалық жүзеге асырылуы деректерді автоматты түрде жинауды және оларды кейінгі статистикалық өңдеу үшін серверге жіберуді қамтамасыз етеді. Бұл тек ағымдағы параметрлерді тіркеумен шектелмей, өлшеулердің дәлдігін сипаттайтын математикалық негізделген сандық және сапалық көрсеткіштерді алуға мүмкіндік береді. Маңызды ерекшелік - архитектураның әмбебаптығы: жүйе энергетика, ауыл шаруашылығы және метеорология сияқты байланысты салаларда тез масштабтауға қабілетті икемді сымсыз платформа ретінде орналастырылған. Бұл трансформация жүйенің құрылымын түбегейлі қайта жобалауды қажет етпейді; ол тек сенсорлық базаны бейімдеуді және бағдарламалық жасақтаманы тиісті кітапханалармен жаңартуды талап етеді, бұл жүйені жаңа жұмыс жағдайларында енгізу үшін қажетті уақыт пен ресурстарды айтарлықтай азайтады. Осылайша, ұсынылған әдіс қатаң алгоритмдік дәлдік пен жоғары эксплуатациялық икемділікті үйлестіріп, зертханалық және далалық тәжірибелер нәтижесінде өз тиімділігін дәлелдеді.

Масштабтау кезінде кодты қолмен түзету кедергілеріне және статистикалық өңдеу үшін серверлік инфрақұрылымға тәуелділік сияқты кедергілердің болуына байланысты, болашақ зерттеулер мен әзірлемелердегі осы мәселелердің ықтимал шешімдеріне ретінде мыналар жатады: негізгі кодты қайта жазбай әртүрлі сенсор түрлеріне бейімдеуге мүмкіндік беретін модульдік архитектурасы немесе графикалық интерфейсі бар әмбебап бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу, сондай-ақ деректерді бастапқы өңдеу алгоритмдерін тікелей контроллерлер деңгейінде енгізу.

Тар мамандандырылған жүйелерден айырмашылығы, бұл әзірleme басқа салаларға оңай масштабталады, ал сұлбалар бастапқы кезеңде нақты ортаның сыртқы факторларын ескере отырып жобаланған. Сонымен қатар, деректерді серверге автоматты түрде жіберу кезеңінің болуы маңызды рөл атқарады, бұл оларды терең статистикалық өңдеуге және жасырын қателіктерді анықтауға мүмкіндік береді.

### **Қорытынды**

Әзірленген құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің функционалдық сұлбасы жүйе жұмысына кедергі келтіруі мүмкін барлық факторларды ескереді. Бұл сұлбалар тек теориялық тұрғыда ғана қарастырылып қоймай, тәжірибелік зерттеулер барысында да қолданылды. Тәжірибелер зертханалық және далалық жағдайларда жүргізілді, алынған өлшеу нәтижелері жүйенің тиімділігі мен жұмысқа жарамдылығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Барлық тәжірибелер нақты ортада өткізілді және барлық өзгерістер (ауа райы, уақыт, сигналдардың таралу шарттары) толық ескерілді.

Құрылыс нысандарының техникалық жағдайын мониторингтеу жүйесінің жаңа жұмыс алгоритмі әзірленді. Барлық нәтижелер осы берілген алгоритм негізінде алынды, алгоритмде қадамдық әрекеттер толық сипатталып, қателер туындаған жағдайдағы жасалатын қадамдар ескерілді.

Алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу үшін ықтимал қателіктерді анықтау мақсатында бірқатар тәжірибелер жүргізілді. Тәжірибе нәтижелері серверде сақталып, кейін статистикалық өңдеу үшін экспортталды. Есептеу нәтижелері жүйенің сенімділігін негіздеп, қателіктерді ескере отырып сандық және сапалық көрсеткіштерді көрсетті.

Әзірленген жаңа сұлбалар мен жұмыс алгоритмі, сондай-ақ алынған тәжірибе нәтижелері жүйенің жұмысқа жарамдылығын дәлелдеп, оны өнеркәсіптің басқа салаларында масштабтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Ол үшін тек датчик түрлерін өзгертіп, қажетті кітапханаларды орнату арқылы жаңа бағдарламалық кодтар жазу

жеткілікті. Бұл үдеріс көп уақытты талап етпейді, бірақ әзірленген сымсыз жүйені метеорология, ауыл шаруашылығы, энергетика және басқа да салаларда қолдануға мүмкіндік береді.

