



АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ  
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
AUTOMATION AND CONTROL

DOI 10.51885/1561-4212\_2021\_4\_52

MPHTI 50.01.85

**С.В. Григорьева<sup>1</sup>, А.Ж. Алимханова<sup>1</sup>, М.Е. Баталова<sup>1</sup>, А.В. Иманбаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан

E-mail: sgrigorieva@inbox.ru

E-mail: aslima\_alimhanova@mail.ru\*

E-mail: imambayeva\_ukpk@mail.ru

E-mail: esimkhan\_kizi.m@mail.ru

**ЖАРЫҚ ДИОДТАРЫ АРҚЫЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН  
ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, БӨЛМЕ ТЕМПЕРАТУРАСЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ  
ЭКСПЕРИМЕНТТІК МОДЕЛІ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В  
ПОМЕЩЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ  
СВЕТОДИОДЫ ОСВЕЩЕНИЯ**

**EXPERIMENTAL MODEL OF A ROOM TEMPERATURE CONTROL SYSTEM USING DATA  
TRANSMISSION TECHNOLOGY VIA LIGHTING LEDS**

*Андатпа.* Мақалада бөлмедегі температураны бақылау жүйесін ұйымдастырудың жаңа тәсілі ұсынылған. Атқарушы механизмді басқару үшін жарық диодтары арқылы оптикалық сымсыз деректерді беру технологиясын қолдану ұсынылады. Тарату және қабылдау құрылғылары трафикті басқаруға арналған. Белгіленген температуралық жағдайларды ұзақ уақыт жұмыс күйінде сақтай отырып, деректердің тұрақты берілуін көрсететін басқару жүйесінің эксперименттік моделі жұмысының нәтижелері келтірілген.

*Түйін сөздер:* басқару жүйесі, деректерді беру, жарықдиодты жарық, сымсыз байланыс жүйесі, температура.

*Аннотация.* В статье представлен новый подход организации системы управления температурным режимом в помещении. Для управления исполнительным механизмом предлагается использовать оптическую беспроводную технологию передачи данных посредством светодиодов освещения. Для организации трафика разработаны передающее и приемное устройства. Приводятся результаты работы экспериментальной модели системы управления, которые показывают устойчивую передачу данных, поддержание заданных температурных режимов в рабочем состоянии в течение длительного периода времени

*Ключевые слова:* система управления, передача данных, светодиод, беспроводная система, температура.

*Abstract.* The article presents a new approach to organizing the control system of the indoor temperature conditions. To control the actuator, it is proposed to use optical wireless technology for data transmission via lighting LEDs. The transmitting and receiving devices have been developed. The results of the operation of the experimental model of the control system are given, which show stable data transmission, maintaining the specified temperature conditions in working condition for a long period of time.

**Keywords:** control system, data transmission, LED, wireless system, temperature.

*Kipicne.* Қазіргі заманғы басқару жүйелерінің архитектурасы деректерді беру үшін сымсыз байланыс жүйелерін пайдалану бағытында дамуда. Талдаушылар сымсыз желілердің таралуының өсу динамикасы туралы статистиканы келтіреді [1], сонымен бірге өндірушілер сымсыз байланысты орналастыру үшін жабдықты тұтынудың сандық өсімін келтіреді [2, 3]. Бұл танымалдылық орнату мен пайдаланудың қарапайымдылығымен, төмен құны мен жеткілікті өткізу қабілетімен байланысты.

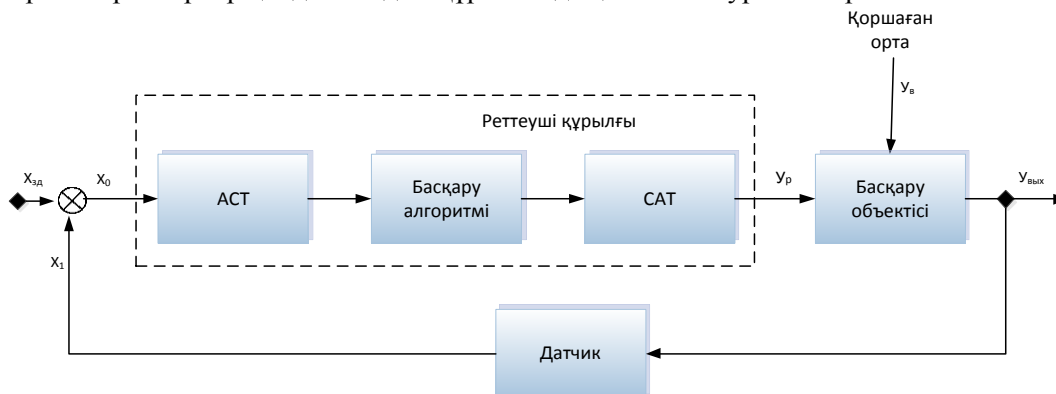
Бүгінгі таңда радиобайланыс желісіне салынған сымсыз технологиялар деректерді беру саласында үлкен дамуға ие болды. Әлемдегі қосылған құрылғыларды талдау және алдағы он жылға арналған болжам радиожиілік диапазонында сымсыз технология бойынша деректерді беру қызметтеріне сұраныс бар екенін көрсетеді [4, 5]. Әртүрлі құрылғыларды басқару және жоғары ақпараттық өткізу қабілеті бар жоғары жылдамдықты шуылға төзімді байланыс жүйелеріне деген сұраныстың артуы жаңа перспективті әдістерді қолдануды қажет ететіні белгілі болды. Перспективалық шешімдердің бірі – оптикалық диапазонды, яғни көрінетін және инфрақызыл толқындардың диапазонын пайдалану. [6]-да бұл жұмыста оптикалық сымсыз деректерді беру схемалары және технологиялық өнімділік көрсеткіштеріне салыстырмалы талдау жүргізілген, толығырақ көрсетілген. Оптикалық арна арқылы байланыс беру технологиясының шолу жарияланымдары да жазылған мәліметтерді де бөліп көрсетуге болады [7-9].

