

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Пашар Мұхамедәлі Нұрлыханұлы

«Спирометрияны зерттеуге арналған аспапты әзірлеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтытехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
РТЖАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты

Қ.А. Ожикенов

«23» мамыр 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Спирометрияны зерттеуге арналған аспапты әзірлеу»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады:	Пашар Мұхамедәлі Нұрлыханұлы
Ғылыми жетекші:	Техника ғылымдарының магистры, лектор Баянбай Н.А.

Алматы 2021



Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТЖАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты

Қ.А. Ожикенов

«23» қаңтар 2020 ж.

Дипломдық жобаны орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушыға Пашар Мұхамедәлі Нұрлыханұлы

Тақырыбы: Спирометрияны зерттеуге арналған аспапты әзірлеу

Университет ректорының 2020 жылғы «24» қараша №2131-б
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы мәліметтері: : Қарапайым спирометрді
қолдану жұмыс принципі. Спирометр датчиктері.

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Спирометрия. Негізгі анықтамалар
- б) Спирометрияның жұмыс принципі
- в) Спирометрияны зерттеуге арналған аспап
- г) Портативті спирометр үшін датчикті таңдау
- д) Практикалық бөлім

Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажетті
сызбалар көрсетілген): 20 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 17 әдебиеттер тізімі

Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	22.01 – 15.02.2021 ж.	Орындалды
Есептеу бөлімі	22.01 – 15.02.2021 ж.	Орындалды
Бағдарламалық бөлім	15.03 – 20.04.2021 ж.	Орындалды
Зерттеу бөлімі	20.04 – 05.05.2021 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	05.05 – 15.05.2021 ж.	Орындалды

Аяқталған дипломдық жобаға және оған қытысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының **ҚОЛТАҢБАЛАРЫ**

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекшілер, кеңесшілер, (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Қалып бақылаушы	Қабдолдина Әсем Оралханқызы PhD доктор	07.06.2021	

Ғылыми жетекшісі : 

Баянбай.Н.А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы:



Пашар М.Н.

Күні

«_» мамыр 2021 ж.

АҢДАТПА

Өкпенің желдетуі немесе сыртқы тыныс алу функциясы (СТФ) альвеолярлы ауаның газ құрамын жаңарту процесі деп аталады, бұл оларға оттегінің түсуін және көмірқышқыл газының шығарылуын қамтамасыз етеді. Тыныс алу жүйесін диагностикалаудың ең қарапайым, және де тиімді әдісі-спирометрия.

Осы жұмыста жалпы спирометрияның анықтамалары келтірілген, олардың жұмыс принциптері қарастырылған. Аспаптың негізгі көрсеткіштері анықталынды. Нарықтағы аспаптарға талдау жасалынды және портативті спирометр үшін датчик таңдалынды. Таңдалынған турбиналық датчик негізінде аспап қарастырылды. Arduino-да спирометр құрылғысын құрастыру сұлбасы келтірілді.

АННОТАЦИЯ

Вентиляцией легких, или функцией внешнего дыхания (ФВД) называют процесс обновления газового состава альвеолярного воздуха, обеспечивающего поступление в них кислорода и выведение углекислого газа. Наиболее простым, но при этом достаточно эффективным методом диагностики дыхательной системы является спирометрия.

В данной работе приведены определения общей спирометрии, рассмотрены принципы их работы. Определены основные показатели устройства. Проведен анализ устройств и выбран датчик для портативного спирометра. Рассматривается устройство на основе выбранного турбинного датчика. В Arduino представлена схема сборки устройства спирометра.

ANNOTATION

Ventilation of the lungs, or the function of external respiration (FVD), is the process of updating the gas composition of the alveolar air, which provides oxygen to them and the removal of carbon dioxide. The simplest, but at the same time quite effective method of diagnosing the respiratory system is spirometry.

In this paper, the definitions of general spirometry are given, and the principles of their operation are considered. The main indicators of the device are defined. An analysis of the devices on the market was carried out and a sensor for a portable spirometer was selected. The device based on the selected turbine sensor is considered. The Arduino shows the assembly diagram of the spirometer device.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ

- 1 Бөлім
 - 1.1 Спирометрия. Негізгі анықтамалар
 - 1.2 Спирометрияның жұмыс принципі
 - 1.3 Спирометрия кезінде бағаланатын негізгі көрсеткіштер
 - 1.4 Спирометрлер түрлеріне талдау жасау. Артықшылықтары мен кемшіліктері
 - 1.5 Қазіргі спирометрлерге қойылатын талаптар
 - 2 Спирометрияны зерттеуге арналған аспап
 - 2.1 Нарықтағы аспаптарға талдау жасау
 - 2.2 Портативті спирометр үшін датчикті таңдау
 - 2.3 Спирометрдің техникалық сипаттамалары
 - 2.4 Спирометрдің жұмыс істеу принципі және оның құрылымы
 - 2.5 Өлшеудің тахометриялық әдісі
 - 2.6 Бағдарламалы-математикалы қамтамасыздандыру
 - 2.7 Өлшеу жүргізу және нәтижелерді өңдеу
 - 3 Практикалық бөлім
 - 3.1 Arduino-да спирометр құрылғысын құрастыру
- Қортынды
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі
Қосымшалар

КІРІСПЕ

Сандық технология пайда болғанға дейін механикалық спирометрлер, атап айтқанда су негізіндегі спирометрлер кең қолданылған. Мұндай құрылғымен жұмыс жасау көп уақытты қажет етеді және көрсеткіштерді қолмен есептеу қажет болды.

Қазіргі уақытта ауа ағыны датчигі мен датчик көрсеткіштерін сандық түрге ауыстыратын және қажетті есептеулер жүргізетін электрондық құрылғыдан тұратын сандық құрылғылар қолданылады. Қазіргі уақытта компьютерлік спирометрлер дамыған, оларда барлық есептеулер мен ақпаратты талдау дербес компьютермен жүзеге асырылады.

Спирометр - бұл өкпенің тіршілік сыйымдылығы шегінде өкпенің желдетілуінің физиологиялық көлемін тіркейтін медициналық құрал.

Қандай да бір уақыт аралығында пациент максималды дем алғаннан кейін тыныс шығару бұл өкпе қызметін бағалаудың сенімді әдісі. Бұл спирометриялық бағалау, мысалы, өкпе ауруы қаупі бар адамдарды тексеру, өкпе ауруы болған кезде объективті параметрлерді ұсыну, симптомдар мен операция алдындағы қауіптерді бағалау және терапевтік араласулардың әсерін тіркеу үшін қолданылады. Спирометрді өкпе жеткіліксіздігін бағалауда, халықтың денсаулығын бағалауда және клиникалық зерттеулерде де қолдануға болады.

Осы нақты халықаралық стандартта көрсетілген минималды қауіпсіздік талаптары спирометрлердің жұмысында қауіпсіздіктің ойға қонымды дәрежесін қамтамасыз етеді деп саналады.

Тақырыптың өзектілігі. Өкпені функционалды тексеру клиникалық медицинаның маңызды бөлігі болып табылады және бірқатар тапсырмаларды орындайды: өкпе ауруын диагностикалау және оның ауырлығын бағалау; өкпенің әр түрлі бұзылулары кезіндегі терапияның тиімділігін бағалау (мысалы, бронх демікпесі бар науқастардың бронходилататорларға реакциясы); дәйекті зерттеулер нәтижесінен аурудың жүрісі туралы түсінік; пациенттерге дұрыс тыныс алуды үйрету және салауатты өмір салтын ұстану қажеттілігіне сендіру (мысалы, темекі шегушіні темекіні тастауға көндіру, оған өкпенің жұмысының бұзылғандығын көрсететін тест нәтижелерін көрсету).

Сыртқы тыныс алу функциясын (ФВД функции внешнего дыхания -СТФ) зерттеу үшін спирометрлер деп аталатын арнайы құрылғылар қолданылады. Олар функционалдылығымен де, баға көрсеткіштерімен ерекшеленеді. Мысалы, сыртқы тыныс алу функциясын (ФВД функции внешнего дыхания -СТФ) егжей-тегжейлі зерттеу үшін мамандандырылған компьютерленген спирометрлік кешендер қолданылады. Мұндай зерттеулер функционалды диагностика кабинетінде ғана жүргізіледі және персоналдың арнайы дайындығын қажет етеді. Орташа алғанда, компьютерлік спирометриялық кешенде зерттеу 25-30 минутты алады (кешеннің дайындығын ескере отырып).

Әрбір аудандық емханада, медициналық орталықтарда, қажет болған жағдайда пациенттердің үйлерінде жүргізілуі керек тұрғындарды жаппай (скринингтік) спирометрлік тексерулер үшін қозғалмалы немесе портативті құрылғыларды қолдану қолайлы да ыңғайлы. Мұндай құрылғылар тестілеуге, спирометрияны зерттеудің қарапайымдылығына, сақтау мен тасымалданудың қарапайымдылығына және зарарсыздандыруға жұмсалатын уақыттың ең аз уақытын қамтамасыз етуі керек.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты спирометрияны зерттеуге арналған портативті құрылғыларды жасау өзекті тақырып деп қорытынды жасауға болады.

Бұл жұмыстың мақсаты - жалпы спирометрия туралы деректермен танысу, олардың жұмыс принциптері қарастыру. Аспаптың негізгі көрсеткіштері анықтау. Қазіргі кездегі спирометрияның әлемдік практикасындағы тенденцияларды ескере отырып, сыртқы тыныс алу функциясын зерттеуге арналған портативті құрылғыны дайындау.

1 БӨЛІМ

1.1 Спирометрия. Негізгі анықтамалар

Спирометрия (спиро - тыныс алу, метри - өлшеу) - тыныс алу және дем шығару ауасының көлемін, сондай-ақ тыныс алу жолдары арқылы тыныш және мәжбүрлі күйде өту жылдамдығын бағалауға мүмкіндік беретін әдіс.

Осы қауіпсіз және ауыртпалықсыз зерттеудің көмегімен тыныс алу функциясының және оттегі алмасуының патологиялары, бронх демікпесі мен созылмалы обструктивті өкпе ауруының болуы анықталады.

Зерттеу спирометр деген ең көп дем алғаннан кейінгі ең үлкен дем шығару кезінде өкпеден шығатын ауа көлемін өлшеуге арналған құрылғының көмегімен жүзеге асырылады.

Спирометриялық зерттеу - өте қарапайым, арзан және қол жетімді зерттеу әдісі. Бұл әдіс сыртқы тыныс алу функцияларын анықтау үшін қолданылады, оған көлемдік және жылдамдық көрсеткіштерін өлшеу кіреді. Арнайы құрылғыны - спирометрді қолданып, тыныс алу және күрт шығару қажет. Нәтижесінде өкпенің жұмысындағы аздаған бұзылуларды анықтауға болады.

Спирометрия бронх демікпесі, созылмалы обструктивті өкпе ауруы сияқты ауруларды диагностикалау үшін, сондай-ақ басқа аурулар кезіндегі тыныс алу аппараттарының күйін және әртүрлі медициналық шаралар кезінде қолданылады.

Спирометрияның негізгі параметрі - өкпенің тіршілік сыйымдылығы (ЖЕЛ-ӨТС) - деммен жұтуға немесе дем шығаруға болатын ауаның максималды көлемі.

Спирометрияны барлық сау адамдарға жүргізуге болады. Оны спортшылар өкпенің тіршілік қабілетін анықтау үшін өте жиі пайдаланады.

Сонымен қатар, спирометриялық зерттеу жүргізіліп, өкпе ауруларының даму қаупін анықтайды: зиянды өндіріс жұмысшыларында, сондай-ақ темекі шегушілерде.

