

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Орманбек Асылбек Айдарұлы

«Көздің қысымын өлшеуге арналған датчиктерді зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ




SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылымдарының кандидаты

 Қ.Ө. Өжікенов
« 27 » мамыр 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Көздің қысымын өлшеуге арналған датчиктерді зерттеу»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша


Орындады

Орманбек А.А.

Рецензент

техн. ғылым. кандидаты,
қауымдастырылған профессор

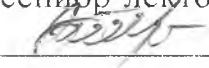
(Ғылыми атағы дәрежесі)

 Жаменкеев Е.К.

колы аты-жөні

« 27 » мамыр 2022 ж.

Ғылыми жетекшісі
техн. ғылым. магистрі,
сениор-лектор

 Бигалиева Ж.С.

« 27 » мамыр 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау



БЕКІТЕМІН

РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылымдарының кандидаты

К.А. Ожикенов

«21» мамыр 2022 ж.

ТАПСЫРМА

дипломдық жұмысты орындауға

Білім алушыға: Орманбек Асылбек Айдарұлы

Тақырыбы: Көздің қысымын өлшеуге арналған датчиктерді зерттеу

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген №489-П/Ө 24.12.2021 ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «25» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы мәліметтері: Көздің қысымын өлшеуге арналған датчиктерді зерттеу болып табылады, функционалдық сұлбалары қарастырылды.

Есеп-түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен қысқаша дипломдық жұмыстың мазмұны:

а) Негізгі бөлім, жалпы талдау жасау

б) Технологиялық бөлім, элементтерге жалпы мәлімет

в) көзішілік қысымды өлшеуге арналған жақсартылған аспаптың блок-схемасы

Графикалық материалдың тізбегі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

13 слайд


Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 37 әдебиеттер тізімі

**Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертпелер
Теориялық бөлім	15.01 – 05.03.2022 ж.	Орындалған
Бағдарламалық бөлім	06.03 – 10.04.2022ж.	Орындалған
Зерттеу бөлімі	15.04 – 10.05.2022 ж.	Орындалған
Қорытынды бөлім	11.05 – 14.05.2022 ж.	Орындалған

Аяқталған дипломдық жұмысқа 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	Көшербай М.А. Техника ғылымдарының магистрі	25.05.22	

Ғылыми жетекшісі



Ж.С.Бигалиева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы



А.А.Орманбек

Күні

«__» мамыр 2022 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс көздің тонометриясының қолданыстағы әдістерін, сондай-ақ көзішілік қысымды өлшеуге арналған сенсорлар мен құрылғыларды зерттейді.

Жұмыстың мақсаты қолданыстағы датчиктердің жұмыс принциптерін зерттеу және көз ішіндегі қысымды өлшейтін жетілдірілген құрылғы моделін жасау болып табылады. Жұмыстың міндеттері:

Көздің қысымын өлшеу әдістерін және соған сәйкес құрылғыларды оқып, салыстыру;

Көздің тонометриясына арналған құрылғылардың өнімділігі мен дизайнын жақсарту мүмкіндіктерін зерттеңіз.

Дипломдық жоба көру мүшелерінің ауруларының көбеюіне байланысты өзекті болып табылады. Глаукома сияқты аурудың белгілерінің бірі - көзішілік қысымның жоғарылауы. Ұйқы тонометриясын қолдану арқылы ерте диагноз аурудың дамуын бәсеңдетуге және толық өмір сүру ұзақтығын арттыруға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыстың нәтижесі - көзішілік қысымды өлшеуге арналған жақсартылған аспаптың блок-схемасы.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе изучаются существующие методы тонометрии глаза, а также датчики и устройства для измерения внутриглазного давления.

Целью работы является изучение принципов работы существующих датчиков и разработка усовершенствованной модели устройства измерения внутриглазного давления. Задачи работы:

Изучение и сравнение методов измерения глазного давления и соответствующих устройств;

Изучите возможности улучшения производительности и дизайна устройств для тонометрии глаз.

Дипломный проект является актуальным в связи с ростом заболеваний органов зрения. Одним из симптомов такого заболевания, как Глаукома, является повышение внутриглазного давления. Ранняя диагностика с помощью тонометрии сна позволяет замедлить прогрессирование заболевания и увеличить полную продолжительность жизни.

Результатом дипломной работы является блок-схема усиленного прибора для измерения внутриглазного давления.

ANNOTATION

This diploma work studies existing methods of eye tonometry, as well as sensors and devices for measuring intraocular pressure.

The purpose of the work is to study the principles of operation of existing sensors and develop a model of an advanced device for measuring intraocular pressure. Tasks of the work:

Study and compare methods for measuring eye pressure and related devices;
Explore the possibilities of improving the performance and design of eye tonometry devices.