Жарықдиодты негіздегі жартылай өткізгішті жарықтандыру технологиясының қарқынды дамуы және жоғары қуатты ақ жарық диодтарын тез ауыстырып басқару мүмкіндігі жарықтандыру жүйелеріне интеграцияланған сымсыз оптикалық тарату жүйелерінің дамуына әсер етті. Көрінетін жарық немесе Visible Light Communication (VLC) арқылы деректерді беру технологиясының қос функционалдылық көптеген қызықты қосымшаларды жасады [10-13]. Айта кету керек, бүгінгі таңда зерттеулер негізінен пайдаланушылар арасында әртүрлі форматтағы ақпаратты беру бағытында, яғни, жергілікті немесе жаһандық желілерді ұйымдастыруға арналған қолданыстағы технологияларға қосымша ретінде жүргізілуде. Бұл жұмыста физикалық параметрлерді басқару үшін деректерді беру функциясын жарықдиодты жарықтандыру жүйелеріне біріктіру ұсынылады. Бұл тәсіл өмірлік процестерді басқарудың автоматтандырылған жүйелерін ұйымдастыруда жаңашылдық болып табылады.

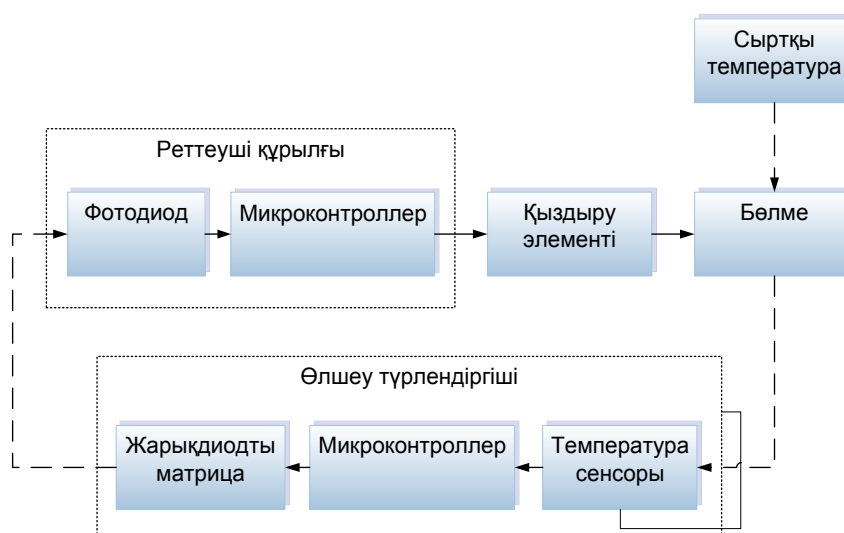
*Материалдар және зерттеу әдістері.* 1-суретте ауытқу кері байланысы бар классикалық бір тізбекті автоматты басқару жүйесі көрсетілген. Реттеу объектісі мен реттеушінің өзара іс-қимылы реттеудің тұйық жүйесінде жүзеге асырылады. Басқару объектісінің шығысында датчиктің кірісіне түсетін  $u_a$  шығыс сигналы қалыптасады. Х1 сенсорының шығысында пайда болатын сигнал берілген ХZ мәнімен жинақталады және реттеуші құрылғының кірісіне берілетін  $x_0$  сигналын құрайды. Осылайша, шығыс айнымалысының нақты мәні реттеушінің кірісіне, сондай-ақ қажетті шаманың қолмен берілген мәніне қолданылады. Кіріс сигналына негізделген реттеушінің міндеті атқарушы механизмге түсетін және басқару объектісін берілген параметрлерге әкелетін  $U_p$  басқару сигналын қалыптастыру.

Бұл жұмыста бөлмедегі температураны басқару мысалында басқару жүйелерінде жарықдиодты жарықтандыру элементтері арқылы деректерді беру технологиясын қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Жүйенің міндеттері бөлмедегі температураны өлшеу, қыздыру элементін басқару, бөлмедегі температураны ұстап тұру болып табылады. Ұсынылған жүйенің айырмашылығы деректерді температура сенсорынан сымсыз опти-

калық байланыс желісі арқылы басқару құрылғысына беру үшін жарықдиодты матрицаны пайдалану. Қабылдау және беру модуліндегі сигналдарды өңдеу үшін микроконтроллерлер қолданылады. Құрылымдық схема 2-суретте көрсетілген.