Спирометрия сынамалары

Үлгілердің бірнеше түрі бар:

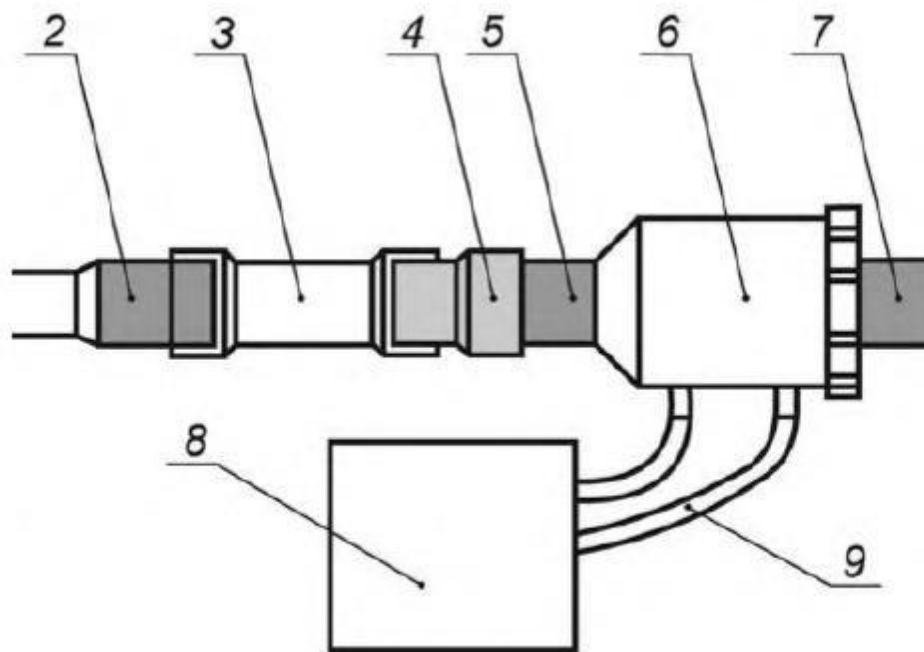
- тыныш тыныс алу сынамаcы;
- жеделдетіп дем шығару сынамалар;
- өкпенің максималды желдету кезіндегі сынамалар;
- бронхоспазмды жеңілдететін дәрілерді қолданатын функционалды сынақтар.

1.2 Спирометрияның жұмыс принципі

Ескі спирометрлер суға орналастырылған бос цилиндрлік нысандардан тұрды. тыныс шығарғанда ауа массалары цилиндрге еніп, оны көлемге байланысты белгілі бір деңгейге көтерді. Тыныс шығарылған массалардың

уақытқа қатынасын бейнелейтін графикті сызатын құрылғы қосылып тұрған. Соңғы нәтижелерді графикке сүйене отырып қолмен есептелген.

Заманауи механизмдердің жұмысы турбина конструкциясына негізделген. Пациенттің өкпесінен шығатын ауа ағыны микропроцессорға қосылған турбинаны іске қосады. Электроника тіркеген деректер құрылғының экранында шығып отырады.



Сурет 1.1 – Спирометрдің қосылу сұлбасы

- 2 – шығыс жалғама құбыры;
- 3 – эластикалы жалғастырғыш;
- 4 – спирометр мүштігі;
- 5 – спирометр датчигіне кіріс жалғама құбыры;
- 6 – спирометр датчигі;
- 7 – спирометр датчигіне шығысының жалғама құбыры;
- 8 – спирометрдің электронды блогы;
- 9 – спирометр датчигінің ауа магистралы.

Спирометрдің ауа өлшеу жолы ашық түрге жатады. Спирометрдің бастапқы сезімтал элементі (Флейша түтік түріндегі ағын сенсоры) - бұл ағынның резисторы, оның дифференциалды қысымы сенсор арқылы өтетін ауа ағынына пропорционал.

Спирометрдің жұмыс принципі тыныс шығару кезінде де, тыныс алу кезінде де "флейша түтігі" сияқты тыныс алу датчигі арқылы өтетін ауа ағынын механикалық шаманы электр сигналына түрлендіре отырып, қысымның төмендеуі арқылы өлшеуге және оны кейіннен сандық түрде ұсынуға негізделген. Шығарылған/деммен жұтылған ауадағы көмірқышқыл газы мен

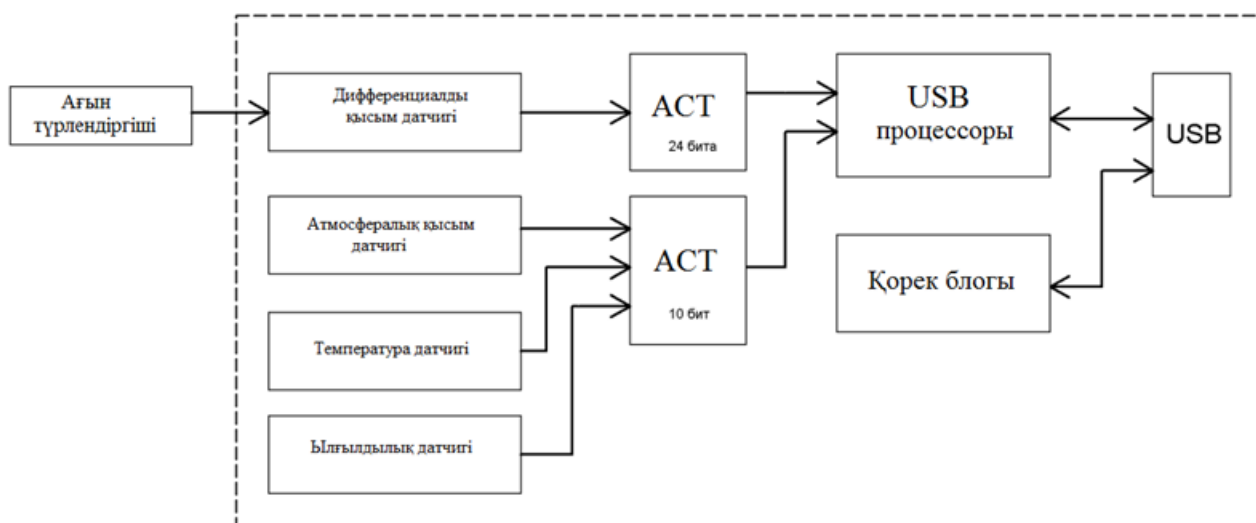
оттегінің мөлшерін анықтау үшін бүйірлік ағындағы ауа сынамасын үздіксіз іріктеу әдісі қолданылады. Артериялық перифериялық қанның пульсациясын (импульстік толқын) көрсету үшін екі толқын ұзындығында капиллярлық қан ағынын оптикалық тері арқылы сканерлеу әдісі қолданылады.

Есептеу құрылғысы жұптау модуліндегі сандық түрлендіруге дейін өлшеу басынан сигнал алады, оны өңдейді, тыныс алу параметрлерін есептейді, сонымен қатар экранда "нақты уақыт" режимінде тыныс алу процесін көрсетеді. Өлшенген және есептелген параметрлер автоматты түрде өкпе ішіндегі жағдайларға (BTPS) айналады. Сыртқы тыныс алу параметрлерінің алынған нақты мәндері жадта сақталған берілген мәндермен байланысты.

Спирометриядан бұрын дәрігер науқастың дене салмағы мен бойын өлшейді, сол көрсеткіштерді компьютерге енгізеді, сонымен қатар науқастың деректері, жасы, жынысы және толық аты-жөні бағдарламаға енгізіледі.

Осыдан кейін зерттелетін адам креслоға отырады, ол біркелкі қалыпты сақтайды. Нәтижелердің бұрмалануына байланысты процедура кезінде шамадан тыс қозғалыстарға тыйым салынады.

Аспапқа бір реттік ауыздық қойылады, содан кейін дәрігер науқасқа дұрыс дем алуды үйретеді. Олар оған тыныш тыныс алу, терең тыныс шығару, күшейтіліп тыныс шығару және тыныс алу дегенді алдын-ала түсіндіреді. Содан кейін науқастың мұрнына қысқыш қойылады, ал ауыздық ауызға салынып, оны ернімен мықтап басуды сұрайды.



Сурет 1.2 – Спирометрдің электронды блок сұлбасы

Электрондық блок дифференциалды қысымды аналогтық сигналға айналдыруға, оны күшейтуге, цифрлық кодқа айналдыруға, қоршаған орта жағдайына сәйкес реттеуге, цифрлық реттілікті құруға және оны дербес компьютерге (ДК) беруге арналған.

Электрондық блок келесі компоненттерден тұрады:

- дифференциалды қысым датчигі;

- атмосфералық қысым датчигі;
- температура датчигі;
- ылғалдылық датчигі;
- аналогты-санды түрлендіргіш;
- процессор.

Пациенттің өкпесінен ауа ағыны ағын түрлендіргіші (АТ) арқылы өткен кезде оның құрамына кіретін аэродинамикалық кедергіде қысым айырмашылығы пайда болады. Импульсті түтіктер арқылы ол дифференциалды қысым датчигінің кірісіне енеді және аналогтық электр сигналын қалыптастырады. Әрі қарай дифференциалды қысым датчигінен, температура датчигінен, атмосфералық қысым датчигі және ылғалдылық датчигі сигналдары аналогты-санды түрлендіргіштің кірісіне беріледі және сандық кодқа айналдырылады. Сандық код процессорға түседі, ол жерде ол қоршаған орта жағдайына сәйкес өңделеді және түзетіледі. Процессордан өндеуден кейін сандық тізбектілік дербес компьютерге алмасу хаттамасы арқылы USB интерфейсі арқылы беріледі. Кодтар тізбегі дербес компьютердің USB интерфейсінің кірісіне беріледі. Дербес компьютер оны қабылдайды және декодтайды, содан кейін сигналдарды масштабтайды, сүзеді және мониторға шығарады, оларды қажетті есептеулер жасай отырып басып шығарады. Негізгі блок USB интерфейсі арқылы дербес компьютерден +5 В тұрақтандырылған кернеуімен қоректенеді.

Дәрігер бағдарламаны бастап, науқасқа нұсқау береді. Бастапқыда оған тыныш, әдеттегі қарқынмен тыныс алуды сұрайды. Содан кейін - максималды терең тыныс алуды және тыныс шығаруды бастайды. Осыдан кейін пациент мүмкіндігінше тез және жеңіл тыныс алады. Нұсқаулықты белгіленген мақсаттарға сәйкес өзгертуге болады.

Осы уақыт ішінде бағдарлама алынған ақпаратты тіркейді, графиктер салады, спирометрия көрсеткіштерін есептейді. Осыдан кейін барлық нәтижелер дәрігердің компьютер экранында көрсетіледі. Әдетте, орындау техникасында қате жоқтығына көз жеткізу үшін техниканы екі-үш рет қайталайды.

Бронхтары бар пациенттерге спирометрия бронх демікпесі мен өкпенің созылмалы обструктивті ауруы арасында дифференциалды диагностика жүргізуге мүмкіндік береді, сондықтан ол әрдайым қолданыла бермейді.

1.3 Спирометрия кезінде бағаланатын негізгі көрсеткіштер

Медицинадағы спирометр - бұл өкпенің көлемін өлшейтін құрал екенін жоғарыда келтірдік. Бұл мүмкін тыныс шығарудан кейін өкпеден бөлінетін ауа массасын өлшеу арқылы жасалады. Өз кезегінде, дем шығару ең үлкен тыныс алудан кейін шығарылады. Спирометр көмегімен анықталатын көрсеткіш әртүрлі аталады: тыныс алу қабілеті, өкпенің тіршілік сыйымдылығы немесе жай

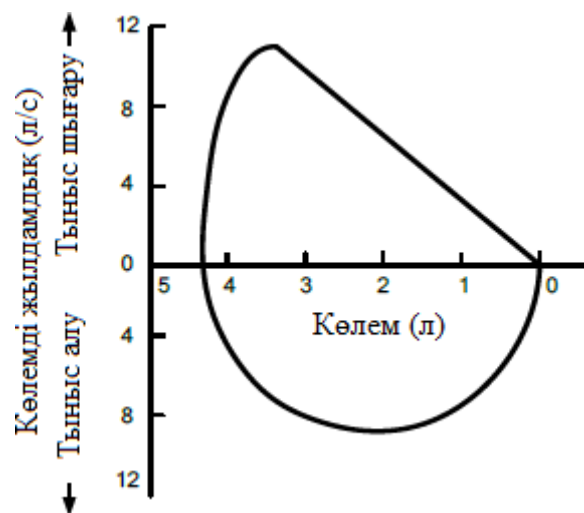
өкпе көлемі.

