

ESP32 МИКРОКОНТРОЛЛЕРЛЕРІ МЕН ESP-NOW ХАТТАМАСЫ НЕГІЗІНДЕ СЫМСЫЗ ТЕЛЕМЕТРИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУ ЖҮЙЕСІ

АМАН К.П. , МУСИНА А.А. *, ЖАХИНА Р.У. , БАЙДРАХМАНОВА Г.А. ,
УБАЕВА Ж.К. 

Аман Күлнәр Панабекқызы - Техника ғылымдарының кандидаты, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының доценті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: kaman@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0643-2280>

***Мусина Алла Александровна** - PhD, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: a.mussina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4179-4241>

Жахина Рыскуль Утеуовна – Физика-математика ғылымдарының кандидаты, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының доценті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: rzhakhina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-3380-5595>

Байдрахманова Гүлназ Абилбахитовна - PhD, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: gbaidrakhmanova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4123-2110>

Убаева Жанар Картбаевна - PhD, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының аға оқытушысы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан.

E-mail: zhubayeva@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9835-5034>

Аңдатпа. Мақалада ESP32 микроконтроллерлері мен ESP-NOW хаттамасы негізінде сымсыз телеметриялық деректерді беру жүйесін әзірлеу және зерттеу мәселелері қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі заттар интернеті (IoT) технологияларының қарқынды дамуымен және автономды, энергия тиімді, сенімді байланыс жүйелеріне деген қажеттіліктің артуымен түсіндіріледі. Жұмыстың мақсаты – сыртқы желілік инфрақұрылымды пайдаланбай, екі ESP32 микроконтроллері арасында температура мен ылғалдылық деректерін сымсыз беру жүйесін құру және оның жұмыс қабілеттілігін бағалау. Зерттеу барысында DHT11 сенсоры, ESP32 DevKit микроконтроллерлері және I²C интерфейсі арқылы қосылған LCD 1602 дисплейі қолданылды. Бағдарламалық қамтамасыз ету Arduino IDE ортасында жүзеге асырылып, WiFi.h, ESP-NOW протоколы, DHT11 датчигін оқу модулі DHT Sensor Library кітапханасы пайдаланылды. Жүйенің жұмысын бағалау үшін функционалдық, интеграциялық және жүктемелік тестілеу жүргізілді. Тестілеу нәтижелері бойынша 6–7 метр қашықтықта деректерді беру тұрақты жүзеге асқаны, ал 10–12 метр аралығында сирек пакеттер жоғалуы байқалғаны анықталды. Жүйе нақты уақыт режимінде төмен кідіріспен жұмыс істеп, алынған ақпаратты LCD дисплейінде тұрақты көрсетті. Алынған нәтижелер ESP-NOW технологиясының автономды IoT жүйелерін құруда тиімді шешім екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: ESP32 микроконтроллері, ESP-NOW хаттамасы, IoT технологиясы, телеметриялық деректер, сымсыз байланыс, DHT11 датчигі, автономды жүйе.

Кіріспе

Қазіргі таңда заттар интернеті (IoT – Internet of Things) технологиялары әртүрлі салаларда, соның ішінде мониторинг жүйелері, өндірістік автоматтандыру, қоршаған ортаны бақылау және «ақылды үй» жүйелерінде кеңінен қолданылуда. Мұндай жүйелердің тиімділігі сенсорлық құрылғылар арасында деректерді сенімді, жылдам және энергияны аз тұтыну арқылы жеткізу мүмкіндігіне байланысты [1; 2].

Сымсыз байланыс технологияларының ішінде ESP-NOW хаттамасы ерекше қызығушылық тудырады, себебі ол Wi-Fi инфрақұрылымын немесе маршрутизаторды қажет етпей, құрылғылар арасында тікелей байланыс ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Бұл технология аз кідіріспен және төмен энергия тұтынумен сипатталады, сондықтан автономды телеметриялық және сенсорлық жүйелерде тиімді қолданылады [3].