1-сурет. Автоматты реттеудің классикалық құрылымдық схемасы



2-сурет. VLC технологиясы бойынша бөлмедегі температураны басқару жүйесінің схемасы

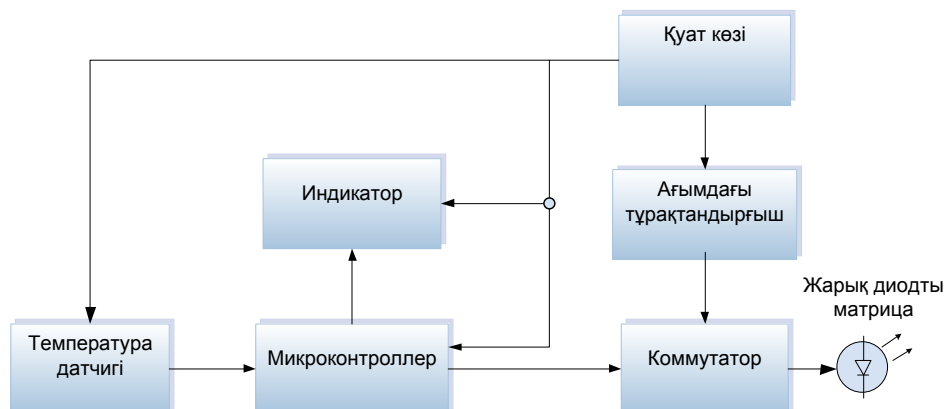
Таратушы құрылғы келесі элементтерді қамтиды (3-сурет):

- жарықдиодты матрица, ол жарықтандырудың берілген деңгейін ұстап тұрудан басқа, бөлмедегі ағымдағы температура туралы ақпаратты берудің қосымша функциясын орындайды;
- температура датчигі, дәлірек мәліметтер алу үшін корпустың сыртқы жағында орналасқан (ауа температурасын жарық диодынан қыздыру әсерінсіз шығару);
- микроконтроллер, орнатылған бағдарламаның алгоритміне байланысты деректерді беру процесін басқарады;
- қуат көзі, құрылғының жұмыс істеуі үшін барлық элементтерді қуатпен қамтамасыз етеді;
- ағымдағы ток тұрақтандырғыш, жарықдиодты матрица үшін қажетті токты ұстап тұру үшін, сондай-ақ жарық диодының ұзақтығы мен тиімділігіне қатты әсер ететін

желінің шамадан тыс жүктелуінен қорғау үшін қажет;

- коммутатор микроконтроллердің жұмысына байланысты жарық диодына сигнал береді;

- индикатор, ағымдағы ауа температурасын көрсетеді.



3-сурет. Таратқыш құрылғының блок-схемасы

Қабылдағыш құрылғыға келесі функционалды элементтер кіреді (4-сурет):

- фотодетектор, жарықдиодты матрицадан алынған жарық сигналдарын электрлік сигналдарға айналдырады;

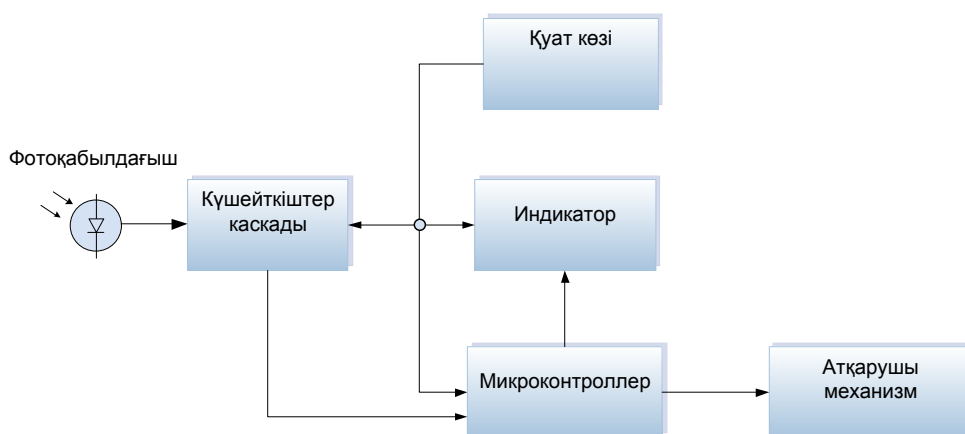
- күшейткіш жарық диоды арқылы алынған импульстерді күшейту үшін қажет және микроконтроллермен өңдеу үшін қажетті импульсті тудырады;

- микроконтроллер, алынған ақпаратты өңдейді және орнатылған бағдарламаның алгоритміне сәйкес, атқарушы механизм үшін басқару сигналын жасайды;

- атқарушы механизм (біздің жағдайда қыздыру элементі);

- қуат көзі, құрылғының жұмысы үшін барлық элементтерге қуат береді;

- индикатор, таратқыштан алынған температураны, орнатылған температураны, сондай-ақ атқарушы механизмнің күйін көрсетеді.