Құрылғыны пайдалану тыныс алу жүйесінің күйін бағалауға және адам денсаулығы туралы қорытынды жасауға көмектеседі. Бұл құрылғы тыныс алу органдарының аурулары бар науқастарға ғана емес, медициналық мекемелерде, балабақшаларда, спорттық және әскери медицинада, ғылыми-зерттеу институттарында және т.б.

Қазіргі уақытта спирометрияның көмегімен өкпенің желдету қызметінің 50-ге дейінгі көрсеткіштері анықталады, дегенмен көп жағдайда диагноз қою үшін 10 негізгі көрсеткіш жеткілікті. Оларға мыналар жатады:

- өкпенің тіршілік сыйымдылығы - ӨТС (жизненная емкость легких-ЖЕЛ);
- өкпенің күшейтілген өмірлік қызметі - ӨКӨҚ (форсированная жизненная функция легких - ФЖЕЛ);
- шыңдық көлемдік жылдамдық - ШКЖ (пиковая объемная скорость - ПОС);
- ӨКӨҚ 25% тыныс шығарғаннан кейінгі лездік көлемдік жылдамдық
- ЛКЖ 25 (мгновенная объемная скорость - МОС 25);
- ӨКӨҚ 50% тыныс шығарғаннан кейінгі лездік көлемдік жылдамдық
- ЛКЖ 50 (мгновенная объемная скорость - МОС 50);
- ӨКӨҚ 75% тыныс шығарғаннан кейінгі лездік көлемдік жылдамдық
- ЛКЖ 75 (мгновенная объемная скорость - МОС 75);
- 25 % және 75 % ӨКӨҰ интервал аралығындағы орташа көлемдік жылдамдық - ОКЖ 25-75 (средняя объемная скорость в интервале между 25 % и 75 % ФЖЕЛ - СОС 25-75);
- 1 секунд ішіндегі күшейтілген тыныс шығару көлемі - КТШК1 (объем форсированного выдоха за 1 секунду - ОФВ1);
- Тиффно индексі - КТШК1/ӨТС (ОФВ1/ЖЕЛ);
- Генслера индексі – КТШК1/ӨКӨҚ (ОФВ1/ФЖЕЛ).

Бұл көрсеткіштердің барлығын графиктен анықтауға болады, оны әдетте «ағым-көлем» циклі деп атайды (1.3-суретті). Графикте абцисса ауаның көлемін, ал ордината оның көлемдік жылдамдығын білдіреді. Сонымен қатар, тыныс шығару кезіндегі көлемдік жылдамдық шартты түрде оң, ал тыныс алу кезінде - теріс қабылданады.



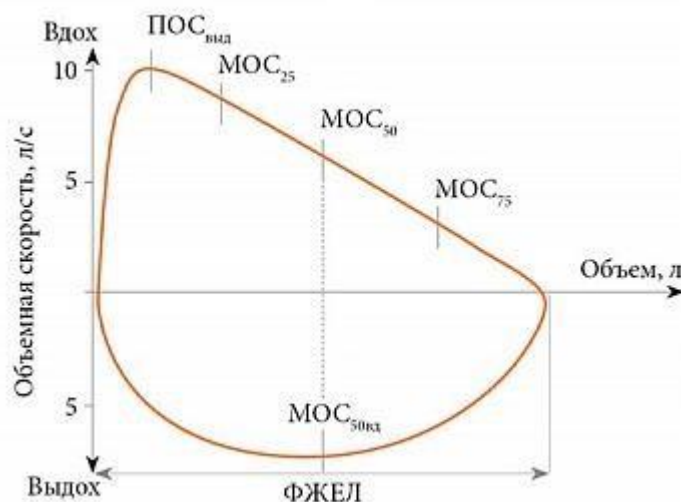
Сурет 1.3– «Ағын- көлем» циклі тұзағы

Өкпенің желдету функциясын клиникалық бағалау пациент дұрыс жүргізген тыныс алу тестінің нәтижелерін тиісті мәндермен салыстыруға негізделген. Тиісті мәндер оның жынысы, жасы мен бойын ескере отырып, берілген адам үшін қалыпты көрсеткіштерді сипаттайды (кейде салмақ пен нәсіл ескеріледі). Статистикалық зерттеулер негізінде әлемде бірнеше тиісті мәндер жүйесі жасалды. Көбінесе Р.Ф.Клемент пен Кнудсонның тиісті жүйелері қолданылады.

Тыныш тыныс алу кезеңінен кейін пациент максималды тыныс алады, нәтижесінде эллипстік қисық жазылады (АЕВ қисығы). Максималды тыныс алу нүктесіндегі өкпе көлемі (В нүктесі) TLC құрайды. Осыдан кейін науқас күшейтілген тыныс шығаруды (FVC) жасайды (BCDA қисығы).

Максималды тыныс шығарудың көлемдік ағыны қисықтың бастапқы бөлігімен көрсетілген (С нүктесі). Сонда ағынның көлемдік жылдамдығы төмендейді (D нүктесі), ал қисық бастапқы орнына (А нүктесі) оралады. Осыған сүйене отырып, ағын-көлем циклы ауаның көлемді шығыны мен тыныс алу және тыныс шығару кезіндегі өкпенің көлемінің арасындағы байланысты сипаттайды. Онда қарапайым спирограмма сияқты мәліметтер бар. Дегенмен, сіз осы цикл арқылы қосымша пайдалы ақпаратты оңай алуға болады.

Күшейтілген тыныс шығару және тыныс алу кезінде ауа ағынының сипаттамалары бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленетіні анық. Тыныс алу кезінде ауа ағыны белгілі бір дәрежеде симметриялы болады: оның ең жоғары жылдамдығына қисықтың ортаңғы нүктесінде жетеді. Бұл нүкте өкпенің тіршілік сыйымдылығының 50% кезіндегі максималды тыныс алудың көлемдік жылдамдығы деп аталады (MOC50% vd, MIF50%).



Сурет 1.4 – Қалыпты цикл «максималды тыныс алу және шығару кезіндегі көлемдік ағынның жылдамдығы мен көлемінің арақатынасы»

Тыныс алу А нүктесінен басталады, тыныс шығару В нүктесінде басталады. Тыныс шығару ағынының ең жоғарғы ағымы (PEF), С нүктесінде байқалады, сыйымдылығы ($V_{max50\%}$) D нүктесіне сәйкес келеді, ал максималды еңтігу ағыны (MIF50%) - E нүктесіне сәйкес келеді.

Керісінше, тыныс шығарудың максималды жылдамдығы - тыныс шығарудың ең жоғарғы ағыны (PEF) - тыныс алу жолының бойында өте ерте жүреді. Көлемдік ағын жылдамдығы жарамдылық мерзімі біткенше сызықтық түрде төмендейді. Спирограмманы сипаттауда көрсетілгендей, ауа ағынының жылдамдығын ағын-көлем қисығынан өкпенің мәжбүрлі тіршілік сыйымдылығының 25% -дан 75% -на дейін анықтауға болады. Алайда еріксіз тыныс шығарудың ортасындағы ауа ағынының көлемін қарастырған ыңғайлы ($V_{max50\%}$). Әдетте MIF50% $V_{max50\%}$ -дан 1,5 есе көп, өйткені тыныс шығару кезінде тыныс шығаруды шектейді. Ағын көлемінің циклі негізінен қарапайым спирограммамен бірдей ақпаратты қамтығанымен, ағын мен көлем арасындағы тәуелділіктің көрінуі жоғарғы және төменгі функционалдық сипаттамаларын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Ағын көлемінің циклін талдау диагностикалық қиын жағдайларда пайдалы болуы мүмкін, бұл мысалдармен расталады.

1.4 Спирометрлер түрлеріне талдау жасау. Артықшылықтары мен кемшіліктері

Стационарлық - максималды функционалдығы мен өлшемдері бар құрылғы. Әдетте, ол үстел үстінде қолданылатын түрі. Қомысша принтерді қамтиды.



Сурет 1.5 – Стационарлы спирометр

Портативті спирометр - бұл шағын құрылғы. Олар өлшемдер жиынтығымен, принтердің болуымен, SpO2 датчигін қосу мүмкіндігімен ерекшеленеді. Ауруханадан тыс тексеруге ыңғайлылықты қамтамасыз етеді. Көптеген қалта модельдерін пациенттер өздігінен қолдана алады. Сондай-ақ, портативті құрылғылардың көпшілігі компьютермен USB немесе Bluetooth арқылы байланыса алады. Бұл жағдайда компьютерді мәліметтер базасын құру үшін немесе алынған өлшемдерді күрделі өңдеу үшін пайдалануға болады.



Сурет 1.6 – Портативті спирометр

Компьютерлік спирометр тек арнайы бағдарламалық жасақтама орнатылған компьютерге қосылған кезде ғана жұмыс істей алады. Бұл құрылғылардың функционалдығы тек бағдарламаның мүмкіндіктерімен шектеледі. Әдетте, бұл мүмкін есептеулердің ең толық жиынтығы.



Сурет 1.7 – Компьютерлік спирометр

1.5 Қазіргі спирометрлерге қойылатын талаптар

Пациенттің шырышты қабығымен жанасатын және оның тыныс алу циклына қатысатын медициналық құрал ретінде спирометр міндетті түрде стерилизациядан және стерилизациядан бұрын тазартудан өтуі керек, сондықтан құрылғының дизайны оларды өткізу мүмкіндігін қарастыруы керек шаралар. Бір реттік ауыздықтарды қолданған жағдайда, құрылғыны тек дезинфекциялаумен шектелуге болады.

Қазіргі спирометрлер - бұл әртүрлі жұмыс принциптерінің шығын өлшегіштері. Дифференциалды манометрге негізделген шығын өлшегіштер бірдей принцип бойынша жұмыс істейді: ауа ағыны кейбір кедергіден өткенде (тор, түтікшенің тарылуы және т.б.), ағында қысымның төмендеуі пайда болады (қысым кедергі алдында көтеріледі және артында азаяды). Қысым айырмасы ағынның жылдамдығына тікелей пропорционалды. Нәтижесінде ағынның көлемдік жылдамдығы және түтік арқылы өтетін ауа көлемі есептеледі.

Турбина шығын өлшегіштері ауа қозғалысының импульсін дөңгелектің айналуына айналдырады. Ротордың айналу жиілігі ағынның жылдамдығына тура пропорционалды, ал өткен ауаның көлемі айналу санынан есептеледі.

Спирометр-термоанемометрлерді өлшеу принципі ауа ағынымен салқындатылған қыздырылған термистордың электр кедергісін өзгерту әсеріне негізделген. Ауа электр тогымен тұрақты температураға дейін қыздырылатын катушка арқылы өтеді. Термистордың салқындау дәрежесі оның өтетін ауаның жылдамдығы мен температурасына байланысты.

Хатчинсон су спирометрі - тыныс шығаратын немесе тыныс алатын қоңырау. Ондағы өкпе көлемінің өзгеруі калибрленген айналмалы барабанға қосылған цилиндр көлемінің өзгеруімен жазылады.

Құйынды шығын өлшегіштер ағынды орта «ағын денесімен» әрекеттескенде пайда болатын әсерді қолданады.

Осы эффектке негізделген құрылғылардың жұмыс істеу принципі ағынға орналастырылған «ағын денесінің» артында пайда болатын құйынды бекітуге, дәлірек айтсақ, егер ағынға белгілі бір «дене» (ерекше пішінді таяқша) орналастырылса өлшенген ортаның, онда пайда болатын құйындардың жиілігі «Кармана жолы» деп аталады, ағын жылдамдығына пропорционалды болады, яғни көлемдік ағын жылдамдығына пропорционал.

2 Спирометрияны зерттеуге арналған аспап

2.1 Нарықтағы аспаптарға талдау жасау

Қазіргі уақытта нарықта Micro Medical LTD (Англия), Medical International Research (Италия) және SCHILLER (Швейцария) сияқты шетелдік компаниялардың бірнеше портативті құрылғылары бар.

Спирометрия құрылғыларына қатысты «сапа» көрсеткіштері өлшенетін шығындар мен көлемдер диапазоны, өлшеу қателігі, сыртқы тыныс алудың анықталған көрсеткіштерінің саны, салмақ пен өлшем көрсеткіштері, сондай-ақ қосымша функционалдылық болады. 2.1 кестеде қазіргі уақытта бар ақпарат көздерінен (өндірушілердің ресми веб-сайттарынан) барлық қарастырылатын құрылғылар үшін анықталған көрсетілген сапа көрсеткіштеріні келтірілген.