ESP32 микроконтроллері кіріктірілген Wi-Fi модулі, жоғары өнімділігі және әртүрлі

перифериялық құрылғылармен үйлесімділігі арқасында IoT шешімдерін әзірлеуде кең таралған платформалардың бірі болып табылады. Температура мен ылғалдылық көрсеткіштерін нақты уақыт режимінде бақылау экологиялық мониторинг, өндірістік бақылау және тұрмыстық автоматтандыру жүйелерінде маңызды міндеттердің бірі саналады [1; 4].

Зерттеудің өзектілігі ESP32 микроконтроллері мен ESP-NOW хаттамасын пайдалану арқылы сенімді, автономды және төмен кідірісті сымсыз деректерді беру жүйесін құру қажеттілігімен анықталады.

Зерттеудің мақсаты – ESP-NOW хаттамасын пайдалана отырып, екі ESP32 микроконтроллері негізінде телеметриялық деректерді беру жүйесін әзірлеу және оның жұмыс қабілеттілігін зерттеу. Осы мақсатқа жету үшін жүйенің архитектурасы әзірленді, DHT11 сенсорынан алынған деректерді сымсыз беру алгоритмдері жүзеге асырылды, LCD дисплейінде ақпаратты көрсету механизмі ұйымдастырылып, жүйенің тұрақтылығы мен сенімділігіне тестілеу жүргізілді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

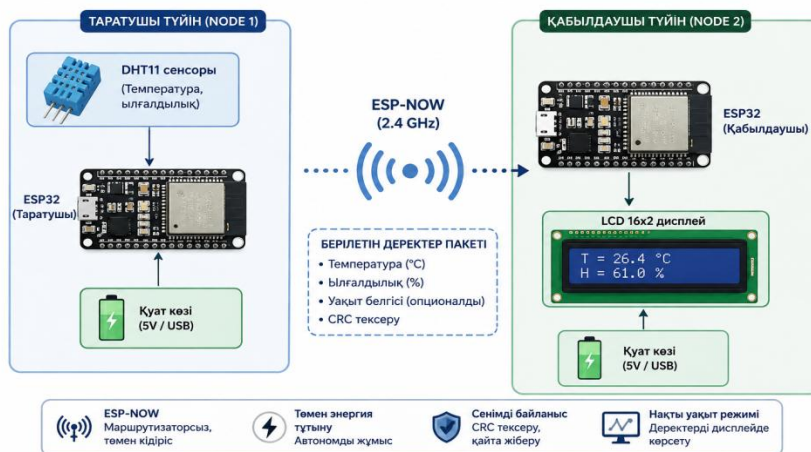
Зерттеу барысында ESP32 микроконтроллерлері негізінде телеметриялық деректерді сымсыз беру жүйесі әзірленді. Жүйенің бағдарламалық-аппараттық архитектурасы екі тәуелсіз түйіннен тұрды: беруші (TX-түйін) және қабылдаушы (RX-түйін). Деректер алмасу ESP-NOW протоколы арқылы жүзеге асырылды, бұл сыртқы Wi-Fi инфрақұрылымын немесе маршрутизаторды пайдаланбай құрылғылар арасында тікелей байланыс ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеуде негізгі аппараттық құралдар ретінде екі ESP32 DevKit микроконтроллері, температура мен салыстырмалы ылғалдылықты өлшеуге арналған DHT11 сенсоры және PC интерфейсі арқылы қосылатын LCD 1602 дисплейі қолданылды. Жүйенің беруші түйіні DHT11 сенсорынан алынған деректерді жинау қызметін атқарса, қабылдаушы түйін алынған ақпаратты өңдеп, LCD дисплейінде нақты уақыт режимінде көрсету міндетін орындады [5; 6].