The diploma project is relevant in connection with the increase in diseases of the visual organs. One of the symptoms of such a disease as glaucoma is an increase in intraocular pressure. Early diagnosis using sleep tonometry allows you to slow down the progression of the disease and increase the duration of a full life.

The result of the thesis is a flowchart of an improved device for measuring intraocular pressure.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	8
1 Жалпы медициналық мәліметтер	10
1.1 Көзішілік қысым	10
1.2 Көз тонометриясына арналған аспаптар	11
1.2.1 Голдман Тонометрі	11
1.2.2 Жанаспайтын тонометр	13
1.2.3 Sensimed Triggerfish контактілі линзалары	13
1.3 Құрылғылардың сипаттамаларын салыстырмалы талдау	15
2 Қысымды өлшеуге арналған сенсорлар	17
2.1 Пьезорезистивті қысым датчигі	17
2.2 Ыдыстық қысым датчигі	18
2.3 Пьезоэлектрлік қысым датчигі	19
2.4 Микроэлектромеханикалық жүйелер	20
3 Бар контактілі линзаларды оңтайландыру мүмкіндіктері	22
3.1 Ықтимал негізгі сипаттамаларды талдау	22
3.2 Іске асыру мүмкіндіктері	22
ҚОРЫТЫНДЫ	25
ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДБИБИЕТТЕР ТІЗІМІ	26

КІРІСПЕ

Қазіргі уақытта көптеген адамдар денсаулығына байланысты әртүрлі проблемаларға тап болады. Қазіргі адамның толыққанды өмірі қоршаған әлемді көрнекі қабылдауынсыз мүмкін емес.

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының мәліметтері бойынша 2.2 миллиардқа жуық адам көру қабілетінің бұзылуынан немесе соқырлықтан зардап шегеді. Олардың ішінде 1 миллиард көру қабілетінің нашарлауын болдырмауға немесе азайтуға болады.

Көру қабілетінің нашарлауына әкелетін және соқырлыққа әкелетін аурулардың бірі-глаукома. Глаукома көзішілік қысымның тұрақты немесе мерзімді жоғарылауымен сипатталады, бұл оптикалық нервке деструктивті әсер етеді, сонымен қатар көру өрісінің төмендеуі және көру өткірлігінің төмендеуі түрінде көрінеді. Әр түрлі мәліметтер бойынша, бүгінде бұл ауру бүкіл әлемде 60-100 миллион адамға әсер етеді.

Глаукоманы көзішілік қысымның жоғарылауына байланысты диагностикалау үшін көз тонометриясына арналған әртүрлі құрылғылар қолданылады.

Осы дипломдық жобада:

- онда көз тонометриясына арналған қолданыстағы әдістер мен құрылғылар, ең танымал құрылғылардың жұмыс принциптері қарастырылған;
- қолданыстағы құрылғылар мен өлшеу әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері зерттелді;
- көз тонометриясына арналған жетілдірілген құрылғы моделін құру мүмкіндіктері зерттелді.

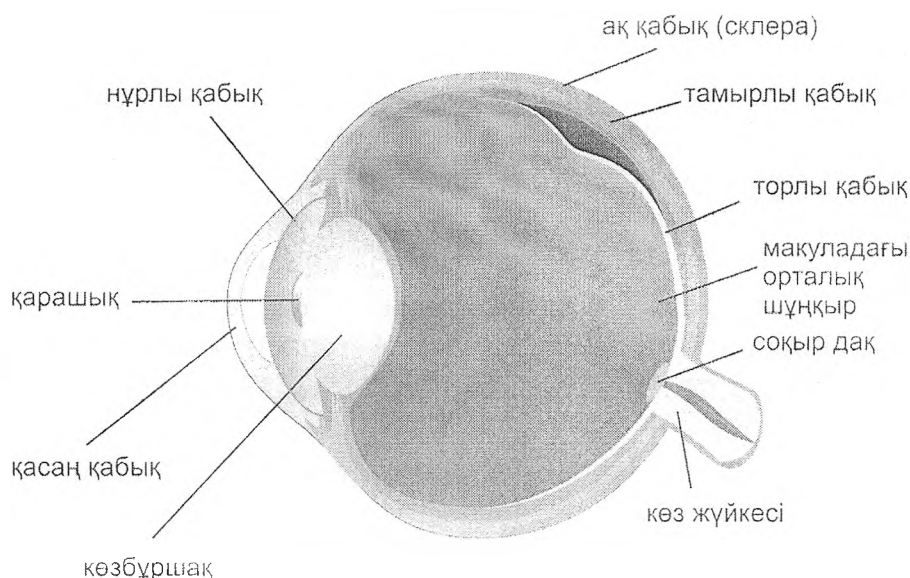
1 Жалпы медициналық мәліметтер

1.1 Көзішілік қысым

Көзішілік қысым — көз ішіндегі сұйықтықтың қысымы. Бұл көздің алдыңғы және артқы камераларының арасында орналасқан сулы ылғалдың әсерінен пайда болады (1-сурет). Оны анықтау үшін офтальмологтар көз тонометриясын қолданады [1].