Функционалды мәнін есептеу арқылы ауа қысымын зерттеуге арналған портативті құрылғыларға салыстырмалы талдау жүргізілді, оны сапаның салыстырмалы көрсеткіштері деп атауға болады.

Спирометрлердің сапасын бағалаудың ұсынылған әдісі әмбебап болып табылмайтынын есте ұстаған жөн. Алайда портативті құрылғыларды белгілі сапа көрсеткіштерін ескере отырып, «сапа/баға» критерийі негізінде салыстыруға болады. Талдау кезінде осындай сапа көрсеткіштері қаншалықты ескерілетін болса, бағалау соғұрлым объективті болатыны анық.

Осылайша, MIR өндірушісі Spirobank және Spirobank II құрылғылары болашақта техникалық деректері негізге алынатын портативті спирометр тұжырымдамасын жасау кезінде аналогтар ретінде таңдалды.

2.1 – Кесте

Атауы	Шығын өлшеу диапазоны л/с	Көлемді өлшеу диапазоны, л	Өлшеу қателіктері	Сыртқы тыныстың көрсеткіш саны	Аспаптың масса габаритті көрсеткіштері	Қосымша функциялары және аспаптың ерекшеліктері
Spirobank MIR (Италия)	±16	0,1–10	Көлем бойынша – 3% Ағын жылдамдығы бойынша – 5%	26	Өлшемі: 162x49x34 мм; Массасы: 180г	1 Екі бағытты датчик 2 ДКмен байланыс немесе RS232 және USB хаттамасы бойынша принтермен байланыс 3 Нәтижелерді жадыға сақтау 4 Тиісті мәндермен салыстыру. Қосымша өлшеу - қоршаған ортаның температурасы

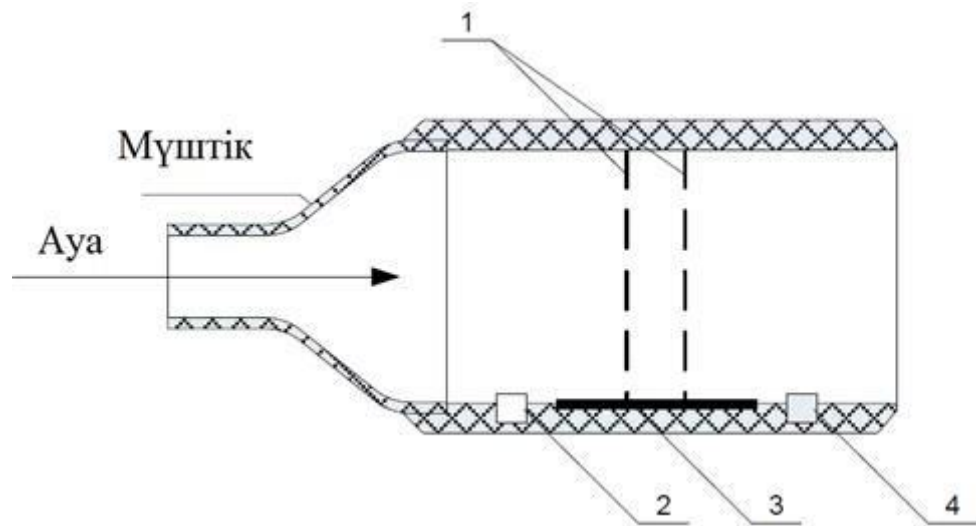
Spirobank II MIR (Италия)	±16	0,1–10	Объема – 3% Скорости потока – 5%	26	Размер: 145x60x30 мм; Масса: 180г	1 Екі бағытты датчик 2 ДКмен байланыс немесе RS232 және USB хаттамасы бойынша принтермен байланыс 3 Тиісті мәндермен салыстыру 4 Нәтижелерді жадыға сақтау 5 Графикалы сұйықкристалды дисплей. Қосымша өлшеу - қоршаған ортаның температурасы, оксиметрияны ұзақ жазу, жүрек соғысының жиілігі
---------------------------------	-----	--------	--	----	---	---

2.2 Портативті спирометр үшін датчикті таңдау

Портативті құрылғының массасы мен өлшемдері, сондай-ақ оның әсеріне (соның бірі санитарлық өңдеу) тұрақтылығы және дәлдігі асаптағы датчикке байланысты. Бактерицидті сүзгілерді қолдану санитарлық тазартуды жеңілдетеді, бірақ өлшеу арнасына қосымша қарсылық енгізеді, осылайша құрылғының дәлдігін төмендетеді.

Датчикті шығынының негізгі техникалық параметрлеріне мыналар жатады: сезімталдық, өлшеу қателігі, сипаттамалардың сызықтығы, пневматикалық кедергі шамасы, жылдамдық пен сенімділік, ағынның бағытын анықтау мүмкіндігі.

Көбінесе, спирометрия жабдықтарында (стационарлық және портативті) дифференциалды манометр әдісіне негізделген айнымалы дифференциалды қысым датчиктері қолданылады (2.1- сурет). Осы типтегі датчиктер - Fleisch және Lilly түтіктері. Датчиктің негізгі компоненттері - бұл белгілі бір кедергісі бар пневматикалық резистивті элемент 1 (түтіктер жиынтығы, тор) және екі қысым датчигінен тұратын (суретте 2 және 4) немесе бір дифференциалды қысым датчигінен тұратын дифференциалды манометр. Ауа ағыны резистивті элементтен өткен кезде оған қысымның төмендеуі пайда болады, ол дифференциалды манометрмен жазылады. Ағынның жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, қысым айырмасы соғұрлым көп болады (тұрақты ағынға төзімділік кезінде).



Сурет 2.1 – Айнымалы дифференциалды қысым датчиктері

- 1 – пневматикалық резистивті элемент (түтіктер жиынтығы, тор),
- 3 – қыздыру элементі,
- 2, 4 – қысым датчигі.

Мұндай датчиктердің кемшілігі - резистивті элементтің ылғал конденсациясы. Бұған жол бермеу үшін датчикті қыздыру элементін (суретте 3 позиция) пайдалану арқылы 35-40 °С температураға дейін қыздырылады (2.1 сурет). Бұл, өз кезегінде, портативті құрылғыда қажет емес қосымша қуат тұтыну қажеттілігіне әкеледі. Сонымен қатар, іске қосылған сәттен бастап зерттеу жүргізу мүмкіндігіне дейінгі кідіріс 10-15 минутты құрайды.

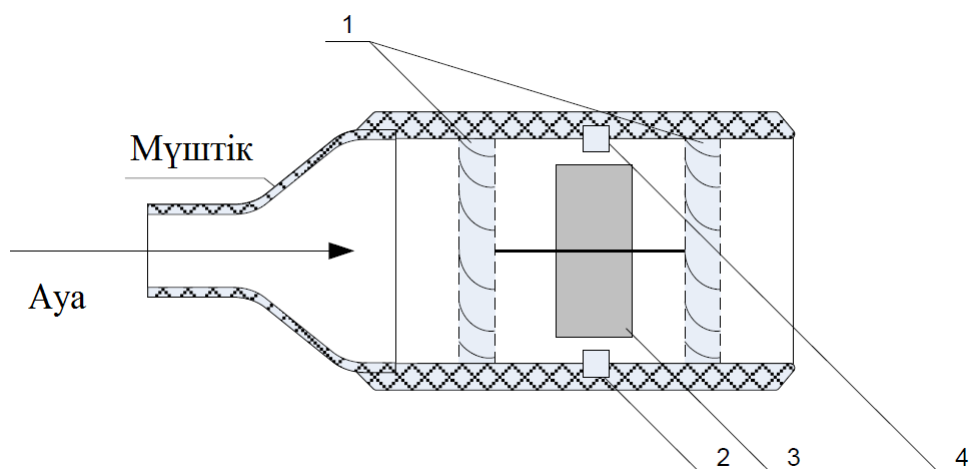
Жиі санитарлық тазарту немесе резистивті элементке шырыштың түсуі сенсордың сенімділігінің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі, ал оның берілу сипаттамасының сызықтық еместігі өлшеу нәтижелерін өңдеуді қиындатады.

Қазіргі уақытта жоғары сезімталдыққа ие электр қысымының датчиктерінің пайда болуына байланысты өлшеу арнасының пневматикалық кедергісін төмендетуге болады.

Айнымалы дифференциалды қысым датчиктерінің артықшылықтарына жоғары сезімталдық пен жылдамдық, өлшеудің төмен қателігі және ауа ағынының бағытын анықтау мүмкіндігі жатады.

Келесі, көлемдік жылдамдықты турбиналық өлшеуіштерді спирометрлерде қолданылады, онда ауа ағыны қозғалатын элементтің айналуына әкеледі (тахометриялық шығын мөлшерін өлшеу). Оптикалық және индуктивті турбина датчиктері болып екіге ажыратады. 2.2-суретте келесі элементтерден тұратын оптикалық турбина датчигі көрсетілген: ауа ағынына айналмалы қозғалыс беретін бағыттаушы қалақты аспап (направляющие крыльчатки) - 1, фото элемент - 2, айналмалы тақта - 3 және фотоқабылдағыш - 4. Ауа ағынының электрлік импульс тізбегіне айналуы фототаратқыштан фотоқабылдағышқа түсетін инфрақызыл диапазонның электромагнитті сәуленің айналмалы тақтасы көмегімен модуляция жолымен орындалады. Пластинаның

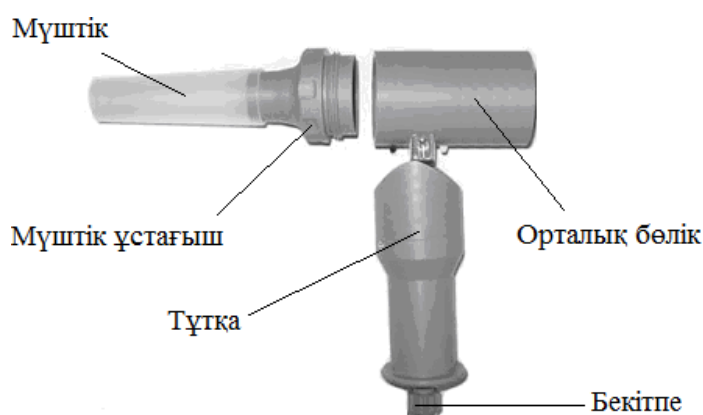
айналу жылдамдығы ауа ағынының жылдамдығына пропорционалды, ал айналым саны оның көлеміне пропорционалды.



Сурет 2.2 - Турбина типті датчик

- 1 – ауа ағынына айналы қозғалыс беретін бағыттаушы қалақты аспап,
- 2 – фотосәулелендіргіш,
- 3 – айналы тақта,
- 4 – фотоқабылдағыш.

Турбиналық датчиктердің кемшіліктері, төмен жылдамдықта және зарарсыздандырудың күрделілігінде, өйткені дөңгелектер мен пластинадағы механикалық кернеулер олардың бұзылуына әкелуі мүмкін, бұл датчиктің сенімділігін төмендетеді.



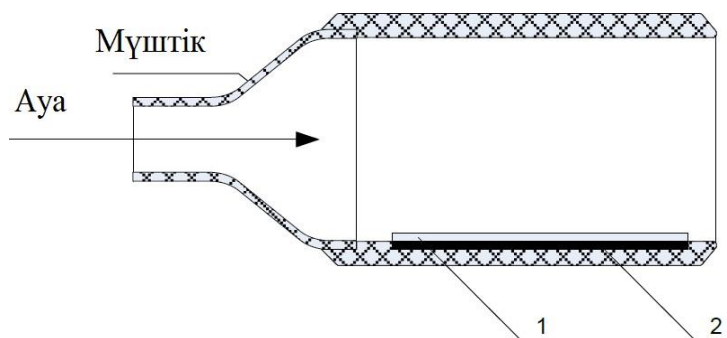
Сурет 2.2.1 – Спирометр түтікшесі

Осы типтегі датчиктердің артықшылықтарына мыналар жатады: тасымалдау сипаттамасының сызықтығы, жақсы салмақ пен өлшемдер,

өлшеудің жоғары дәлдігі және ауа ағынының бағытын анықтау мүмкіндігі. Коммерциялық қол жетімді датчиктердің заманауи модельдері төмен пневматикалық қарсылыққа және жоғары сезімталдыққа ие.