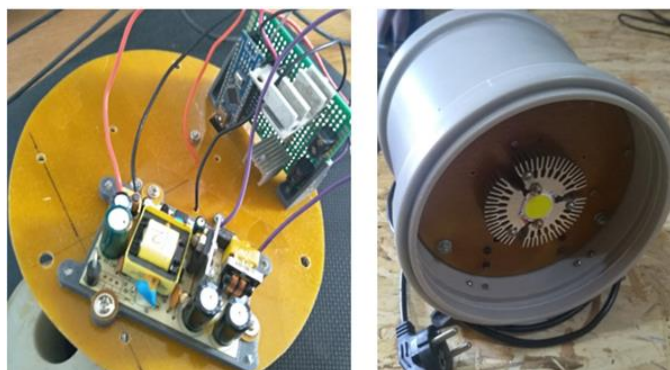


4-сурет. Қабылдағыш құрылғының блок-схемасы

Қабылдағыш құрылғының шығуында тұрақты сигнал алу үшін электрондық компо-

ненттер жасалынып, конфигурацияланды. (4-сурет). Біз модульдерді жіберуге және қабылдауға арналған өзіндік схемалық шешімдер жасадық [14].

Мұнда беріліс модулі элементтерінің сипаттамасы берілген. Қуаты 3 Вт және тұрақтандырылған тогы 700 мА болатын жарықдиодты матрица алюминий радиаторына бекітілген. Радиатор гетинакс пластинасында саңылаумен орнатылады. Радиатор жарық шығаратын матрицаның кристалдары үздіксіз жұмыс істеген кезде қызып кетпейтіндей етіп есептелген және дайындалған. Радиатордан жылу шығаруды қамтамасыз ету үшін алшақтық қажет. Жарықдиодты бекітілген алдыңғы панельдің артқы жағында ток тұрақтандырғышы, коммутатор және қуат көзі, Arduino Nano тақтасы орналасқан. 5-суретте таратқыштың алдыңғы панелінің элементтері мен көрінісі көрсетілген.



**5-сурет.** Беру құрылғысы (алдыңғы панель)

Артқы панельдің алдыңғы жағында TO-92 корпусында Dallas Semiconductor DS18B20 шығарған интегралды сандық температура сенсорын қосу үшін шығыс қарастырылған, сонымен қатар басқару жүйесінің температуралық параметрлерін бақылау және визуализациялауға арналған I2C модулі бар LCD1602 индикаторы орналасқан

Мұнда қабылдау құрылғысының элементтерінің сипаттамасы берілген. Жарықдиодты импульстарды қабылдау үшін құрылғының сыртқы панеліне бекітілген FD-K-155 фотодиоды қолданылады. Ішкі жағында k561ln2 чипінде жасалған күшейткіш, қабылдағыштың қуат көзі және Arduino Nano микроконтроллері орналасқан. 6-суретте қабылдағыштың алдыңғы панелінің элементтері мен көрінісі көрсетілген.



**6-сурет.** Қабылдау құрылғысы (алдыңғы панель)

Сигналды бақылау және температура деректерін визуализациялау үшін LCD монито-

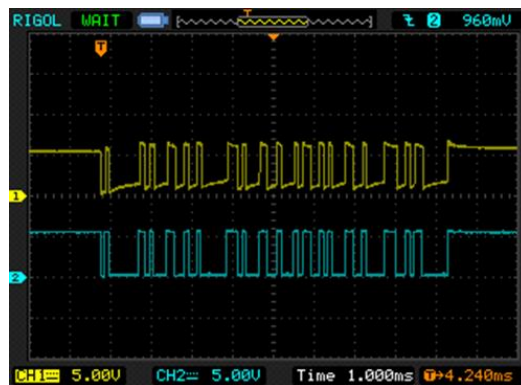
ры сыртқы артқы панельде орналасқан, қыздыру элементін қосуға және басқаруға арналған Шығыс, пайдаланушы талап ететін температура мәндерін орнатуға арналған түймелер.

Қабылдау-беру құрылғыларының параметрлерін оңтайландыру бойынша зерттеулер жүргізілді (7-сурет).



7-сурет. Эксперименттік қондырғының пайда болуы

Жүйенің модульдерін осциллографпен реттеген кезде кейбір нүктелерде сигналдың болуы мен формасын бақылау жүзеге асырылды. Таратқыштың микроконтроллерінен келетін сигнал импульстардың пішіні мен санының эталоны болып табылады. Осы кезде осциллограмма осциллографтың екінші сәулесімен ұсынылған. Бақылау нүктелерінің барлық басқа осциллограммалары осциллографтың алғашқы сәулесімен алынады. Қабылдағыш күшейткіштің каскадтарын әр бақылау нүктесінде реттей отырып, біз жіберілген және қабылданған сигналдың бірдей формасына және импульстардың ұзақтығына қол жеткіздік (8-сурет). Нәтижесінде импульстар пакетінің тұрақты берілуі алынды, бұл қабылдау-беру модулінің сенімді және тұрақты жұмысын көрсетеді.