Осы қолжазбаны дайындау барысында авторлар мәтінді өңдеу немесе аудару мақсатында жасанды интеллект құралдарын (ChatGPT мен Gemini) пайдаланды (кіріспе бөлімі, зерттеу материалдары мен әдістері бөлімі мен қорытынды бөлімінде). Барлық ғылыми түсіндірулер авторлардың өздерінің тарапынан орындалған. Жасанды интеллектке негізделген құралдар, деректерді жинау немесе статистикалық талдау жүргізу үшін қолданылған жоқ. Материалдың барлық мазмұны авторлар тарапынан тексеріліп расталды. Қолжазбаның мазмұны мен түпнұсқалығы үшін толық жауапкершілік авторларға жүктеледі.

#### Әдебиет:

1. Abruzzese D., Micheletti A., Tiero A., Cosentino M., Forconi D., Grizzi G., Scarano G., Vuth S., Abiuso P. IoT sensors for modern structural health monitoring. A new frontier. // *Procedia Structural Integrity*. – 2020. – №25. – P. 378-385.
2. Пат. 2178049 RU, МПК G01B 5/30. Способ мониторинга трещин в строительных конструкциях / Репников Л.Н., Мороз А.И., Жашков В.С. и Аникин А.А.; опубл. 27.10.2010, Бюл. №30. – 9 с.
3. Пат. 2448225 RU, МПК E04G 23/00. Система мониторинга состояния трещин и стыков зданий и сооружений / Евтушенко С.И., Крахмальный Т.А. и Крахмальная М.П.; опубл. 20.04.2012, Бюл. №11. – 8 с.
4. Коргина М.А. Оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе мониторинга их технического состояния: дис. ... канд. техн. наук, 05.23.01. – М., 2008. – 225 с.
5. Лазебник Г.Е., Кошелева Н.Н. Мониторинг несущих конструкций зданий повышенной этажности // *Світ геотехніки*. – 2009. – С. 17-20.
6. Сушев С.П. Мониторинг устойчивости и остаточного ресурса высотных зданий и сооружений с применением мобильного диагностического комплекса «Стрела» // *Международная конференция-выставка «Уникальные и специальные технологии в строительстве» UST-Build 2005*. – М., 2005. – 4 с.
7. Alekseyev O.V., Viktorov A.D., Kutuzov V.M. Problems and ways of creating environment monitoring system, *Monitoring*. 1 (1995).
8. Krakhmal'ny T.A., Evtushenko S.I., Krakhmal'naya M.P. New System of Monitoring of a Condition of Cracks of Small Reinforced Concrete Bridge Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol.150 – P.2369 – 2374.
9. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Нигаматова О.И., Михалдыкин Е.С. Прочностной мониторинг мостовых сооружений и особенности его применения. Часть 2. Непрерывный мониторинг состояния мостовых сооружений // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*. – 2014. – Том. 1. №2 – С. 1-37.
10. Z-Wave vs ZigBee, WiFi, Thread, Bluetooth BLE: выбираем протокол управления умным домом. <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom/> 10.03.2026.
11. S.P. Ramalingamorcid and P.K. Shanmugam. A Comprehensive Review on Wired and Wireless Communication Technologies and Challenges in Smart Residential Buildings. *Recent Advances in Computer Science and Communications*, Vol.15, Issue 9, (2022), 1140-1147. <http://dx.doi.org/10.2174/2666255814666210119142742>
12. Maruf, M.M., Bhuiyan, T., Eshita, E.J., Hossen, M.S., & Imran, M.H. (2026). An IoT-based smart home automation system: Enhancing security, energy efficiency, and remote accessibility. *Multidisciplinary Science Journal*, 8(7), 2026262. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026262>
13. Jukka Joutsalainen, Maxim Vitikainen, Juuso Lehtäck, Alexander Goldhill, Anna-Maria Raita-Hakola. Implementing real-time wildfire detection using lightweight object-detection models and machine vision sensor on Raspberry Pi 5: Fireframe, a practical framework. *ISPRS Annals of the Photogrammetry*,

Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume X-2/W2-2025, UAV-g 2025 Uncrewed Aerial Vehicles in Geomatics, 10–12 September 2025, Espoo, Finland. 81–88. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2-W2-2025-81-2025>