Термокондуктометрлік датчиктер спирометрияда сирек қолданылады. Олардың жұмыс принципі ауа ағынымен салқындатылған қыздырылған термистордың электр кедергісін өзгерту әсеріне негізделген.

Термокондуктометрлік датчиктер суреті төменде көрсетілген: мұндағы 1 - терморезистор, 2 - қыздыру элементі.



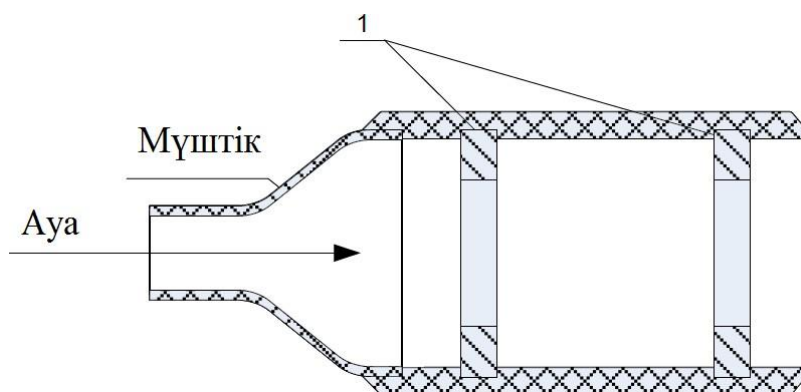
Сурет 2.3 - Термокондуктометрлік датчик

- 1 –терморезистор,
- 2 – қыздыру элементі.

Терморезистордың салқындау дәрежесі өтетін ауаның жылдамдығы мен температурасына байланысты. Термокондуктометриялық датчиктің кемшіліктері - тасымалдау сипаттамасының сызықтық еместігі, жоғары инерция, төмен сезімталдық пен дәлдік, ауа ағынының бағытын анықтай алмау. Сонымен қатар, терморезистор санитарлық-гигиеналық және механикалық зақымдануларға өте тұрақсыз, сондықтан датчик төмен сенімділікке ие.

Осы типтегі датчиктердің артықшылықтарына ауа ағынына өте төмен қарсылық жатады.

Қазіргі уақытта ультрадыбыстық датчиктерді портативті спирометрлерде қолдануға тырысуда. Бұл датчиктердің жұмысы доплерлік эффектке негізделген және ультрадыбыстық сәуле шығарғыштар мен қабылдағыштар ретінде өлшеу каналына перпендикуляр бір-бірінен қашықтықта орналасқан пьезокерамикалық сақиналар қолданылады (2.4-сурет).



Сурет 2.4 - Ультрадыбыстық датчиктер

1 – пьезокерамикалық сақиналар

Ультрадыбыстық датчиктердің негізгі жетіспеушілігі төмен дәлдік пен сезімталдықта, әсіресе төмен шығын деңгейлерінде. Сондай-ақ, мұндай датчиктер сызықтық емес беру сипаттамасына ие. Артықшылығы - керемет динамикалық сипаттамалар және төмен ағынға төзімділік. Сонымен қатар, датчиктердің бұл түрі дезинфекция мен санитарлық тазартуды және ауа ағынының бағытын анықтауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда келтірілген датчиктердің артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстыра отырып, келесі қорытынды жасауға болады: портативті құрылғыда тахометриялық әдісті қолданған және турбиналық типтегі датчикті қолданған жөн. Мұндай датчиктің сызықтық сипаттамасы бар, пневматикалық төзімділігі төмен және жоғары дәлдікті, массагабаритті көрсеткіштері жақсы. Сонымен қатар, датчиктің бұл түрі тыныс алу және тыныс шығару кездерінде де өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Өлшеу нәтижелерін бағдарламалық-математикалық түзету инерция әсерін ескеруге мүмкіндік береді, ал бір реттік ауыстырылатын турбиналарды қолдану инфекцияның науқас пациенттен сау адамға өтуін болдырмайды. Қорытындылай келе, тапсырма бойынша жасалынатын портативті спирометріме турбиналық типтегі датчикті таңдаймын.

2.3 Спирометрдің техникалық сипаттамалары

Спирометр - бұл адамның жоғары қан қысымын зерттеуге арналған портативті сандық спирометр. Спирометр кез-келген деңгейдегі медициналық мекемелерде, сондай-ақ науқастың үйінде өкпенің желдету функциясын зерттеу үшін қолданыла алады.

Кесте 2.2 Сандық портативті спирометрінің техникалық параметрлері

Көрсеткіштер	Өлш.бірлігі	Мәні
Тыныс алу кедергісі	кПа/л*с	0,077
Елеу шегі	л/с	0,02
Ағын жылдамдығын өлшеу диапазонының жоғарғы шегі	л/с	14
Көлем өлшеу диапазонының жоғарғы шегі	л	8
Ағын жылдамдығын өлшеудің қателігі	%	3
Көлем өлшеудің қателігі	%	3
20 Гц-ке дейінгі жиілік диапазонындағы АЖС сызықты еместігі	%	5

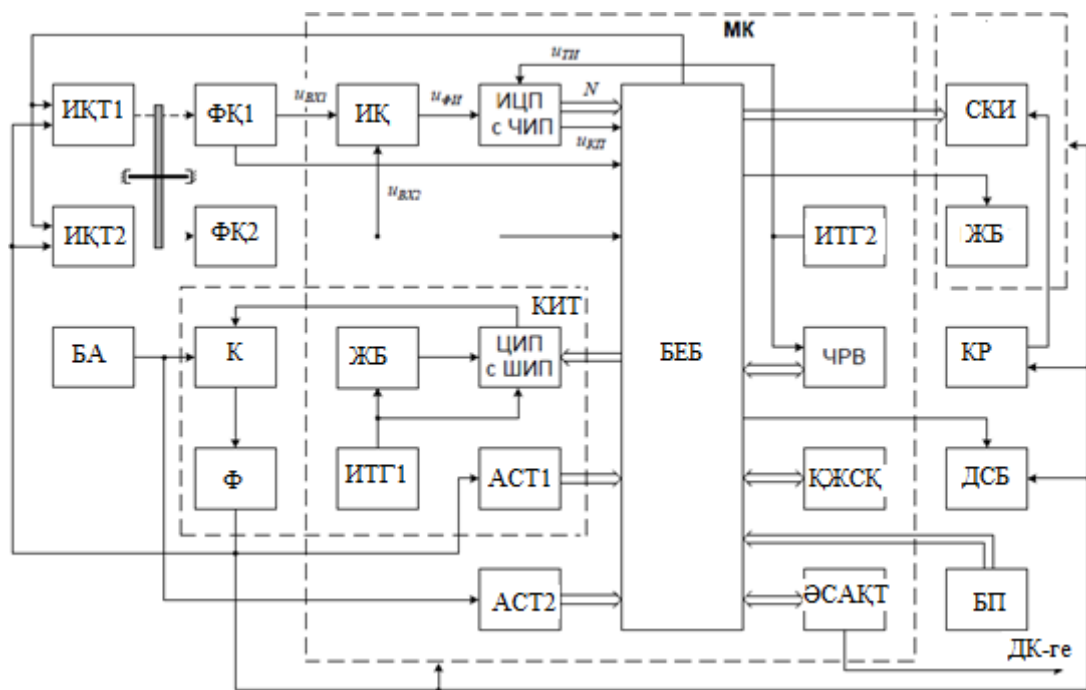


Сурет 2.5 – Бір ретті (1) және көп ретті (2) турбиналарының сыртқы бейнесі

Спирометрге ұзақ мерзімді пайдалану үшін көп реттік турбинасын немесе бір пациент пайдаланатын бір реттік турбинаны қолдануға болады. Спирометрде қуаттағыш ретінде қуаты 2300 мА/ сағ және номиналды кернеуі 1,2 В болатын екі АА гальваникалық элементтер қолданылады. Спирометрдің техникалық параметрлері жоғарыдағы кестеде келтірілген.

2.4 Спирометрдің жұмыс істеу принципі және оның құрылымы

Спирометрдің жұмыс істеу принципі турбина ағынының түрлендіргішін қолдана отырып, ауа ағынын электрлік импульстар тізбегіне айналдыруға негізделген. Бұл түрлендіру инфрақызыл диапазонының электромагниттік сәулеленуді эмитенттен қабылдағышқа ротор қалақтарын қолдану арқылы модуляциялау арқылы жүзеге асырылады.



Сурет 2.6 – Сандық портативті спиромердің функционалдық сызбасы

Инфрақызыл сәулелену көздері ретінде 2.8-суретте көрсетілген сұлбаға сәйкес, турбинаның ортасына қатысты асимметриялы орналасқан екі жарықдиодты сәулелендіргіш (ИКИ1 және ИКИ2) қызмет етеді. Екі сәулелендіргіштің болуы, сондай-ақ олардың асимметриялық орналасуы ротордың айналу бағытын, демек, тыныс алу мен тыныс шығаруды ажыратуға мүмкіндік беретін ауа ағынының бағытын анықтау қажеттілігіне байланысты. Фотоқабылдағыштар (ФП1 және ФП2) сәуле шығарғыштарға ротордың айналып тұрған желектері оптикалық жұптардың әрқайсысының сәулеленуін үзетіндей қарама-қарсы орналасқан (ИКИ1-ФП1 және ИКИ2-ФП2).

Негізгі медициналық-техникалық талаптар қалыптастырылып, портативті спиромердің 2.6 суретінің функционалды схемасы жасалды.

Құрылғының жұмыс принципі турбина ағынының түрлендіргішін қолдана отырып, ауа ағынын электрлік импульстар тізбегіне айналдыруға негізделген. Бұл түрлендіру ротордың жүздері арқылы таратқыштан қабылдағышқа инфрақызыл электромагниттік сәулеленуді модуляциялау арқылы жүзеге асырылады.

Инфрақызыл сәулелену көзі - турбина центріне қатысты асимметриялы орналасқан екі жарықдиодты сәулелендіргіш. Екі сәулелендіргіштің болуы, сондай-ақ олардың асимметриялық орналасуы ротордың айналу бағытын, демек, тыныс алу мен дем шығаруды ажыратуға мүмкіндік беретін ауа ағынының бағытын анықтау қажеттілігіне байланысты. Фотодетекторлар сәулелендіргіштерге қарама-қарсы орналасқан, айналмалы ротор қалақтары оптикалық жұптардың әрқайсысының сәулеленуін тоқтатады.

Фотодетекторлардан $u_{\text{кп}1}$ және $u_{\text{кп}2}$ электрлік импульстарының тізбегі импульстік пішіндеушіге беріледі, мұнда олардың фронттары мен кесінділері бойымен $u_{\text{Г}}$ қысқа импульстері түзіледі.

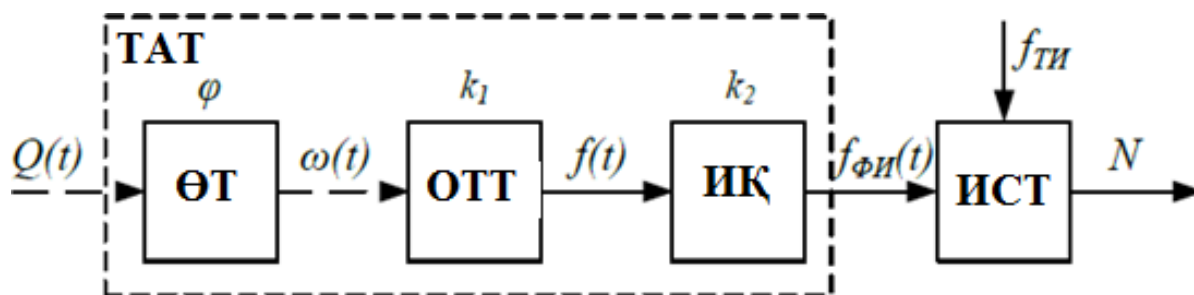
Тест нәтижелері, пациенттер туралы мәліметтер, сондай-ақ сәйкес мәндері бар кестелер тұрақты қайта жазылатын жадта сақталады. Дербес компьютермен байланысты ұйымдастыру үшін құрылғыда әмбебап синхронды-асинхронды қабылдағыш-таратқыш қолданылады. Құрылғы компьютерге гальваникалық изоляциясы бар арнайы кабельді пайдаланып қосылады.