Бағдарламалық қамтамасыз ету Arduino IDE ортасында C++ бағдарламалау тілі негізінде жүзеге асырылды [7]. ESP32 платформасымен үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін ресми Arduino Core фреймворкі пайдаланылды. Жүйенің функционалдық мүмкіндіктерін іске асыру мақсатында бірнеше кітапханалар қолданылды: WiFi.h және esp_now.h кітапханалары ESP-NOW сымсыз хаттамасын ұйымдастыруға [8], DHTesp.h сенсор көрсеткіштерін оқуға [9], ал LiquidCrystal_I2C.h дисплейдегі ақпаратты басқаруға мүмкіндік берді [10].

Бағдарламалық архитектура логикалық тұрғыдан бірнеше функционалдық модульдерге бөлінді. Беруші түйінде Wi-Fi модулін STA режимінде іске қосу, ESP-NOW хаттамасын инициализациялау, DHT11 сенсорынан деректерді оқу, мәліметтерді бинарлық құрылымға түрлендіру және қабылдаушыға жіберу алгоритмдері жүзеге асырылды. Қабылдаушы түйінде ESP-NOW пакеттерін қабылдау, callback-функциясы арқылы деректерді өңдеу, бинарлық құрылымды десериализациялау және LCD дисплейінде көрсету жүзеге асырылды.

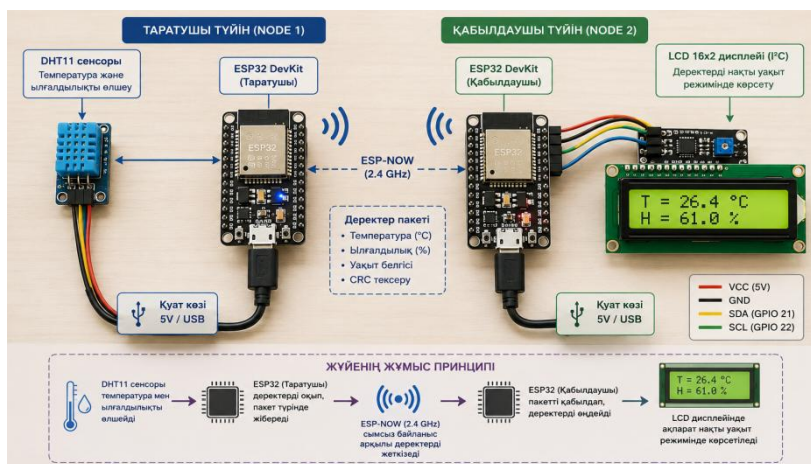
Ұсынылған телеметриялық жүйе екі ESP32 микроконтроллері негізінде құрастырылды. Бірінші модуль таратушы түйін ретінде DHT11 сенсорынан температура мен ылғалдылық мәндерін жинап, оларды ESP-NOW хаттамасы арқылы сымсыз түрде екінші модульге жібереді. Қабылдаушы түйін алынған ақпаратты өңдеп, LCD 16×2 дисплейінде нақты уақыт режимінде көрсетеді. Жүйенің жалпы архитектурасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. ESP32–ESP-NOW негізіндегі сымсыз телеметрия жүйесінің архитектурасы

1-суретте ұсынылған телеметриялық жүйенің функционалдық архитектурасы көрсетілген. Жүйе DHT11 сенсорынан, ESP32 негізіндегі таратушы және қабылдаушы түйіндерден, ESP-NOW сымсыз байланыс арнасынан және LCD 16×2 дисплейінен тұрады. Таратушы түйінде алынған температура мен ылғалдылық деректері деректер пакеті түрінде қалыптастырылып, ESP-NOW хаттамасы арқылы қабылдаушы түйінге жеткізіледі. Қабылданған мәліметтер өңделіп, нақты уақыт режимінде дисплейге шығарылады.

Ұсынылған архитектураны тәжірибелік түрде тексеру үшін зертханалық стенд құрастырылды. Тәжірибелік стендтің жалпы құрылымы 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. ESP32 модульдері негізінде жасалған тәжірибелік стенд

Жүйенің жұмыс қабілеттілігін бағалау мақсатында функционалдық, интеграциялық және жүктемелік тестілеу жүргізілді. Зерттеу әдістері ретінде бағдарламалық модульдерді салыстырмалы талдау, функционалдық тестілеу, тәжірибелік өлшеулер және интеграциялық бағалау әдістері қолданылды [11; 12].