8-сурет. Қабылдағыштың буферлік күшейткіш-инверторынан кейінгі сигналдың Осциллограммасы

VLC технологиясын қолдана отырып деректерді жіберуге негізделген бөлмедегі температураны басқару процесі келесідей. Датчик бөлменің ағымдағы температурасын өлшейді және мәліметтерді көрсетілген алгоритмге сәйкес өңдейтін микроконтроллерге

жібереді, яғни. ағымдағы температураны бағдарламаланған температурамен салыстырады. Егер температура белгіленген температурадан төмен болса, онда микроконтроллер сигнал шығарады және оны коммутаторға жібереді. Ажыратқыш басқару кернеуін тудырады және оны жарық диодына береді, ол көрінетін жарық спектрінде жарық импульстарын бере бастайды. Қабылдағыш құрылғы жарықдиодты шамнан қашықтықта орналасқан, ол қосымша мәліметтер таратқышы ретінде қызмет етеді. Қабылдау модулінде орналасқан фотодетектор жарықдиодты сигналдарды қоршаған орта (ауа) арқылы жарық сәулеленуінің импульсі түрінде қабылдайды, оларды электрлік сигналдарға айналдырады және микроконтроллерге жібереді. Алдын ала сигналдарды күшейту керек және микроконтроллердің жұмыс істеуі үшін түрлендірілуі керек. Микроконтроллер алынған ақпаратты өңдейді және көрсетілген бағдарламалық алгоритмге сәйкес басқарушы сигналды атқарушы механизмге (қыздыру элементі) жібереді.

VLC жүйелерінде радиожілік байланысы үшін қолданылатын модуляция әдістерін қолдануға болады [15,16]. Бұл жұмыста UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, әмбебап асинхронды қабылдағыш-таратқыш) технологиясы температураны басқару жүйесін ұйымдастыру және жарықдиодты пайдалану арқылы жылытқышты оптикалық сымсыз байланыс арқылы басқару үшін қолданылды. Қабылдағыш пен таратқыш құрылғыларында біз UART сериялық порты бар Arduino тақталарын қолдандық.

Деректерді беру кезінде берілетін деректерді сандық желі арқылы басқа ұқсас құрылғыға беруге болатындай етіп сериялық түрге түрлендіру жүзеге асырылады. UART-да деректерді беру бірдей уақыт аралығында бір битпен жүреді. Берілген уақыт аралығы берілген UART жылдамдығымен анықталады. Стандартты жылдамдықтың жалпы қабылданған қатары бар. UART жылдамдығын таңдау электронды қабылдау/беру трактінің физикалық мүмкіндіктеріне (параметрлеріне) байланысты.

Біздің жүйе үшін жылдамдық 9600 бод-тан жоғары болған кезде, уақыт бойынша ақпарат беру ұзақтығы сәйкесінше азаяды. Қабылдау бөлігінде түйіндердің сипаттамалары кіріс сигналын өңдеуге мүмкіндік бермеді. 9600 бодтан аз жылдамдықта беру ұзақтығы артады ақпарат уақыт бойынша және сәйкесінше жарық диодының жарықтығы төмендейтін уақыт артады. Сондықтан біз 9600 бод жылдамдығын орнаттық. Бұл жылдамдық жүйенің тарату және қабылдау құрылғыларында қолданылатын электрондық элементтер үшін ең оңтайлы ретінде эксперименталды түрде таңдалды.

UART жылдамдығы деректерді беру жылдамдығын білдірмейді, өйткені пайдалы мәліметтермен бірге UART қызметтік импульстарды береді: бастапқы бит, тоқтату биті, Паритет биті. Мысалы, 9600 бод жылдамдығымен 1 МБ (1048576 байт) берудің есептелген уақыты 18 минут 12 секундты құрайды.

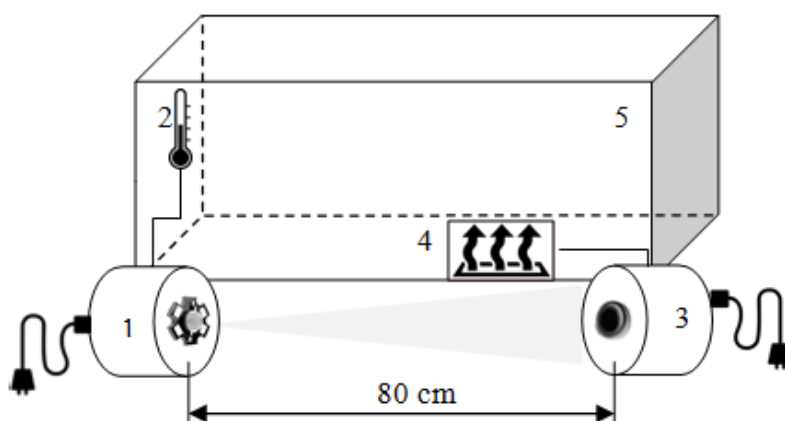
Біздің жағдайда деректерді беру жылдамдығы негізгі критерий болған жоқ. Міндет қоршаған орта температурасы туралы сенімді деректерді алу, сондай-ақ қажетті жарықтандыру деңгейін қолдау және жарық диодының жыпылықтауының болмауы болды. Сондықтан, ұсынылған жүйенің жұмысы үшін бұл жылдамдық жеткілікті және тіпті артық.

Бөлмедегі температураны бақылау және басқару үшін біз ұсынылған деректерді беру тәсілінің негізінде бағдарламалық жасақтама жасадық. FLProg бағдарламалаудың визуалды ортасы қолданылды [17]. Ол Arduino тақталарымен жұмыс істеу кезінде графикалық бағдарламалау тілдерін пайдалануға мүмкіндік береді. Біз lad (Ladder Diagram) графикалық бағдарламалау тілін қолдандық. FLProg ортасында әзірленген графикалық Модульдер компиляция кезінде микроконтроллерге микробағдарлама жасау үшін Arduino IDE бағдарламалық ортасына жіберілетін Processing Wiring тіліндегі кодқа түр-

лендіріледі.