Стандарттардың талаптарына жету және портативті спирометрдің техникалық параметрлерін жақсарту үшін жұмыс барысында өлшенетін шаманың сынама алу аралықтарын азайту әдісі ұсынылды және негізделген, бұл сезімталдықтың жоғарылауына әкелді және кіріс сигналының жиілік өткізу қабілеттілігін кеңейту. ТАТ турбинасының конверсиялық дәлдігін арттыру үшін жұмыс кезінде өзгеретін ағымдағы жағдайды ескере отырып, аспаптық қателікті азайтудың адаптивті әдісі жасалды.

2.5 Өлшеудің тахометриялық әдісі

Шығынды өлшеудің тахометриялық өлшеу әдісі қозғалатын ағынның көлемдік жылдамдығын ротордың айналуына түрленуі, одан кейін оның бұрыштық жылдамдығын өлшеуді қамтиды. Турбина ағынының түрлендіргішінде ТАТ (ТПП турбинном преобразователе потока) іске асырылатын спирометриялық құрылғының өлшеу каналы тізбектей жалғанған өлшеу түрлендіргіштерінің тізбегі болып табылады.

Жоғарыдағы талдауларды ескере отырып, сандық портативті спирометрдің өлшеу бөлігінің сызбасы (2.7-сурет) ұсынылды және қарастырылды. Бұл схеманың ерекшелігі оптикалық тахометриялық түрлендіргішті ОТТ (оптического тахометрического преобразователя ОТП) қолдану болып табылады.



Сурет 12.7 – Турбина ағынының түрлендіргіші бар спирометрдің өлшеубөлігінің құрылымдық сұлбасы

ТАТ – Турбина ағынының түрлендіргіші;

ОТТ – Оптикалық тахометриялық түрлендіргіш;
ӨТ – Өлшеу турбинысы;
ИҚ – Импульсті қалыптастырғыш;
ИСТ – Импульсті санды түрлендіргіш.

Өлшеу турбинысы (ИТ) ауа ағынының жылдамдығын $Q(t)$ ротордың айналуының $\omega(t)$ бұрыштық жылдамдығына айналдырады және бастапқы ақпарат түрлендіргіші болып табылады. Бұл кезеңде беріліс сипаттамасы сызықтық ретінде қабылданады. Оптикалық тахометриялық түрлендіргішті ОТТ (оптического тахометрического преобразователя ОТП) пластинаның айналуын электр сигналына айналдырады, жиілігі $f(t)$ болатын t -ға пропорционалды:

$$f(t) = \frac{\omega(t) \cdot k_1}{2 \cdot \pi} \quad (2.1)$$

мұндағы k_1 - оптикалық тахометриялық түрлендіргіштің коэффициенті.

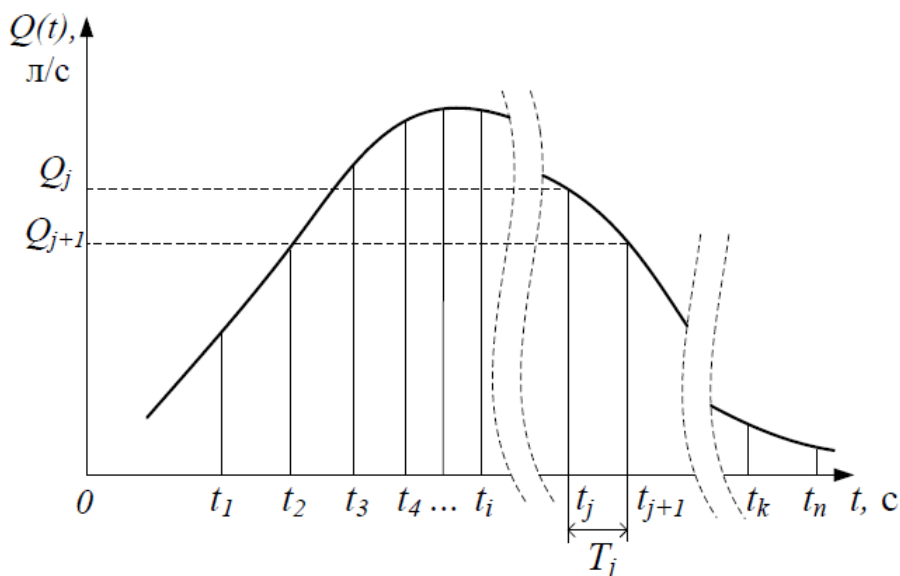
Импульстік қалыптастырғыш (ФИ) оптикалық тахометриялық түрлендіргіштің шығысындағы электр сигналын жиілігі $f_{\text{ФИ}}(t)$ болатындай тең қысқа тікбұрышты импульстер тізбегіне айналдырады:

$$f_{\text{ИҚ}}(t) = f(t) \cdot k_2, \quad (2.2)$$

мұндағы k_2 – импульстік қалыптастырғыштың коэффициенті.

Егер өлшеу турбинысы ӨТ (ИТ) негізгі өлшеу түрлендіргіші ретінде қабылданса, онда оптикалық тахометриялық түрлендіргіш және импульстік қалыптастырғыш бірге екінші ретті болады.

Сонымен, 2.7- суретте көрсетілген өлшеу жүйесіндегі $f_{\text{ФИ}}(t)$ жиілігі - бұл дискреттеу жиілігі болып табылады.



Сурет 2.8 – Ағынды турбинді түрлендіргішінің жұмыс принципі

Ротордың бір айналымынан өткен ауа көлемі өлшеу турбинасының v беріліс коэффициенті мәнінің өзара қатынасы болып табылады.

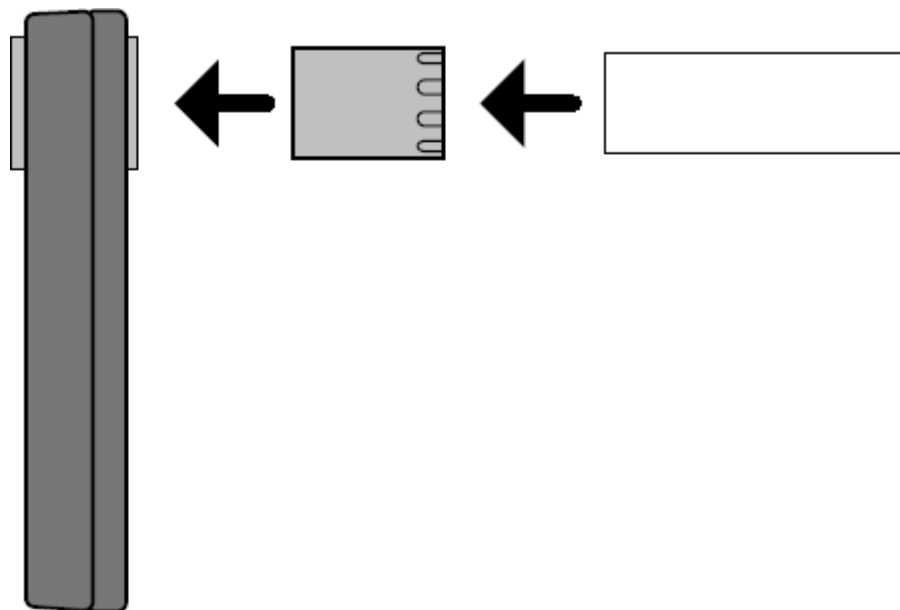
Тізбектегі импульстің қайталану периодын анықтау үшін жиілік-импульстік конверсия заңы бар импульстен цифрлық түрлендіргіш қолданылады. Конверсия классикалық дәйекті санау әдісін қолдана отырып жүзеге асырылады, оның мәні уақыт кезеңінде санаушымен сағат импульсін санау болып табылады.

N санының цифрлық коды есептеу және басқару блогына беріледі, мұнда ауа ағынының жылдамдығының жедел және орташа мәндері оның қызметінде анықталады. Сондай-ақ, генераторының көмегімен спирометрде нақты уақыт сағаты жұмыс істейді.

Спирометрді басқару А, В, С, D төрт батырмасы бар басқару панелінің көмегімен жүзеге асырылады, тестілеу процесі туралы ақпаратты бейнелеу үшін ақпаратты көрсету блогы қолданылады. Сұйық кристалды индикаторды және артқы жарық бөлігін қамтиды. Контрастты реттегіштің көмегімен индикатордың қажетті контрастын реттейді. Жұмыс кезінде туындайтын кейбір жағдайларды дыбыстық көрсету үшін дыбыстық дабыл қондырғысы қолданылады.

Спирометр жалпы кернеуі кемінде 2,1 В болатын екі қайта зарядталатын батареядан импульстің енін модуляциялау әдісімен басқарылатын серпін түріндегі импульстің түрлендіргішімен жұмыс істейді. Сандық құрылғылардың жұмысына қажетті 5 В кернеу импульстік кернеу түрлендіргіші көмегімен жүзеге асырылады. VT1 транзисторында жасалған ажыратқыштың (К) шығыс кернеуінің пульсацияларын тегістеу C2-C3 конденсаторларында және L2 дросселинде іске асырылған (F) сүзгісімен қамтамасыз етілген. Басқару импульстарының ұзақтығын қалыптастыру импульстің ені бойынша конверсия заңымен сандық-импульстік түрлендіргішпен жүзеге асырылады. Басқару импульстерінің қайталану жылдамдығы (20 кГц) жиілік бөлгіштің бөліну

коэффициентімен анықталады. Тактілеуді импульстік жиілігі 1 МГц жиіліктегі генератор (GTI1) жүзеге асырады. Бақылау импульстарының ені ағымдағы деңгейін ескере отырып анықталады. Шығыс кернеуі аналогты-санды түрлендіргіштің көмегімен бақыланады. Батарея зарядының деңгейі аналогты-сандық түрлендірулерінің көмегімен анықталады. Осылайша, спирометр екі кернеу деңгейін бақылайды: аккумулятор батареяларының кернеуі және шығыс кернеуі. Осындай техникалық шешімді қолдану салмақ пен өлшемдерге және спирометрдің энергияны аз тұтынуына қол жеткізді.



Сурет 2.9 – Турбина датчик пен мүштіктің қосылу схемасы



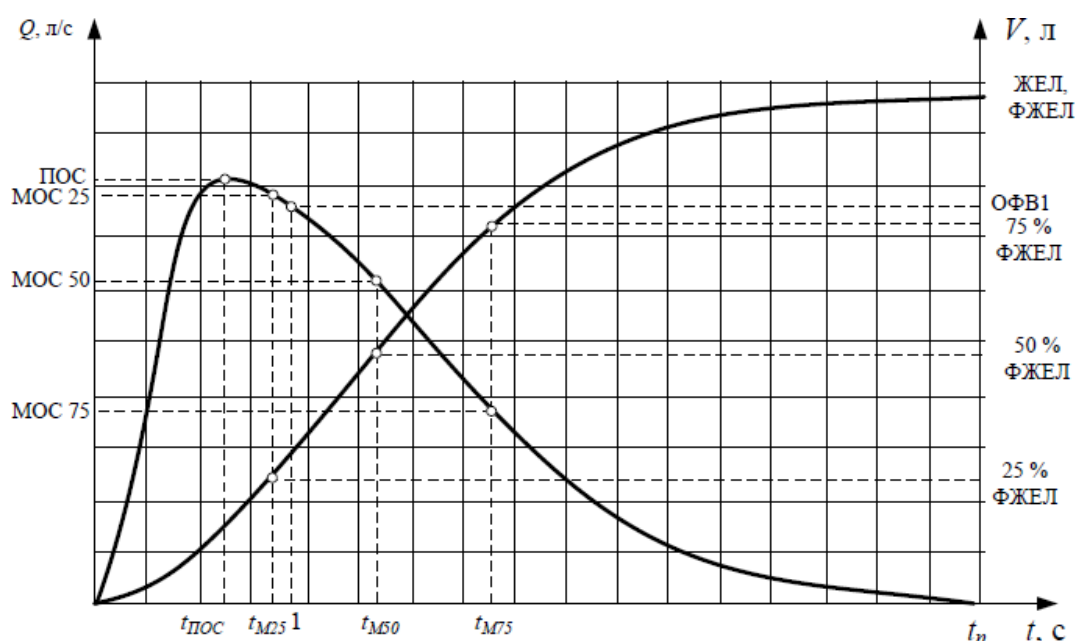
Сурет 2.10 – Турбиналық датчик

Тест нәтижелері, пациенттер туралы мәліметтер, сондай-ақ тиісті мәндердің жоғарыда келтірілген мәндері бар кестелер тек оқуға болатын жадта сақталады. Дербес компьютермен байланысты ұйымдастыру үшін спирометрде

әмбебап синхронды-асинхронды қабылдағыш-таратқыш қолданылады. Спирометр гальваникалық оқшаулау бар арнайы кабель арқылы компьютерге қосылады. Дербес компьютермен байланыс RS232 хаттамасы арқылы жүзеге асырылады.