Нәтижелер және оларды талқылау

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде ESP32 микроконтроллерлері негізінде екі автономды түйіннен тұратын үлестірілген бағдарламалық-аппараттық архитектура жүзеге асырылды. Өзірленген жүйеде таратушы (TX Node) және қабылдаушы (RX Node) түйіндері ESP-NOW протоколы арқылы тікелей өзара әрекеттеседі, бұл маршрутизаторсыз құрылғылар арасында сенімді деректер алмасуды ұйымдастыруға мүмкіндік берді.

Таратушы түйін DHT11 сенсорынан температура мен ылғалдылық көрсеткіштерін жинап, оларды құрылымдалған бинарлық пакет түрінде жіберді. Қабылдаушы түйін алынған мәліметтерді өңдеп, ІС интерфейсі арқылы жалғанған LCD дисплейінде нақты уақыт режимінде көрсетті. Суретте көрсетілгендей, LCD дисплейі ESP32 микроконтроллеріне ІС интерфейсі арқылы қосылды, мұнда SDA және SCL желілері GPIO 21 және GPIO 22 пиндеріне тағайындалды [12].

ESP-NOW хаттамасының тиімділігін бағалау мақсатында таратушы және қабылдаушы ESP32 түйіндері әртүрлі қашықтықта орналастырылды. Зерттеу барысында секундына бір пакет жіберу режимі қолданылып, жеткізу статусы (OK/FAIL), қабылданған мәліметтердің дұрыстығы және пакеттердің жеткізілу пайызы талданды. Тәжірибе нәтижелері 1-кестеде берілген.

Кесте 1. Жүйені тестілеу нәтижелер

Сынақ параметрі	Нәтиже
Тұрақты байланыс қашықтығы	6–7 м
Максималды тексерілген қашықтық	10–12 м
Пакет жоғалуы	1–3 %
Жауап беру уақыты	20–50 мс
Дисплей жаңарту уақыты	40–50 мс
Үздіксіз жұмыс ұзақтығы	30–120 мин
Байланысты қалпына келтіру	Сәтті

Тәжірибе нәтижесінде 6–7 м қашықтыққа дейін байланыс тұрақты жұмыс істегені анықталды. Қашықтық 10–12 м дейін ұлғайғанда сирек жағдайда пакеттер жоғалуы байқалды, олардың үлесі шамамен 1–3 % құрады. Жіберу жиілігі секундына 5–10 пакетке дейін арттырылған кезде қабылдаушы түйіннің есептеу жүктемесі өскені байқалды, алайда жүйе толық жұмысын жалғастырды.

Жүйенің кешенді интеграциялық тестілеуі 30–120 минут аралығында үздіксіз жұмыс жағдайында жүргізілді. Нәтижелер барлық бағдарламалық модульдердің өзара үйлесімді жұмыс істейтінін көрсетті: LCD дисплейіндегі ақпарат уақтылы жаңартылып отырды, ал кез келген түйін қайта іске қосылғаннан кейін байланыс автоматты түрде қалпына келтірілді. Дисплейдің орташа жаңарту уақыты 40–50 мс аралығында болды.

Кесте 2. Салыстырмалы талдау

Зерттеу	Қашықтық	Кідіріс	Пакет жоғалуы
Bahga & Madiseti (2015)	10 м	40–60 мс	2–5 %
Espressif мысалдары	10–15 м	20–50 мс	1–5 %
Ұсынылған жүйе	10–12 м	20–50 мс	1–3 %