Осылайша, берілген эксперименттік нәтижелер бөлмедегі температураны басқарудың сымсыз жүйелерін құру кезінде VLC технологиясы бойынша жұмыс істейтін дамыған қабылдау және беру құрылғыларын пайдалану мүмкіндігін көрсетті.

*Нәтижелері және оларды талқылау.* Автоматтандырылған басқару жүйесінің әрекетін зерттеу үшін эксперименттік модель жасалды (9-сурет). (1) таратқыш құрылғыда қуаты 3 Вт болатын ақ жарық диоды бар. (2) таратқышқа DS18B20 интегралдық цифрлық температура датчигі қосылған. (3) қабылдағыш құрылғының сыртқы панеліне FD-K-155 фотодиоды бекітілген, ол жарықдиодты импульстерді қабылдау үшін қолданылды. Атқарушы механизм ретінде қуаты – 30 Вт тең қыздыру элементі орнатылған. Деректерді бақылау және өңдеу Arduino тақтасында орналасқан Atmega 328 микроконтроллерлерімен жүзеге асырылады. (5) Бөлме моделі өлшемі 80x40x45 сантиметр және жабық қорап болып табылады.



9-сурет. Эксперименттік модель

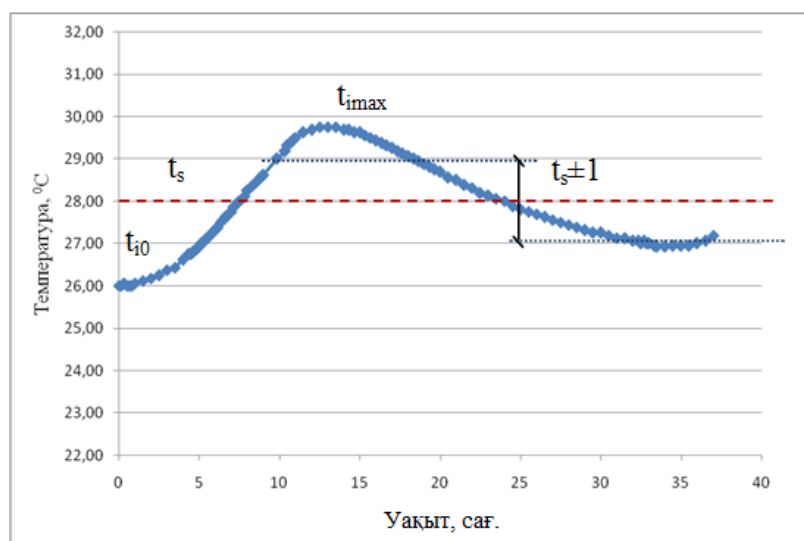
Температура датчигі және қыздыру элементі бөлме моделінің ішінде орналасқан. Мәліметтерді беруге және қабылдауға арналған құрылғылар модельден тыс орналасқан. Таратқыш қабылдағыш құрылғыдан 80 см қашықтықта орналасқан. Бұл қашықтық эксперименттік талдау кезінде ең оңтайлы қашықтық ретінде алынған. Қуаты 3 Вт болатын ақ жарық диоды бар деректерді берудің максималды қашықтығы 85 см құрады.

Тәжірибе табиғи жарықта жүргізілді. Үлгі бөлмесінің ішіндегі бастапқы температура 26 °C болды. Жұмыс температурасының диапазоны бағдарламалық жолмен орнатылды, және осы тәжірибе үшін  $\pm 1$  °C-қа орнатылды. Температура 28 °C дейін орнатылған. Температура қабылдағыш панелінде орналасқан түймелер арқылы қолмен орнатылды. 12-суретте көзге көрінетін жарық арқылы деректерді беру негізінде ұсынылған басқару жүйесін пайдаланып мақсатты температураны орнатудың өтпелі процесі көрсетілген.

Белгіленген 28 °C температураға басқару жүйесі қосылғаннан кейін 8 минут ішінде қол жеткізілді. 2 минуттан кейін температура сенсоры 29 °C мәнін оқыды және ақпаратты өңдеп, қыздыру элементін өшіру туралы сигнал берді. График көрсеткендей, оны өшіргеннен кейін температура қысқа уақыт ішінде тағы 0,7 °C-қа жоғарылайды. Бұл жылу мен массаалмасудың физикалық процестеріне байланысты. Температура 27 °C-қа дейін төмендегенде, жүйе қыздыру элементіне қосылуға сигнал берді. Сызба процестің тұрақты күйге



ауысатындығын көрсетеді.



**10-сурет.** Белгіленген температураны орнатудың өтпелі процесі

Белгіленген 28 °С температураға басқару жүйесі қосылғаннан кейін 8 минут ішінде қол жеткізілді. 2 минуттан кейін температура сенсоры 29 °С мәнін оқыды және ақпаратты өңдеп, қыздыру элементін өшіру туралы сигнал берді. График көрсеткендей, оны өшіргеннен кейін температура қысқа уақыт ішінде тағы 0,7 °С-қа жоғарылайды. Бұл жылу мен массаалмасудың физикалық процестеріне байланысты. Температура 27 °С-қа дейін төмендегенде, жүйе қыздыру элементіне қосылуға сигнал берді. Сызба процестің тұрақты күйге ауысатындығын көрсетеді.