2.6 Бағдарламалы-математикалы қамтамассыздандыру

Жобаланған спирометр сыртқы тыныс алу функциясының келесі параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді: ӨТС, ӨКӨҚ, ШКЖ, индекс Тиффно, индекс Генслера, ПОС, ЛКЖ 25, ЛКЖ 50, ЛКЖ 75, ОКЖ 25-75. Осы параметрлердің барлығын $Q(t)$ және $V(t)$ қисықтарын талдау негізінде анықтауға болады (2.9 сурет).



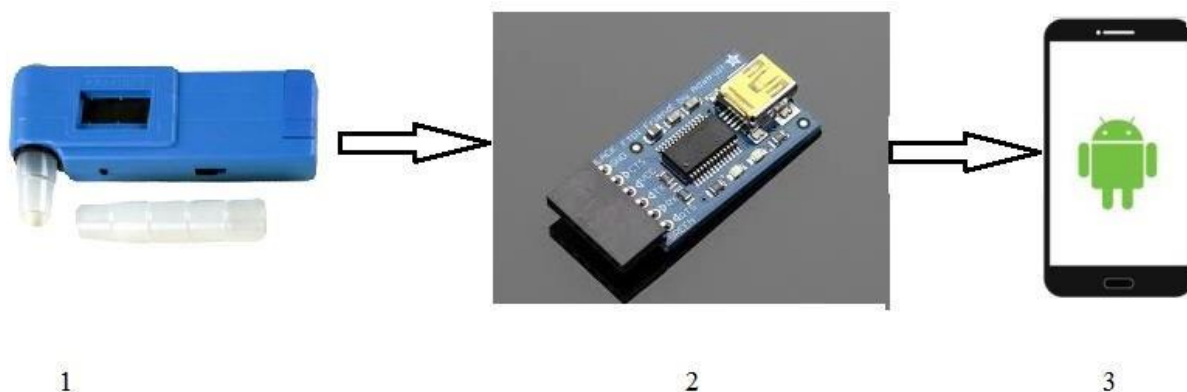
Сурет 2.9 – Сыртқы тыныс алу функциясының негізгі көрсеткіштерін графикалы анықтау

2.7 Өлшеу жүргізу және нәтижелерді өңдеу

Өлшеу пациент дем алатын өлшеу түтігі арқылы жасалады. Өлшеу түтігінен алынған деректер сериялық порт арқылы FTDI аппараттық көпіріне жіберіледі, ол өз кезегінде оларды портативті құрылғыға (смартфон, планшет) жеткізеді. Алынған мәліметтер портативті құрылғымен өңделеді, содан кейін экранда нақты уақыт режимінде медициналық хаттамаларды көрсетіледі.

Көрсетілген хаттамаларға мыналар кіреді: көлемнің (л) және ағынның (л/с) тәуелділік кестесі; өкпенің желдетілуін және бронх өткізгіштігін сипаттайтын көрсеткіштер; дәрігердің растауын талап ететін алдын ала диагноз. Зерттеудің

барлық нәтижелері деректер базасында сақталады, бұл пациенттің денсаулық жағдайының динамикасын одан әрі бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 2.10 – Портативті спирометриялық құрылғының құрылымдық схемасы

- 1 – өлшеу трубкасы,
- 2 – FTDI аппаратты көпір,
- 3 – смартфон.

FTDI (Future Technology Devices International) — RS-232 немесе TTL деңгейлері бойынша деректерді сериялық беруді USB шинасының сигналдарына түрлендіру үшін құрылғылар мен тиісті бағдарламалық драйверлерді әзірлейтін, өндіретін және қолдауды жүзеге асыратын шотландтық компания. Бұл заманауи компьютерлерге қарапайым классикалық RS-232 интерфейсін қолдануға мүмкіндік береді, ал әзірлеушілерге USB интерфейсінің күрделілігін білмеуге мүмкіндік береді.

Әзірленіп жатқан қосымшада Android платформасына арналған D2XX FTDI драйвері қолданылады, ол іс жүзінде Android USB API-ге қаптама болып табылады және келесі пәрмендер арқылы өлшеу түтігімен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді:

Purge (кіріс және шығыс буферлерін тазарту); Read (порттан деректерді оқу); Write (портқа деректерді жазу); Open (портты ашу); Close (портты жабу); SetBaudRate (порт жылдамдығын орнату); SetDataCharacteristics (байт ұзындығы, тоқтату биттерінің саны және т.б. сияқты порт параметрлерін орнату); SetFlowControl (ағынды аппараттық және бағдарламалық басқару режимін орнату); SetLatency (пакеттерді жіберу таймерін орнату).

Бұл мүмкіндіктерді іске асыру және тиісті кітапхана платформаға байланысты келеді, бұл әр түрлі портативті құрылғыларда құрылғымен жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Флейша түтігінің ішінде қысым айырмашылығының көмегімен ауа ағынын (л/с) өлшеуге мүмкіндік беретін металл тор бар. Ағын квадрат теңдеудің көмегімен есептеледі, оның коэффициенттері құрылғыны калибрлеу процесінде алынады. Көлемі ағынмен есептеледі.

Шу деңгейін төмендету үшін алынған сигнал медианалық сүзгі арқылы сүзіледі. Сүзгі терезесінің ішіндегі санақ мәндері өсу (кему) тәртібімен сұрыпталады; реттелген тізімнің ортасындағы мән сүзгінің шығысына түседі. Терезеде санаулы сан болса, сүзгінің шығыс мәні тапсырыс берілген тізімнің ортасындағы екі санақтың орташа мәніне тең болады.

Әрі қарай, бағдарлама BTPS коэффициенттерін есептейді. BTPS (Body Temperature and Pressure saturated) – өлшенетін көлемдер мен ағындарды дем шығаратын ауаның салқындауы мен оның ылғалдылығының өзгеруін есепке алу арқылы түзету әдістемесі. Түзету коэффициенті аспапқа кірген кезде пациент шығарған ауа лезде салқындатылады деген болжамға сүйене отырып есептеледі.

Көлемнің (л) ағынға (л/с) тәуелділігінің түзетілген функциясын алғаннан кейін, қосымша нақты тест негізінде оның мәндерін талдайды, оның экстремумдарын және медициналық хаттамалар түрінде зерттеу нәтижелерін визуализациялау үшін қажетті басқа көрсеткіштерді есептейді.

3 Практикалық бөлім

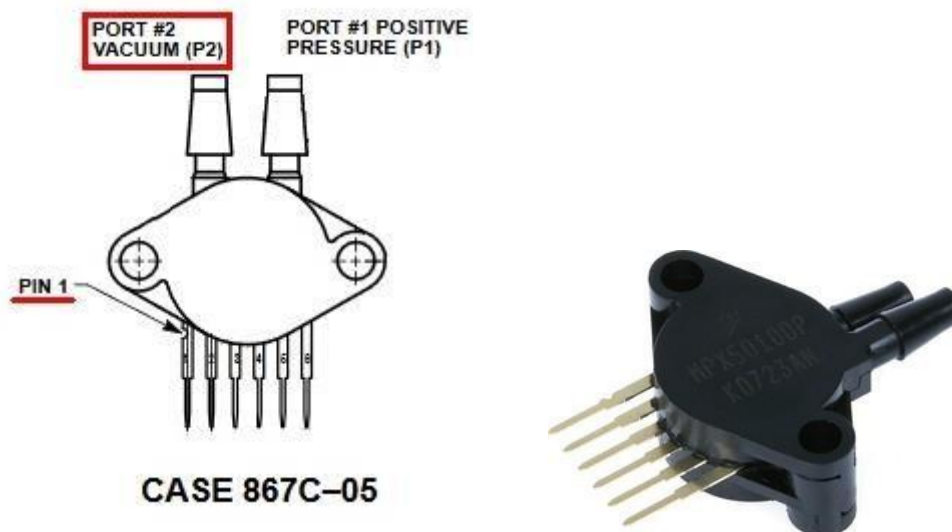
3.1 Arduino-да спирометр құрылғысын құрастыру

Осы бөлімде мен Arduino мен қысым датчигын қолдана отырып, өте қарапайым спирометрды жасауды қарастырайық.

Arduino Nano көмегімен **MPX5010DP** ауа қысымының датчигын қолданамыз. Ауаны түтікке шығарған кезде датчик деректерді жинап, Arduino Nano-ға жібереді. Дәл нәтиже алу үшін бастапқы орнатудан кейін калибрлеу жеткілікті.

Arduino негізінде спирометр жасау үшін келесі компоненттер қажет:

- Arduino Nano платасы;
- MPX5010DP қысым датчигы;
- CҚ-дисплей 16*2 I2c;
- Қосып-ажыратқыштар;
- Түтіктер.



Сурет 3.1 – MPX5010DP қысым датчигы

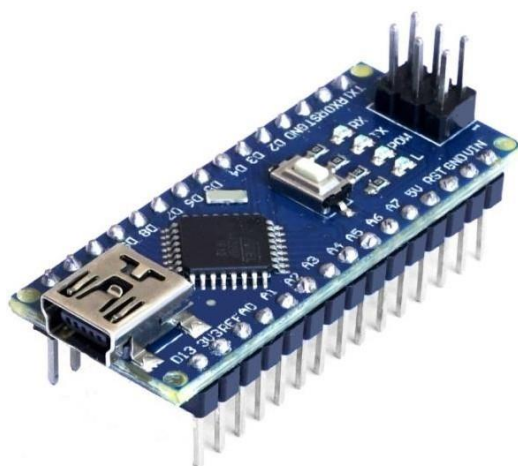
Температура компенсациясы, калибрлеу және күшейткіші бар қысым датчиктері.

Корпус түрі CASE 867c

Кернеуі, В 5.0...±0.25

жұмыс температурасы, °C -40...+ 125

Термокомпенсация диапазоны, °C 0...+125



Сурет 3.2 – Arduino Nano платасы

Arduino Nano барлық Arduino тақталарының ең танымал контроллері. Басқа Arduino тақталарынан ол кішкентай өлшемдермен және түйреуіштердің ыңғайлы орналасуымен ерекшеленеді. Функционалдығы бойынша Nano V. 3 Arduino UNO-дан еш айырмашылығы жоқ, тіпті одан да артықшылықтары бар.

Arduino Nano қолдану ауқымы өте кең, қарапайым роботтардан бастап ғарыштық спутниктерге дейін (ArduSat). Arduino-да 3D принтерлер, ақылды үйлер, басқару жүйелері және басқа да көптеген жобалары бар.

Nano сипаттамасы:

Платадағы шығыстар саны: 32 шт.