Кестеден көрініп тұрғандай, ұсынылған жүйенің негізгі көрсеткіштері ESP-NOW технологиясына арналған жарияланған зерттеулердің нәтижелерімен сәйкес келеді. Сонымен қатар тәжірибелік сынақтар барысында пакеттердің жоғалу деңгейі 1–3 % аралығында болғаны анықталды, бұл қысқа қашықтықтағы автономды IoT жүйелері үшін жеткілікті сенімді байланыс ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер әдебиеттерде жарияланған ESP-NOW технологиясына арналған зерттеулермен сәйкес келеді. Көптеген зерттеулерде ESP-NOW хаттамасы қысқа қашықтықтағы IoT жүйелерінде төмен кідіріс пен жоғары сенімділікті қамтамасыз ететіні көрсетілген. Біздің зерттеуде де тәжірибелік сынақтар барысында 6–7 м аралығында пакеттердің жоғалуы байқалмай, деректердің тұрақты жеткізілуі қамтамасыз етілді. Ал 10–12 м аралығында пакеттердің жоғалуы

ықтималдығы 1–3 %-ға дейін артты. Бұл құбылыс радиосигналдың әлсіреуімен, қоршаған ортадағы электромагниттік кедергілердің әсерімен және қабылдағыштың сигнал деңгейінің төмендеуімен түсіндіріледі [13; 14].

Бағдарламалық архитектураның модульдік ұйымдастырылуы да оң нәтиже көрсетті. Датчик модулі, коммуникациялық модуль және дисплей модулі бір-бірінен тәуелсіз жұмыс істейтіндіктен, жүйенің жекелеген компоненттерін өзгерту немесе жаңарту жалпы құрылымның жұмысына әсер етпейді. Мысалы, DHT11 сенсорын басқа датчик түрімен алмастыру немесе бірнеше таратушы түйіндерді қосу бағдарламалық логиканы айтарлықтай өзгертуді талап етпейді [15].

ESP-NOW технологиясының негізгі артықшылықтарының бірі – деректерді жіберу үшін маршрутизаторды немесе сыртқы Wi-Fi желісін қажет етпеуі. Осы ерекшелік автономды сенсорлық желілерде энергия тұтынуын төмендетуге және байланыс сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар ұсынылған жүйеде деректердің нақты уақыт режимінде LCD дисплейінде көрсетілуі оператордың қоршаған орта параметрлерін үздіксіз бақылауына жағдай жасайды.

Өзірленген жүйенің модульдік құрылымы оны әрі қарай кеңейтуге мүмкіндік береді. Болашақта бірнеше таратушы түйіндерді бір қабылдаушы түйінмен біріктіру, басқа сенсорларды (газ концентрациясы, атмосфералық қысым, жарық деңгейі және т.б.) қосу, сондай-ақ бұлттық платформалармен интеграциялау арқылы жүйенің функционалдық мүмкіндіктерін арттыруға болады.

Қорытынды

Зерттеудің ғылыми жаңалығы ESP32 микроконтроллерлері мен ESP-NOW хаттамасы негізінде телеметриялық ақпаратты нақты уақыт режимінде маршрутизаторсыз жеткізетін бағдарламалық-аппараттық архитектураның ұсынылуында. Ұсынылған жүйеде DHT11 сенсорынан алынған деректерді құрылымдық пакет түрінде жіберу, қабылдау және LCD дисплейінде көрсету алгоритмдері оңтайландырылып, олардың кешенді жұмыс қабілеттілігі тәжірибелік түрде дәлелденді. Ұсынылған архитектура модульдік қағидат бойынша құрылғандықтан, жүйені болашақта бірнеше сенсорлық түйіндерді қосу, қосымша датчиктерді енгізу, Wi-Fi немесе бұлттық сервистермен интеграциялау арқылы кеңейтуге мүмкіндік береді.