Берілетін ақпараттың сапасына қойылатын талаптар VLC жүйелерін ұйымдастырудағы проблемаларға назар аударады, мысалы, көру сызығын қамтамасыз ету қажеттілігі, бөлмедегі шамдардың оңтайлы орналасуы, сыртқы жарық көздерінен, мысалы, күн сәулесі мен қарапайым жарықтандыру құралдарынан ақпараттық сигналға кедергілердің әсері. Кестеде келтірілген деректер (10-сурет) зерттеу жүргізілген үй-жайда табиғи жарықтандыру кезінде алынған. Сонымен қатар, жасанды жарық көздерінің бұзылуына байланысты зерттеулер жүргізілді [17].

Осылайша, жүргізілген зерттеулер VLC технологиясында жұмыс істейтін дамыған құрылғылар температураны бақылаудың сымсыз жүйелерін құру кезінде пайдалану мүмкіндігін көрсетті.

*Қорытынды.* Оптикалық сымсыз технологияны қолданып, көрінетін жарық арқылы басқару сигналдарын беру функциясы бар бөлме температурасын бақылау жүйесі ұсынылған. Тарату-қабылдаудың екі бөлек құрылғысы жасалды. Деректерді беру үшін бір уақытта жарықтандыру қызметін атқаратын 3 Вт ақ жарық диодты шам қолданылды. Жарықдиодты екі рет пайдалану жарық ағынының сапасын төмендеткен жоқ.

Тәжірибелік мәліметтер ақ жарық диодты жарықтандыруды және физикалық UART кодтауды қолдану арқылы деректердің берік берілуін көрсетті. Тәжірибе жүзінде орнатылған 9600 бод жылдамдығы адамның көзімен қабылданатын жыпылықтаусыз жарық импульстарын модуляциялауға мүмкіндік берді. Сонымен бірге, ұсынылған жүйенің ерекшелігі оның дизайнының қарапайымдылығы, пайдаланылған радиоэлек-

трондық элементтердің төмен құны болып табылады. Ұсынылып отырған басқару жүйесі ағымдағы ауа температурасының мәндерін жеткілікті жылдамдықпен және дәлдікпен беруді, сондай-ақ бөлмеде берілген температуралық режимнің сақталуын қамтамасыз етеді.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Жоғары технологиялар туралы интернет-басылым [Электрондық ресурс]. - Кіру режимі: <https://www.cnews.ru/analytics>.
2. Хилл С. Мұнай-газ кәсіпшілігіндегі «Сандық» сымсыз технологиялар // Control Engineering Research. – 2015. – 4(58). – Б. 58-61.
3. Қоғамдық Wi-Fi операторларға 7 миллиард рубль әкелді [Электрондық ресурс]. - Кіру режимі: <https://www.comnews.ru>.
4. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021. White Paper, 2017. – P. 35.
5. Internet of Things, IoT, M2M world market [Электрондық ресурс]. - Кіру режимі: <http://tadviser.com/index.php>.
6. Григорьева С.В., Алимжанова А. Ж., Дмитриева Т. С., Елеусизова К. А. Заттардың оптикалық интернеті // ШҚТУ хабаршысы. – 2020. – № 2(88). – Б. 104-108.
7. Borah D.K., Boucouvalas A.C., Davis C.C., Hranilovic S., Yiannopoulos K. Байланысқа бағытталған оптикалық сымсыз жүйелерге шолу // Сымсыз байланыс және желілер бойынша ЕВРАЗИП журналы. – 2012. – том 1. – № 1. – Б.1-28.
8. Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V., Parthiban R. Жарық диодты жарық көзіндегі жарық байланыстары: заманауи деңгей // IEEE коммуникациялық сауалнамалары және оқулықтары. - 2015. – Т. 17, 3-шығарылым. - бет. 1649-1678.
9. Chowdhury M., Shahjalal Md., Hasnan M., Jang Y. The Role of 5G / 6G және IoT шешімдеріндегі оптикалық сымсыз байланыс технологиялары: болашағы, бағыттары және проблемалары // Қолданбалы ғылымдар. - 2019 ж.
10. Chowdhury M., Hossain M., Islam A., Jang Y. A Comparative Оптикалық сымсыз технологияларға шолу: сәулет және қосымшалар // IEEE қол жетімділігі. - 2018. - т. 6. - бет. 9819-9840.
11. Figueiredo M., Alves L.N., Ribeiro C. Сымсыз әлемді жарықтандыру: көрінетін жарықпен байланыс перспективалары мен мәселелері // IEEE тұтынушылық электроника журналы. – 2017. – көлемі 6(4). – Б.28-37.
12. Aleksic S. IoT, ақылды индустрия және ақылды инфрақұрылымға арналған оптикалық технологиялар туралы сауалнама // Сенсорлар мен атқарушы желілер. - 2019.- 8 (3), 47.
13. Rehman S., Ullah S., Chong P.H.J., Yongchareon S., Komosny D. Көрінетін жарық байланысы: жүйеге перспективалық шолу және қиындықтар // Датчиктер. – 2019 ж. - 19 (5) 1153.
14. Бакланов А.Е., Григорьева С.В., Алимханова А.Ж., Дмитриев А.К. Көрінетін жарық байланыс технологиясына негізделген жабық температураны бақылау жүйесі // Ғылыми хабаршы НТТУ. - 2020. - No 2-3 (79). – Б. 7-24.
15. Aliaberi A., Sofotasios P.C., Muhaidat S. Көрінетін жарықта байланыс үшін модуляция схемалары 2019. Озық коммуникациялық технологиялар мен желілер (түсініктеме).
16. Dahri F.A., Ali S., Jawaid M.M. А Көрінетін жарықта байланыс үшін модуляция схемаларына шолу // халықаралық информатика және желілік қауіпсіздік журналы. – 2018. – көлемі 18. – № 2. – Б. 117-125.
17. Григорьева С., Алимжанова А., Баталова М. Көрінетін жарықпен байланыс технологиясын қолдана отырып, бөлме температурасы туралы деректерді беруді зерттеу // Физикалық журнал: конференция сериялары. – 2021. – 1843 (1) 012004.