Сулытылғал — бұл қан плазмасына ұқсас, бірақ ақуыз мөлшері аз мөлдір желе тәрізді сұйықтық. Бұл композиция сулы ылғалдың көзге түсетін қаннан жасалатындығымен түсіндіріледі. Оның функциялары қысым жасаудан басқа:

Көздің тамырсыз бөліктерін қоректік заттармен қамтамасыз ету;
Көздің ішкі бөлігінен ықтимал зақымдану факторларын алып тастау;
Жарық шағылыстыратын орта құру.



1.1 Сурет – Көз құрылысы

Көзішілік қысым Сулы ылғал өндірісі мен оның дренажының қатынасы бойынша анықталады.

Көзішілік қысымның сандық мәнін (1.1) формула бойынша есептеуге болады:

$$\text{ДВГ} = F / C + PV, \quad (1.1)$$

мұндағы КІҚ-көзішілік қысым, мм рт.ст.ст;

F-көзішілік сұйықтықтың қалыптасу жылдамдығы, мкл/мин;

C-жарамдылық жылдамдығы, мкл / мин / мм рт.ст.ст;

PV-эписклеральді веноздық қысым, мм рт.ст.Б.

Қалыпты көзішілік қысым 10 мм рт. ст. аралығында болады. СТ.20 мм рт. ст. дейін. ст. көзішілік қысымның орташа мәні 15,5 мм рт. ст. болып саналады. шамамен 2,75 мм рт. алайда, әр адам үшін оның жеке ИОТ нормасын анықтау керек, өйткені әр адам ағзасы жеке болып табылады [2].

ИОТ өлшеулерін жүргізу кезінде индикаторлар күн ішінде, сондай-ақ физикалық белсенділіктің кейбір түрлеріне ұшыраған кезде және белгілі бір препараттар мен дәрі-дәрмектерді қабылдау кезінде өзгеруі мүмкін екенін есте ұстаған жөн.

Өлшеу көрсеткіштерінің дәлдігі қабақтың қалыңдығына байланысты. Қалыңдатылған қабық көзішілік қысымның мәнін жоғарылатуы мүмкін. Керісінше, жұқа қабық қысымның нақты мәнін төмендетеді.

1.2 Көз тонометриясына арналған аспаптар

1.2.1 Голдман Тонометрі

Голдман тонометрі (Сурет 1.2) көз қысымын өлшеудің ең көп таралған әдістерінің бірі болып саналады. Оны тонометрияның "алтын стандарты" деп атайды.

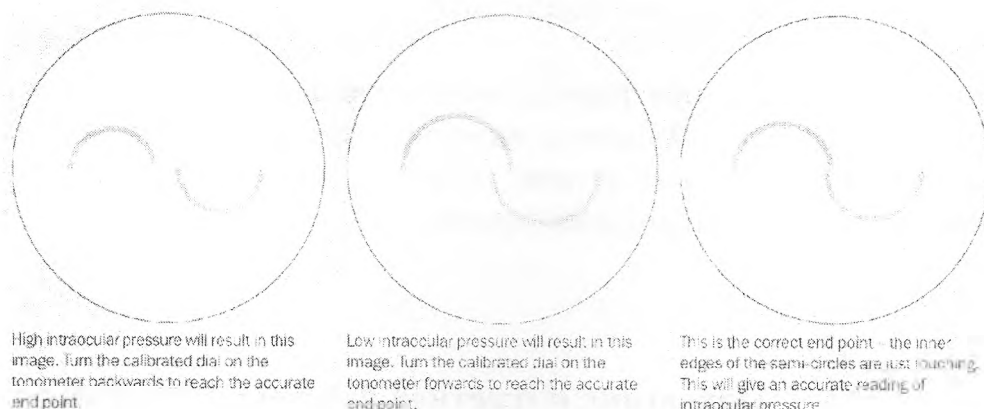
Көз тонометриясына арналған аспаптар



1.2 Сурет – Голдман тонометрі

Голдман тонометрімен көз тонометриясын кезең-кезеңмен жүргізу:

- процедура басталғанға дейін наукасқа анестезияға арналған арнайы көз тамшылары енгізіледі. Сондай-ақ, флуоресцеин ерітіндісі көздің қабығының бетін бояу үшін көзге көміледі. Содан кейін наукас құрылғыға қарама-қарсы отырады, басын тірекке орнатады, көзді тікелей микроскопқа бағыттайды;
- тонометрдің басына мөлдірқабыққа орналастырылатын арнайы призма бекітілген. Тексеру үшін кобальт көк сүзгі қолданылады. Дәрігер флуоресцеин ерітіндісімен боялған жартылай шеңберлер кездескенге дейін призманың қабығындағы қысымын біртіндеп және баяу өзгертеді;
- қасаң қабықтың тегістелуінің қажетті алаңына (3,06 м) жеткеннен кейін маман ІҚЖ көрсеткіштерін аспаптың шкаласы бойынша анықтайды [7].