Болашақ зерттеулерде бірнеше ESP32 түйіндерінен тұратын көпторапты желіні ұйымдастыру, ESP-NOW және LoRa технологияларын салыстырмалы зерттеу, энергия тұтынуын оңтайландыру, сондай-ақ MQTT хаттамасы арқылы бұлттық платформалармен біріктіру жоспарлануға. Сонымен қатар RSSI көрсеткіштерін пайдалана отырып байланыс сапасын бағалау және адаптивті деректерді беру алгоритмдерін әзірлеу де келешектегі зерттеу бағыттарының бірі ретінде қарастыруға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 160 с. – ISBN 978-5-9775-0900-8.
2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2021. – 1008 с. – ISBN 978-5-4461-1426-9.
3. Espressif Systems. ESP-NOW User Guide. – Espressif Systems, 2023. – URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/wifi/esp_now.html
4. Espressif Systems. ESP32 Hardware Design Guidelines. – Espressif Systems, 2022. – URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines>
5. Electrical Technology. DHT11 Temperature and Humidity Sensor Datasheet. – 2021.
6. Texas Instruments. I2C Bus Specification and User Manual. – TI, 2020.
7. Arduino. Arduino Core for ESP32 Documentation. – 2023. – URL:

<https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32>

8. Arduino. ESP32 WiFi Library Reference. – 2023. – URL: <https://arduino-esp32.readthedocs.io/en/latest/>
9. Adafruit. DHT Sensor Library Documentation. – 2022. – URL: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
10. Adafruit. Adafruit Unified Sensor Library. – 2022. – URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
11. LiquidCrystal_I2C Library. LCD I2C 1602/2004 library. – URL: <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>
12. beeg-ee-tokyo. ESP32 ESP-NOW Examples. – 2023. – URL: <https://github.com/beeg-ee-tokyo/ESP-NOW>
13. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. – Espressif Systems, 2023. – URL: <https://docs.espressif.com>
14. Bahga A., Madiseti V. Internet of Things: A Hands-On Approach. – Universities Press, 2015. – 446 p.
15. 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. – Vol. 17, №. 4. – P. 2347–2376.

References

1. Gol'dshtejn B.S., Kucheryavyj A.E. Seti svyazi post-NGN. – SPb.: BHV-Peterburg, 2014. – 160 s.
2. Olifer V., Olifer N. Komp'yuternye seti. Principy, tekhnologii, protokoly. – SPb.: Piter, 2021. – 1008 s.
3. Espressif Systems. ESP-NOW User Guide. – Espressif Systems, 2023. – URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/wifi/esp_now.html
4. Espressif Systems. ESP32 Hardware Design Guidelines. – Espressif Systems, 2022. – URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines>
5. Electrical Technology. DHT11 Temperature and Humidity Sensor Datasheet. – 2021.
6. Texas Instruments. I2C Bus Specification and User Manual. – TI, 2020.
7. Arduino. Arduino Core for ESP32 Documentation. – 2023. – URL: <https://docs.espressif.com/projects/arduino-esp32>
8. Arduino. ESP32 WiFi Library Reference. – 2023. – URL: <https://arduino-esp32.readthedocs.io/en/latest/>
9. Adafruit. DHT Sensor Library Documentation. – 2022. – URL: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
10. Adafruit. Adafruit Unified Sensor Library. – 2022. – URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
11. LiquidCrystal_I2C Library. LCD I2C 1602/2004 library. – URL: <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>
12. beeg-ee-tokyo. ESP32 ESP-NOW Examples. – 2023. – URL: <https://github.com/beeg-ee-tokyo/ESP-NOW>
13. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. – Espressif Systems, 2023. – URL: <https://docs.espressif.com>
14. Bahga A., Madiseti V. Internet of Things: A Hands-On Approach. – Universities Press, 2015. – 446 p.
15. 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 &

СИСТЕМА БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ESP32 И ПРОТОКОЛА ESP-NOW

АМАН К.П. , МУСИНА А.А. *, ЖАХИНА Р.У. , БАЙДРАХМАНОВА Г.А. ,
УБАЕВА Ж.К. 

Аман Кулнар Панабековна – Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: kaman@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0643-2280>

***Мусина Алла Александровна** – PhD, старший преподаватель кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: a.mussina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4179-4241>

Жахина Рыскул Утеовна - Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: rzakhina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-3380-5595>

Байдрахманова Гулназ Абилбахитовна - PhD, старший преподаватель кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: gbaidrakhmanova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4123-2110>

Убаева Жанар Картбаевна - PhD, старший преподаватель кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, г. Актөбе, Казахстан.