Шығыстар қадамы: 2,54 мм

Микроконтроллер: ATmega328P-AU

Тактылы жиілігі 16 MHz

Агналлогты кірісі A0 - A7: 8

Шығысындағы тұрақты тогы: 40 mA

RAM ОСҚ: 2 Кб

EEPROM жады: 1 Кб

Орнатылған тұрақтандырғышсыз қуат кернеуі: 5 В

Кіріс кернеуі : 6 - 20 В

LED индикаторы: (TX), (RX), (L), (Power)

Дербес компьютермен және бағдарламалау үшін арналған mini-USB разъемы

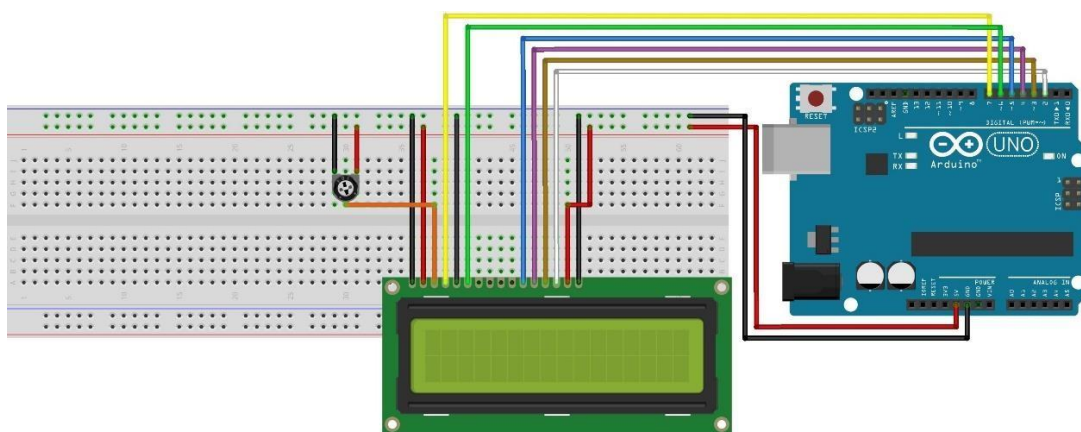
Платы өлшемі: 45 x 18 мм



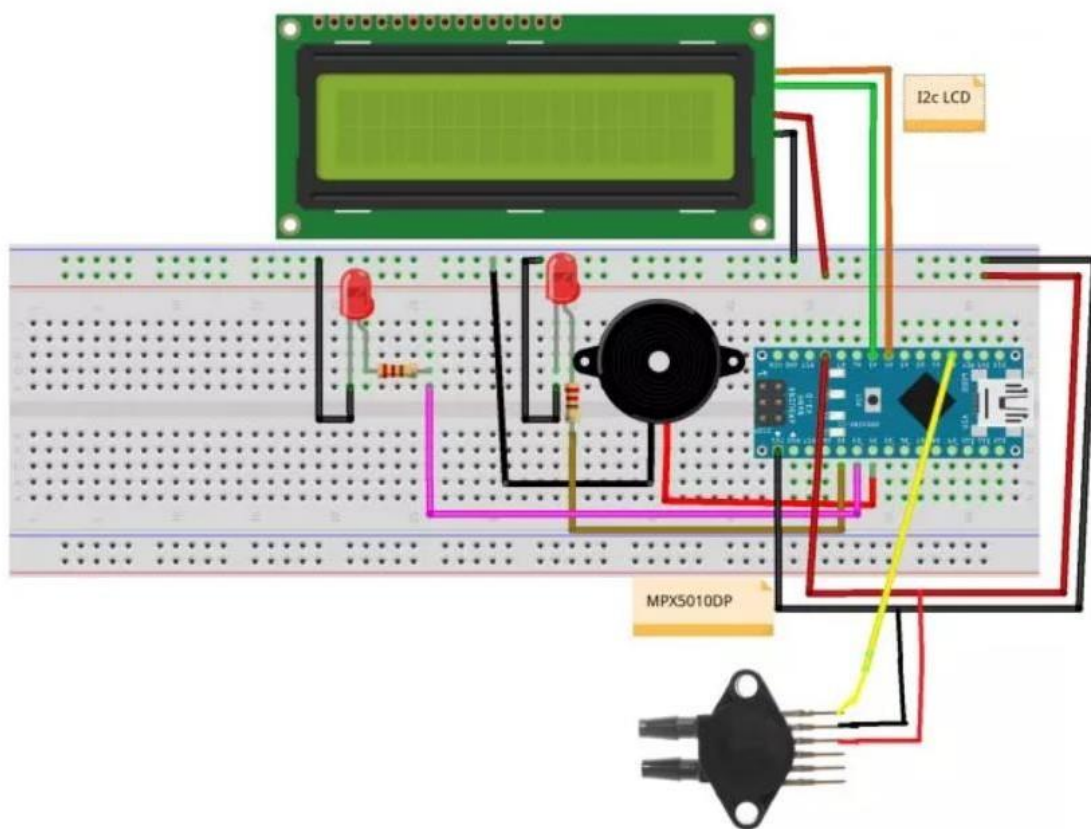
Сурет 3.3 – LCD 1602 дисплейі

16×2 мәтіндік экран датчиктерден ақпаратты шығару, мәзірді немесе кеңестерді көрсету үшін қолданылады. Экранда өлшемі 5×8 пиксель болатын қара таңбалар көрсетіледі. Кірістеріне жарықтандыру модульдің түйреуіштеріне қуат беру арқылы қосылады. ЖК модулі 16×2 мәтіндік дисплей микроконтроллерге 16 қосқыш арқылы қосылады.

Arduino LCD дисплейі датчиктерден деректерді визуалды түрде көрсетуге мүмкіндік береді.



Сурет 3.4 – 16×2 мәтін экранын Ардуиноға қосу схемасы



Сурет 3.5 – Қарапайым спирометрді Arduino-да жинау

Түтікке ауаны 5 (бес) секундқа үрлеу керек. Содан кейін сұйық кристалды экранында спирометрдің нәтижесін тексеруге болады. Тест аяқталғаннан кейін құрылғыны жаңа тестке қайта қосу үшін қалпына келтіру түймесін басуға болады.

ҚОРТЫНДЫ

Заттар интернетінің дамуымен смартфонға немесе планшетке қосылатын және мобильді қосымшаны қолдана отырып, адам ағзасының өмірлік белсенділігінің көрсеткіштерін дәл өлшеуге мүмкіндік беретін шағын портативті құрылғыларға қажеттілік туындады және жүзеге асырылады. Осы құрылғылардың ішінде спирометрлерді бөліп көрсетуге болады, ол – сыртқы тыныс алу функциясын, соның ішінде тыныс алудың көлемдік және жылдамдық көрсеткіштерін өлшеуге мүмкіндік беретін медициналық құрылғылар. Спирометрия әртүрлі ауруларды диагностикалауға көмектеседі (бронх демікпесі, өкпенің созылмалы обструктивті ауруы және т.б.), сонымен қатар кәсіби аурулардағы тыныс алу аппаратының жағдайын бағалауға мүмкіндік береді.

Спирометрияға арналған аппараттық құралдарды дамытудың заманауи тенденциялары микропроцессорлық технологияның дамуының жалпы тенденцияларына сәйкес келеді. Соңғы жылдары микропроцессорлық құрылғылар құнының төмендеуі, олардың есептеу ресурстарының өсуі, жад көлемінің ұлғаюы және жалпы кішігірім портативті спирометрлердің бағаларын өзгертпестен олардың сапасын едәуір жақсартып алады. Қазіргі уақытта портативті спирометрлердің басым көпшілігі турбина датчиктерін немесе турбиналық ағын түрлендіргіштерін пайдаланады.

Жалпы алғанда, цифрлық портативті спирометр - бұл келесі негізгі қондырғыларды қамтитын автоматты құрылғы: датчик, ақпаратты өңдеу және сақтау блогы, ақпаратты көрсету блогы, басқару блогы және қоректендіру блогы.

Әр қондырғының техникалық сипаттамалары спирометрдің сапасына тұтастай әсер етеді. Медициналық техниканың сапасын «сапалы» деп атауға болатын сипаттамалар мен көрсеткіштер жиынтығы деп түсіну әдетке айналды. Бұл көрсеткіштерді халықаралық стандарттармен қалыпқа келтірілген медициналық және техникалық талаптардың параметрлерін талдаудан кейін анықтауға болады.

Портативті спирометриялық құрылғыларға қатысты «сапалы» көрсеткіштер болады, атап айтқанда, өлшенген ағындар мен көлемдер диапазоны, жиіліктің қажетті жиілік диапазонында сызықтық еместігі, ауа ағынына төзімділік, салыстырмалы өлшеу қателігінің шегі, жауап шегі, анықталған индикаторлар саны сыртқы тыныс алу, салмақ және өлшем көрсеткіштері, сонымен қатар қосымша функционалдық мүмкіндіктер.

Жүргізілген зерттеулер сыртқы тыныс алу функциясын тексеруге арналған портативті қондырғыны келесі негізгі міндеттерді атқаруға мүмкіндік береді:

- құрылғы сыртқы тыныс алу функциясының негізгі көрсеткіштерін өлшеу және есептеу, оларды тиісті шамалармен салыстыру және сақтау мүмкіндігін қамтамасыз етуі керек;
- оптикалық деректерді жинау қондырғысы бар турбиналық датчикті ауа ағынының электр сигналына бастапқы түрлендіргіші ретінде қолдану өте орынды;

- құрылғының өлшеу қателігі 3% -дан аспауы керек, бұл стандарттардың талаптарына сәйкес келеді;

- құрылғы скринингтік зерттеулерге де, жеке пайдалануға да ыңғайлы болуы керек, оның салмағы мен өлшемдері сақтау мен тасымалдаудың қарапайымдылығын қамтамасыз етуі керек;

- сынақ нәтижелерін толығырақ талдау және тіркеу үшін құрылғы дербес компьютерге немесе ұялы телефонға қосылуға тиіс.

Жоғарыда келтірілген бөлімде датчиктердің артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстыра отырып, портативті құрылғы спирометрде тахометриялық әдісті қолданған және турбиналық типтегі датчикті қолданған жөн екенін анықтадық. Мұндай датчиктің сызықтық сипаттамасы бар, пневматикалық төзімділігі төмен және жоғары дәлдікті, массагабаритті көрсеткіштері жақсы. Сонымен қатар, датчиктің бұл түрі тыныс алу және тыныс шығару кездерінде де өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Метелица Н. А. Спирометрия и спирография //Москва. - 1973.
- 2 Новик Г.А., Боричев А.В. Спирометрия и пикфлоуметрия при бронхиальной астме у детей //СПб.: ГПМА. - 2005.
- 3 Чикина С.Ю., Черняк А.В. Спирометрия в повседневной врачебной практике //Лечебное дело. - 2007. - №. 2.
- 4 Физиология человека. Под ред. Покровского В.М., Коротько Г.Ф. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: 2003
- 5 Старшов А.М., Смирнов И.В. Спирография для профессионалов. – М.: «Познавательная книга пресс», 2003
- 6 Гриппи М. Патофизиология легких: Пер. с англ. – М: БИНОМ, 1997
- 7 Клемент Р.Ф., Зильберт Н.А. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии: Методические рекомендации. – СПб, 1993
- 8 Сахно Ю.Ф., Дроздов Д.В., Ярцев С.С. Исследование вентиляционной функции легких. М.: Издательство РУДН, 2005. – 83 с.
- 9 Сокол Е.И., Кипенский А.В., Верещак В.А. Проблемы технического обеспечения системы здравоохранения Украины и перспективы их решения // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – К.: ІЕД НАНУ, 2006.
- 10 Кипенский А.В. Обеспечение качества изделий медицинской техники средствами микропроцессорного импульсного управления // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. № 38.
- 11 Кипенский А. В. Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учебное пособие / Андрей Владимирович Кипенский. – Харьков: НТУ"ХПИ", 2000.
- 12 Томашевский Р.С. Улучшение технических показателей портативного спирометра с турбинным преобразователем потока / Р.С. Томашевский // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2010.
- 13 Спирометр түрлері [Электрондық ресурс]. -<http://www.spirometry.com>.
- 14 Өлшеу әдістері [Электрондық ресурс]. -<http://www.micromedical.ru>.
- 15 Өкпе функциясын тестілеу негіздері [Электрондық ресурс]. -
<http://www.rasfd.com/index.php?productID=617>
- 16 Лопата В. А. Многоуровневая система спирометрической аппаратуры / В. А. Лопата, Ю. Ф. Сахно // Функциональная диагностика. – 2003. – №2. – С.52-55.
- 17 Сахно Ю. Ф. Исследование вентиляционной функции легких: учебно-методическое пособие / Сахно Ю. Ф., Дроздов Д. В., Ярцев С. С. – М.: Издательство РУДН, 2005. – 83 с.