1.3 Сурет – Голдман тонометрінің саңылаулы шамындағы схемалық сурет (солдан оңға қарай: шамадан тыс көрсеткіш, төмен көрсеткіштер, дұрыс мәліметтер алу үшін дұрыс комбинация)

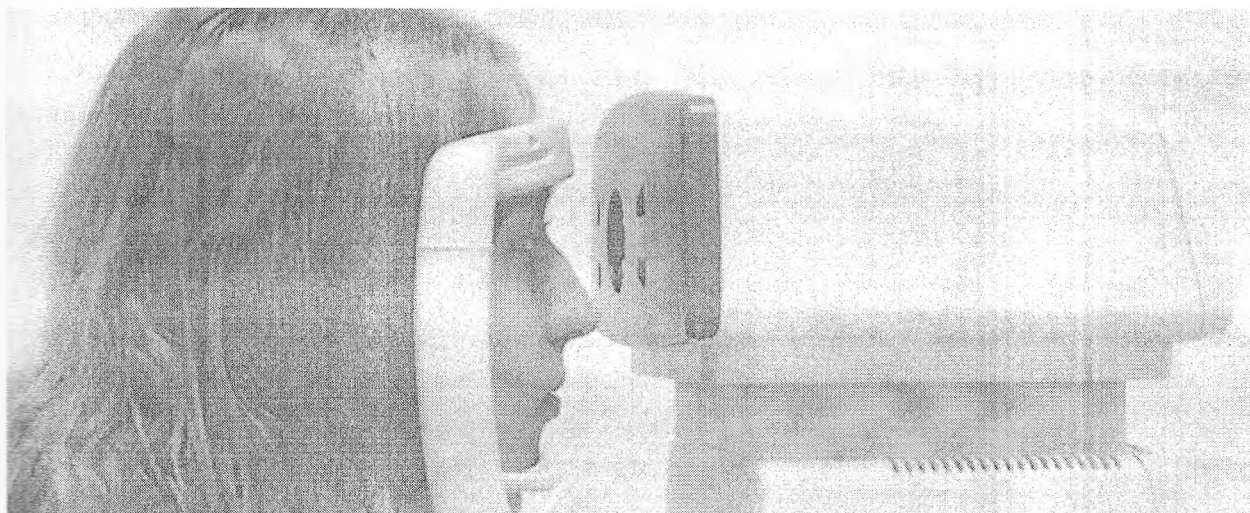
Өлшеу кезінде бақыланатын жартылай шеңберлерді салыстыра отырып, қабыққа әсер ететін қысымды реттей білу керек. (Сурет 1.3) солдан оңға қарай жартылай шеңберлердің орналасуының схемалық нұсқалары көрсетілген:

Бірінші нұсқа қабыққа артық қысым көрсетеді, екіншісі-жеткіліксіз қысым. Дұрыс сурет соңғы нұсқада көрсетілген, онда жартылай шеңберлердің ішкі жиектері сол жанасады. Бұл жағдайда қысымның дұрыс көрсеткіштері болады.

1.2.2 Жанаспайтын тонометр

Контактсіз тонометр электр-оптикалық жүйенің көмегімен анықталатын қабықты аппланациялау үшін жылдам ауа импульсін қолданады. Бұл әдіс жоғары IOT үшін жылдам скрининг үшін қолданылады.

Аппланация-көздің ішкі қысымының мәніне сәйкес келетін белгілі бір күш көмегімен қабақтың берілген аймағын алу.



1.4 Сурет – Контактсіз тонометр

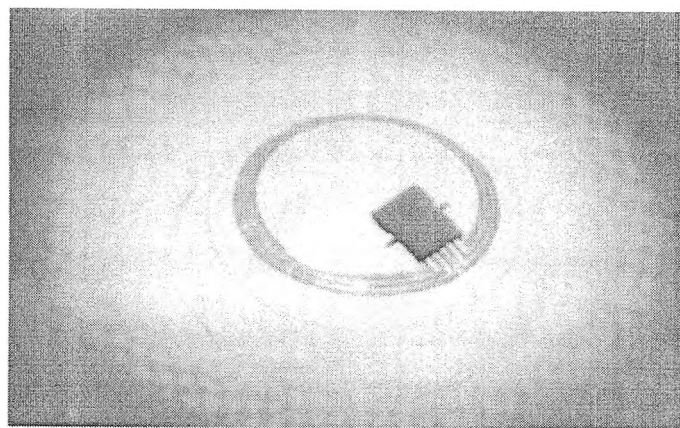
Өлшеу үшін байланыссыз пневмотонометр қолданылады. Күші мен көлемі бойынша нақты мөлшерленген сығылған ауаның бір бөлігі қабақтың ортасына (қабақ арқылы) жіберіледі. Сезімтал электр-оптикалық аппаратура мөлдір қабықтың деформациясын және интерференциялық кескіндеменің өзгеруін тіркейді.