14. Chimpimol, C., Mhuadthongon, N., & Krachodnok, P. (2026). Development of a real-time backup battery voltage and environmental monitoring system for a server room using IoT technology. *EUREKA: Physics and Engineering*, (2), 108–120. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2026.004200>
15. Saini, J., Dutta, M., Marques, G. (2020). Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (14), 4942. <https://doi.org/10.3390/ijerph17144942>
16. Jo, J., Jo, B., Kim, J., Kim, S., Han, W. (2020). Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*, 2020, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2020/8749764>
17. Chen, Z.; Zhou, X.; Wang, X.; Dong, L.; Qian, Y. Deployment of a Smart Structural Health Monitoring System for Long-Span Arch Bridges: A Review and a Case Study. *Sensors* 2017, 17, 2151. <https://doi.org/10.3390/s17092151>
18. Nilnoree, S.; Taparugssanagorn, A.; Kaemarungsi, K.; Mizutani, T. Enhancing Wireless Sensor Network in Structural Health Monitoring through TCP/IP Socket Programming-Based Mimic Broadcasting: Experimental Validation. *Appl. Sci.* 2024, 14, 3494. <https://doi.org/10.3390/app14083494>
19. Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M.; Ayyash, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 2015, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
20. Holovatyy A., Teslyuk V., Iwaniec M, Mashevskaya M. (2017). Development of a system for monitoring vibration accelerations based on the Raspberry Pi microcomputer and the ADXL345 accelerometer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/9 (90), 52–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116082>
21. Goyal, D. Development of non-contact structural health monitoring system for machine tools [Text] / D. Goyal, B. S. Pabla // *Journal of Applied Research and Technology*. – 2016. – Vol. 14, Issue 4. – P. 245–258. doi: 10.1016/j.jart.2016.06.003
22. S.A. Evdokimov, Yu.N. Kondrashova, O.I. Karandaeva, M.S. Gallyamova. Stationary system for monitoring technical state of power transformer. *Procedia Engineering* 2016, 150, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.270>
23. Duobiene, S., Ratautas, K., Trusovas, R., Ragulis, P., Šlekas, G., Simniškis, R., Račiukaitis, G. (2022). Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology. *Sensors*, 22 (14), 5343. <https://doi.org/10.3390/s22145343>

#### References:

1. Abruzzese D., Micheletti A., Tiero A., Cosentino M., Forconi D., Grizzi G., Scarano G., Vuth S., Abiuso P. IoT sensors for modern structural health monitoring. A new frontier. // *Procedia Structural Integrity*. – 2020. – No. 25. – P. 378–385.
2. Pat. 2178049 RU, MPK G01B 5/30. Sposob monitoringa treshchin v stroitel'nykh konstruksiyakh / Repnikov L.N., Moroz A.I., Zhashkov V.S. i Anikin A.A.; opubl. 27.10.2010, Byul. No. 30. – 9 p.
3. Pat. 2448225 RU, MPK E04G 23/00. Sistema monitoringa sostoyaniya treshchin i stykov zdaniy i sooruzheniy / Evtushenko S.I., Krakhmal'ny T.A., Krakhmal'naya M.P.; opubl. 20.04.2012, Byul. No. 11. – 8 p.
4. Korgina M.A. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya nesushchikh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy v khode monitoringa ikh tekhnicheskogo sostoyaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk, 05.23.01. – Moscow, 2008. – 225 p.
5. Lazebnik G.E., Kosheleva N.N. Monitoring nesushchikh konstruksiy zdaniy povyshennoy etazhnosti // *Svit geotekhniki*. – 2009. – P. 17–20.
6. Sushchev S.P. Monitoring ustoychivosti i ostatochnogo resursa vysotnykh zdaniy i sooruzheniy s primeneniem mobil'nogo diagnosticheskogo kompleksa «Strela» // *Mezhdunarodnaya konferentsiya-vystavka «Unikal'nye i spetsial'nye tekhnologii v stroitel'stve» UST-Build 2005*. – Moscow, 2005. – 4 p.
7. Alekseyev O.V., Viktorov A.D., Kutuzov V.M. Problems and ways of creating environment monitoring system // *Monitoring*. – 1995. – No. 1.
8. Krakhmal'ny T.A., Evtushenko S.I., Krakhmal'naya M.P. New System of Monitoring of a Condition of Cracks of Small Reinforced Concrete Bridge Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol. 150. – P. 2369–2374.

9. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Nigmatova O.I., Mikhadykin E.S. Prochnostnoy monitoring mostovykh sooruzheniy i osobennosti ego primeneniya. Chast' 2. Nepreryvnyy monitoring sostoyaniya mostovykh sooruzheniy // Internet-zhurnal «Transportnye sooruzheniya». – 2014. – Vol. 1, No. 2. – P. 1–37.
10. Z-Wave vs ZigBee, WiFi, Thread, Bluetooth BLE: vybiraem protokol upravleniya umnym domom. Available at: <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom/> (accessed: 10.03.2026).
11. S.P. Ramalingamorcid and P.K. Shanmugam. A Comprehensive Review on Wired and Wireless Communication Technologies and Challenges in Smart Residential Buildings. Recent Advances in Computer Science and Communications, Vol.15, Issue 9, (2022), 1140-1147. <http://dx.doi.org/10.2174/2666255814666210119142742>
12. Maruf, M.M., Bhuiyan, T., Eshita, E.J., Hossen, M.S., & Imran, M.H. (2026). An IoT-based smart home automation system: Enhancing security, energy efficiency, and remote accessibility. Multidisciplinary Science Journal, 8(7), 2026262. <https://doi.org/10.31893/multiscience.2026262>
13. Jukka Joutsalainen, Maxim Vitikainen, Juuso Lehtinen, Alexander Goldhill, Anna-Maria Raita-Hakola. Implementing real-time wildfire detection using lightweight object-detection models and machine vision sensor on Raspberry Pi 5: Fireframe, a practical framework. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume X-2/W2-2025, UAV-g 2025 Uncrewed Aerial Vehicles in Geomatics, 10–12 September 2025, Espoo, Finland. 81-88. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2-W2-2025-81-2025>
14. Chimpimol, C., Mhuadthongon, N., & Krachodnok, P. (2026). Development of a real-time backup battery voltage and environmental monitoring system for a server room using IoT technology. EUREKA: Physics and Engineering, (2), 108-120. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2026.004200>
15. Saini, J., Dutta, M., Marques, G. (2020). Indoor Air Quality Monitoring Systems Based on Internet of Things: A Systematic Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17 (14), 4942. <https://doi.org/10.3390/ijerph17144942>
16. Jo, J., Jo, B., Kim, J., Kim, S., Han, W. (2020). Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. Journal of Sensors, 2020, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2020/8749764>
17. Chen, Z.; Zhou, X.; Wang, X.; Dong, L.; Qian, Y. Deployment of a Smart Structural Health Monitoring System for Long-Span Arch Bridges: A Review and a Case Study. Sensors 2017, 17, 2151. <https://doi.org/10.3390/s17092151>
18. Nilnoree, S.; Taparugssanagorn, A.; Kaemarungsi, K.; Mizutani, T. Enhancing Wireless Sensor Network in Structural Health Monitoring through TCP/IP Socket Programming-Based Mimic Broadcasting: Experimental Validation. Appl. Sci. 2024, 14, 3494. <https://doi.org/10.3390/app14083494>
19. Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M.; Ayyash, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials 2015, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
20. Holovatyy A., Teslyuk V., Iwaniec M, Mashevska M. (2017). Development of a system for monitoring vibration accelerations based on the Raspberry Pi microcomputer and the ADXL345 accelerometer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/9 (90), 52–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116082>
21. Goyal, D. Development of non-contact structural health monitoring system for machine tools [Text] / D. Goyal, B. S. Pabla // Journal of Applied Research and Technology. – 2016. – Vol. 14, Issue 4. – P. 245–258. doi: 10.1016/j.jart.2016.06.003
22. S.A. Evdokimov, Yu.N. Kondrashova, O.I. Karandaeva, M.S. Gallyamova. Stationary system for monitoring technical state of power transformer. Procedia Engineering 2016, 150, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.270>
23. Duobiene, S., Ratautas, K., Trusovas, R., Ragulis, P., Šlekas, G., Simniškis, R., Račiukaitis, G. (2022). Development of Wireless Sensor Network for Environment Monitoring and Its Implementation Using SSAIL Technology. Sensors, 22 (14), 5343. <https://doi.org/10.3390/s22145343>

#### Information about the authors

**N.B. Kaliaskarov** – Head of the Department of Radioelectronics and Telecommunication Technologies PhD, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: [n.kaliaskarov@ktu.edu.kz](mailto:n.kaliaskarov@ktu.edu.kz);

**G.N. Mashrapova** – corresponding author, Senior Lecturer, Master’s degree, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: [g.mashrapova@ktu.edu.kz](mailto:g.mashrapova@ktu.edu.kz);

**Z.E. Zhaxylyk** – Lecturer, Master’s degree, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: [zh.zhaksylyk@ktu.edu.kz](mailto:zh.zhaksylyk@ktu.edu.kz);

**D.N. Garifullinova** – Master’s student, NLC «Buketov Karaganda National Research University», Karaganda, Kazakhstan; e-mail: [garifullinova@mail.ru](mailto:garifullinova@mail.ru).