E-mail: zhubayeva@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9835-5034>

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы разработки и исследования системы беспроводной передачи телеметрических данных на основе микроконтроллеров ESP32 и протокола ESP-NOW. Актуальность исследования обусловлена быстрым развитием технологий Интернета вещей (IoT) и возрастающей потребностью в автономных, энергоэффективных и надежных системах связи.

Цель работы заключается в создании системы беспроводной передачи данных о температуре и влажности между двумя микроконтроллерами ESP32 без использования внешней сетевой инфраструктуры, а также в оценке ее работоспособности.

В ходе исследования использовались датчик DHT11, микроконтроллеры ESP32 DevKit и дисплей LCD 1602, подключенный посредством интерфейса I²C. Программное обеспечение было реализовано в среде Arduino IDE с использованием библиотеки WiFi.h, протокола ESP-NOW и библиотеки DHT Sensor Library для считывания данных с датчика DHT11.

Для оценки работы системы были проведены функциональное, интеграционное и нагрузочное тестирование. По результатам тестирования установлено, что на расстоянии 6–7 метров передача данных осуществлялась стабильно, тогда как на расстоянии 10-12 метров наблюдались редкие потери пакетов.

Система работала в режиме реального времени с низкой задержкой и обеспечивала стабильное отображение полученной информации на LCD-дисплее. Полученные результаты подтверждают, что технология ESP-NOW является эффективным решением для создания автономных IoT-систем.

Ключевые слова: микроконтроллер ESP32, протокол ESP-NOW, IoT-технологии, телеметрические данные, беспроводная связь, датчик DHT11, автономные системы.

WIRELESS TELEMETRY DATA TRANSMISSION SYSTEM BASED ON THE ESP32 MICROCONTROLLER AND THE ESP-NOW PROTOCOL

AMAN K.P. , MUSSINA A.A. *, ZHAKHINA R.U. , BAIDRAKHMANOVA G.A. ,
UBAYEVA ZH.K. 

Aman Kulnar Panabekovna – Candidate of technical sciences, associate professor of the «Department of informatics and information technologies», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: kaman@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0643-2280>

***Mussina Alla Alexandrovna** – PhD, senior lecturer of the «Department of informatics and information technologies», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: a.mussina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4179-4241>

Zhakhina Ryskul Uteovna – Candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the «Department of informatics and information technologies», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: zhakhina@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-3380-5595>

Baidrakhmanova Gulnaz Abilbakhitovna – PhD, senior lecturer of the «Department of informatics and information technologies», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: gbaidrakhmanova@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4123-2110>

Ubaeva Zhanar Kartbaevna – PhD, senior lecturer of the «Department of informatics and information technologies», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan.

E-mail: zhubayeva@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9835-5034>

Abstract. The article examines the development and evaluation of a wireless telemetry data transmission system based on ESP32 microcontrollers and the ESP-NOW protocol. The relevance of the study is обусловлена by the rapid development of Internet of Things (IoT) technologies and the growing demand for autonomous, energy-efficient, and reliable communication systems.

The aim of the study is to develop a wireless system for transmitting temperature and humidity data between two ESP32 microcontrollers without using external network infrastructure and to evaluate its performance.

The study employed a DHT11 sensor, ESP32 DevKit microcontrollers, and an LCD 1602 display connected via the I²C interface. The software was implemented in the Arduino IDE environment using the WiFi.h library, the ESP-NOW protocol, and the DHT Sensor Library for reading data from the DHT11 sensor.

To evaluate the system performance, functional, integration, and load testing were conducted. The test results demonstrated that data transmission was stable at a distance of 6–7 meters, while occasional packet losses were observed at distances of 10–12 meters.

The system operated in real time with low latency and provided stable display of the received information on the LCD display. The obtained results confirm that ESP-NOW technology is an effective solution for developing autonomous IoT systems.

Key words: ESP32 microcontroller, ESP-NOW protocol, IoT technologies, telemetry data, wireless communication, DHT11 sensor, autonomous systems.