1.2.3 Sensimed Triggerfish контактілі линзалары

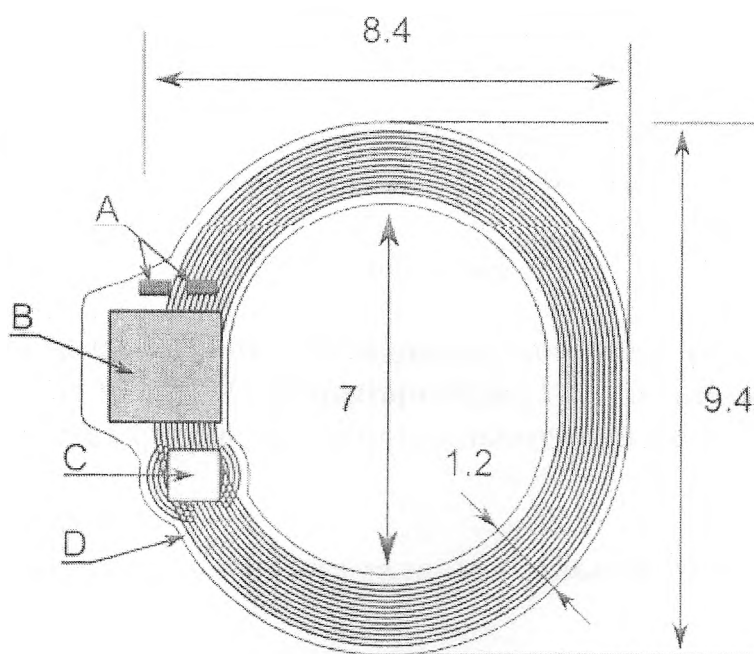
Контактілі линзалар (Сурет. 1.5, 1.6) – көз тонометриясын жүргізудің салыстырмалы түрде жаңа тәсілі. Triggerfish линзалары (Сурет 1.7) sensimed швейцариялық компаниясымен өндіріледі.

Диаметрі 14.4 ММ силикон объективінде 2 Белсенді жүктеме жасушасы, температураны өтеу үшін екі пассивті жүктеме жасушасы, кішкене антенна және деректерді беру микропроцессоры бар.

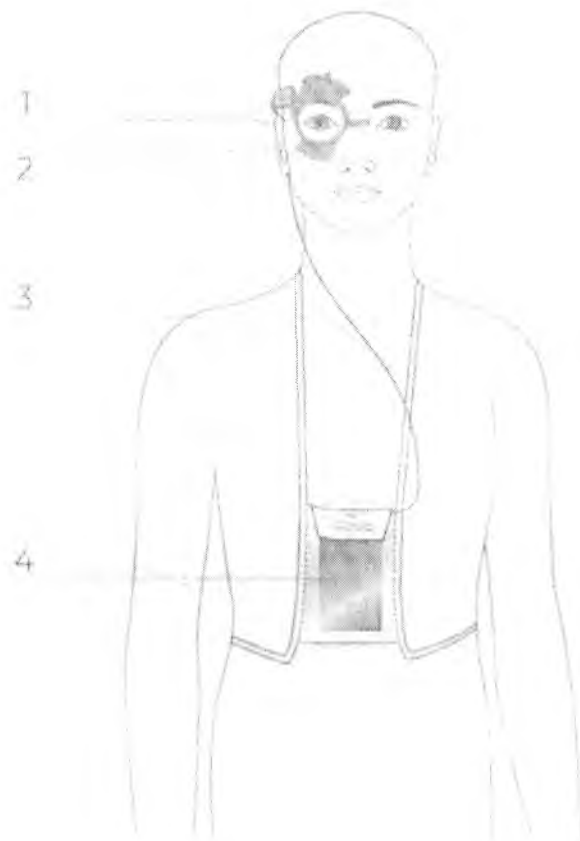
ЖКД-дағы өзгерістерді тәулік бойы мониторингтеу үшін пайдаланылуы мүмкін, бірақ 24 сағат өткеннен кейін қайта пайдалануға жатпайды.