#### References

1. Zhofary tekhnologiiialar turaly internet-basylym [Elektrondyq resurs]. - Kiru rezhimi: <https://www.cnews.ru/analytics>.
2. Khill S. Mynai-gaz kәsipshiligindegi «Sandyq» symсыz tekhnologiiialar // Control Engineering Resei. – 2015. – 4(58). – B. 58-61.

3. Қорамдық Wi-Fi operatorларға 7 миллиард рубл әкелді [Elektronдық resurs]. - Kiru rezhimi: <https://www.comnews.ru>.
  4. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021. White Paper, 2017. – P. 35.
  5. Internet of Things, IoT, M2M world market [Elektronдық resurs]. - Kiru rezhimi: <http://tadviser.com/index.php>.
  6. Grigoreva S.V., Alimzhanova A.Zh., Dmitrieva T.S., Eleusizova K.A. Zattardıң optikalық interneti // ShҚТУ хабарshыsy. – 2020. – №2(88). – B.104-108.
  7. Borah D.K., Boucouvalas A.C., Davis C.C., Hranilovic S., Yiannopoulos K. Bailanysқа baryttalған optikalық symсыz zhıyelerge sholu // Symсыz bailanys zhөne zheliler boiynsha EVRAZIP zhurnaly. – 2012. – tom 1, № 1. – B.1-28.
  8. Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V., Parthiban R. Zharyқ diodty zharyқ kөzindegi zharyқ bailanystary: zamanauı deңgei // IEEE kommunikatsiialық saualnamalary zhөne oқulyqtary. - 2015. - T. 17, 3-shyrarylym. - bet. 1649-1678.
  9. Chowdhury M., Shahjalal Md., Hasan M., Jang Y. The Role of 5G / 6G zhөne IoT sheshimderindegi optikalық symсыz bailanys tekhnologiialary: bolashary, baryttary zhөne problemalary // Қoldanbaly fylymdar. - 2019 zh.
  10. Chowdhury M., Hossan M., Islam A., Jang Y. A Comparative Optikalық symсыz tekhnologiialarға sholu: säulet zhөne qosymshalar // IEEE қol zhetimdiligi. - 2018. – T. 6. - bet. 9819-9840.
  11. Figueiredo M., Alves L.N., Ribeiro C. Symсыz әlemdi zharyқtandyru: kөrinetin zharyқpen bailanys perspektivalary men мәseleleri // IEEE tıtynushylyқ elektronika zhurnaly. – 2017. – көlemi 6(4). – B.28-37.
  12. Aleksic S. IoT, aқyldy industriia zhөne aқyldy infraqrlylymға arnalған optikalық tekhnologiialar turaly saualnama // Sensorlar men atqarushy zheliler. - 2019.- 8 (3), 47.
  13. Rehman S., Ullah S., Chong P.H.J., Yongchareon S., Komosny D. Kөrinetin zharyқ bailanysy: zhıyiege perspektivalық sholu zhөne қiyndyqtar // datchikter. - 2019 zh. - 19 (5) 1153.
  14. Baklanov A.E., Grigoreva S.V., Alimkhanova A.Zh., Dmitriev A.K. Kөrinetin zharyқ bailanys tekhnologiiiasyna negizdelgen zhabyқ temperaturany bakylau zhıyesi // Fylymi khabarshy NTTU. - 2020. – No 2-3 (79). – B. 7-24
  15. Aliaberi A., Sofotasios P.C., Muhaidat S. Kөrinetin zharyқта bailanys үshin moduliatsiia skhemalary 2019. Ozyқ kommunikatsiialық tekhnologiialar men zheliler (tysinikteme).
  16. Dahri F.A., Ali S., Jawaid M.M. A Kөrinetin zharyқта bailanys үshin moduliatsiia skhemalaryna sholu // khalyқaralyқ informatika zhөne zhelilik қаuiipsizdik zhurnaly. – 2018. – көlemi 18. – № 2. – B.117-125.
  17. Grigoreva S., Alimzhanova A., Batalova M. Kөrinetin zharyқpen bailanys tekhnologiiiasyn қoldana otyryp, belme temperaturasy turaly derekterdi berudi zertteu // fizikalық zhurnal: konferentsiia seriialary. – 2021. – 1843 (1) 012004.
- 
-