1.5 Сурет – Triggerfish контактілі линзасының сыртқы түрі



1.6 Сурет – Ұқсас линзаның ішкі құрылысының схемасы (А – конденсаторлар, В – интегралды микросхема, С – қысым датчигі, D – икемді контур)



1.7 Сурет – Triggerfish линзаларын пайдалануға арналған жабдықтар кешенінің сызбалық бейнесі (1-Triggerfish линзасы, 2-жабысқақ антенна, 3-деректерді беруге арналған икемді кабель, деректерді жинауға арналған 4-портативті жазу құрылғысы)

Бұл линзалар ең қолайлысын таңдауды жеңілдету үшін қисықтықтың үш радиусында (8,4 мм, 8,7 мм, 9 мм) шығарылады. Портативті құрылғыдан ақпарат Bluetooth арқылы әрі қарай өңдеу үшін компьютерге жіберіледі.

1.3 Құрылғылардың сипаттамаларын салыстырмалы талдау

Жоғарыда аталған аспаптардың қысқана салыстырмалы сипаттамалары 1-кестеде келтірілген:

1.1 Кесте – Көз тонометриясына арналған құралдарды салыстыру

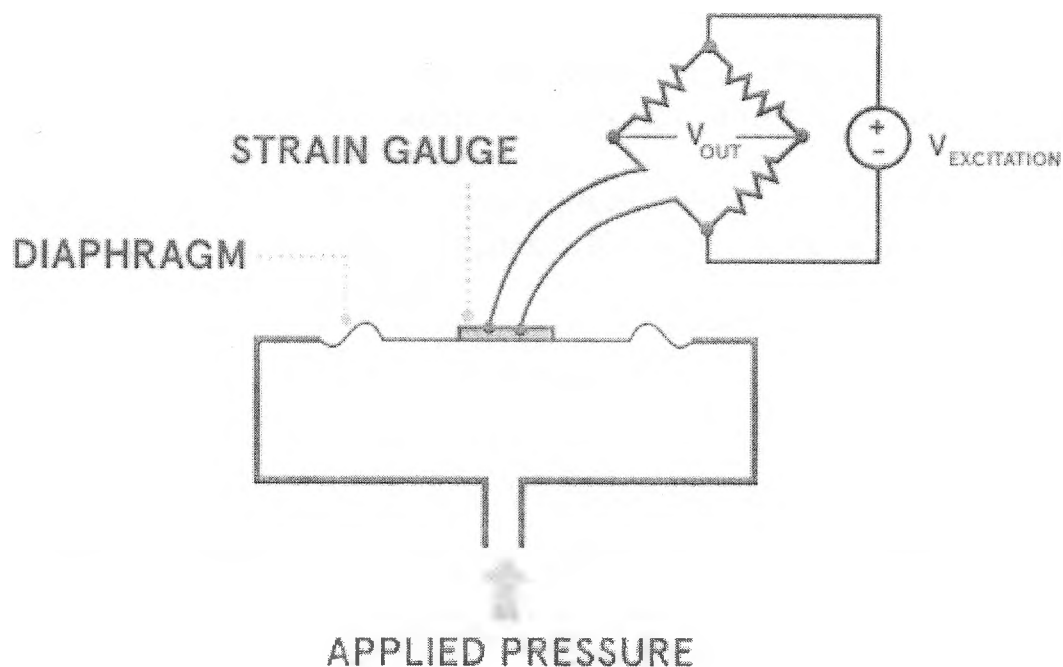
Құрылғы	Голдман тонометрі	Контактсіз тонометр	Sensimed Triggerfish контактілі линзалары
---------	-------------------	---------------------	---

Қолдану қарапайымдылығы	Орташа; өлшеуді дәрігер жүргізеді	Жеңіл; өлшеуді дәрігер жүргізеді	Оңай; Контактілі линзалармен таныс адамдар үшін Маманның кеңесі қажет
Қол жетімділік	Жоғары	Орташа	Төмен
Нәтижелерді алу жылдамдығы	Орташа	Жоғары	Жоғары
Деректердің дәлдігі	Жоғары	Орташа	Жоғары
Жаңғырту перспективасы	Төмен	Орташа	Жоғары
Құны	\$300 / тонометр	\$7500 / тонометр	\$700 / 24 сағатқа арналған жиынтық

2 Қысымды өлшеуге арналған сенсорлар

2.1 Пьезорезистивті қысым датчигі

Пьезорезистивті сенсорлар ең көп таралған қысым сенсорларының бірі болып саналады. Жұмыс принципі электр өткізгіш материалдың созылу кезіндегі электр кедергісінің өзгеруіне негізделген. Бұл қарсылықтың өзгеруі сенсормен Шығыс сигналына айналады.



Сурет 2.1 – Датчиктің жұмыс істеу принципі

2.1 Суретте пьезорезистивті қысым сенсорының жұмыс принципін көрсетеді. Өлшенген қысым деформация кезінде электр кедергісін өзгертетін өткізгіш материалдан жасалған диафрагмаға әсер етеді. Қарсылықтың өзгеруі әдетте Уитстон көпірімен өлшенеді (А қосымшасы), бұл кішігірім қарсыласу өзгерістерін Шығыс кернеуіне айналдыруға мүмкіндік береді. Көпірдің дұрыс жұмыс істеуі үшін қоздыру кернеуін қосу қажет.

Шығу кернеуі (2.1) формуласы бойынша есептеледі:

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_x} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times V_{ex}, \quad (2.1)$$

мұндағы V_0 – шығу кернеуі, В;

V_{ex} – қозу кернеуі, В;

R_1, R_2, R_3 – көпірдің белгілі кедергісі, Ом;

R_x – диафрагманың белгісіз кедергісі, Ом.

Датчиктердің осы түрінің артықшылықтары уақыт тұрақтылығы мен дизайнның қарапайымдылығын қамтиды. Металл диафрагмаларды қолданған кезде жоғары Жұмыс температурасына қол жеткізуге болады (200°C дейін), ал силикон элементтерін қолданған кезде төмен қысымды өлшеуге болады (шамамен 2 кПа).

Жалғыз маңызды кемшілік-бұл қысым сенсорларының басқа түрлерімен салыстырғанда үлкен тұтыну.

2.2 Ыдыстық қысым датчигі

Сыйымдылықты қысым датчиктері диафрагманың қозғалысынан туындаған электр сыйымдылығындағы өзгерістерді анықтау арқылы қысымды өлшейді.

Өздеріңіз білетіндей, конденсатор кішкене кеңістікпен бөлінген екі параллель өткізгіш пластиналардан тұрады. Конденсатордың сыйымдылығы (3.1) формула бойынша есептеледі:

$$C = \epsilon_r \times \epsilon_0 \times A / d, \quad (2.2)$$

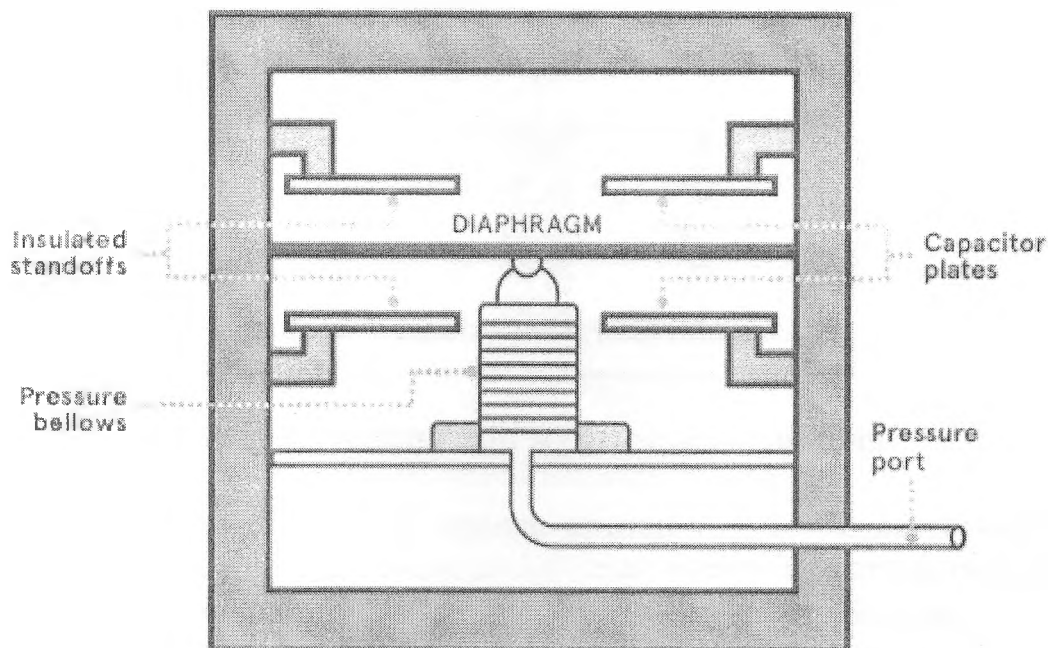
мұндағы C – конденсатордың сыйымдылығы, Ф;

ϵ_r – плиталар арасындағы ортаның диэлектрлік тұрақтысы;

ϵ_0 – электрлік тұрақты (8.854×10^{-12} Ф/м);

A – пластиналардың ауданы, м²;

D – пластиналар арасындағы қашықтық, м.



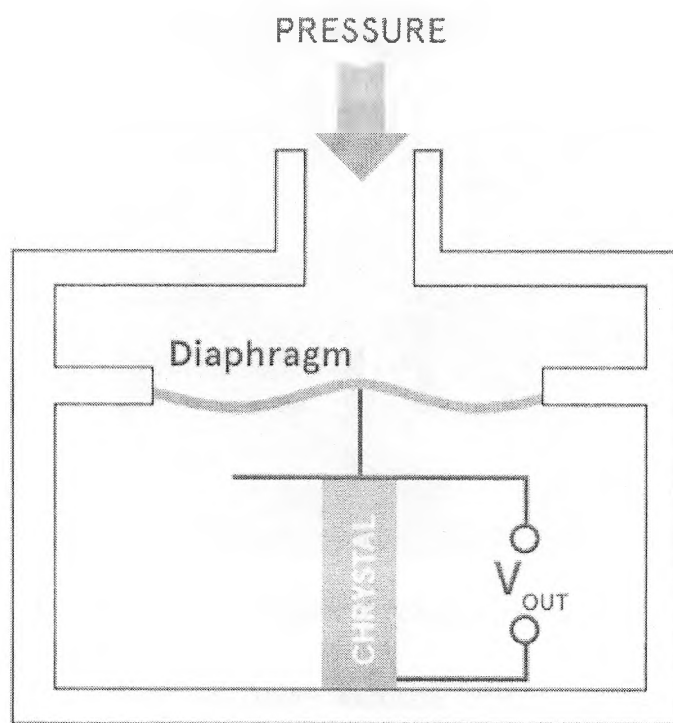
Сурет 2.2 – Датчиктің жұмыс істеу принципі

Айнымалы мөндер өзгерген кезде конденсатордың сыйымдылығы да өзгереді, ал барлық параметрлерден плиталар арасындағы қашықтықты өзгерту оңай. Бұған жету үшін бір немесе екі пластина қысымның өзгеруіне сезімтал диафрагмамен ауыстырылады. Әдетте бір электрод оқшауланады, ал екіншісі диафрагмаға айналады. Мысалы бейнеленген-сур. 9.

Сыйымдылық сенсорларының артықшылығы-төмен тұтыну, механикалық қарапайымдылық, қолайсыз жағдайларда пайдалану мүмкіндігі. Сондай-ақ, олардың негізінде сыртқы қуатты қажет етпейтін пассивті сенсорларды жасауға болады; олардың жұмысы үшін тек оқырман сигналы қажет. Кемшілігі-паразиттік сыйымдылық әсерінің пайда болу ықтималдығы.

2.3 Пьезоэлектрлік қысым датчигі

Пьезоэлектрлік датчиктер пьезоэлектрлік әсерге байланысты жұмыс істейді, бұл материалдың деформациясы кезінде электр кернеуін тудырады.



Сурет 2.3 - Датчиктің жұмыс істеу принципі

Пьезоэлектрлік сенсордың жұмыс принципі 2.4 – суретте көрсетілген. Пьезоэлектрлік материалға күш қолданған кезде электр зарядтары пайда болады. Оларды қысымға пропорционалды кернеу ретінде өлшеуге болады.

Негізінен пьезоэлектрлік датчиктер қысымның өзгеруін өлшейді. Пьезоэлектрлік және сыйымдылық датчиктерінен айырмашылығы,

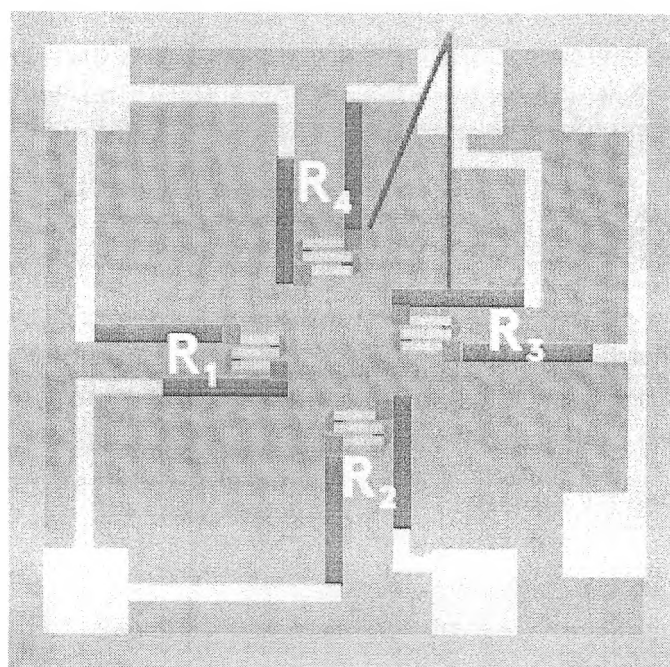
пьезоэлектрлік датчиктерге сыртқы қуат көздері қажет емес, өйткені олар диафрагманың деформациясы кезінде электр энергиясын өндіреді.

Пьезоэлектрлік сенсорлардың артықшылығы-қолайсыз ортаға беріктік пен төзімділік, жоғары температурада жұмыс істеу мүмкіндігі (1000°C дейін), сенсордың өзінде шығыс сигналын шығару арқылы төмен тұтыну, сонымен қатар электромагниттік және радиациялық сәулеленуге иммунитет.

2.4 Микроэлектромеханикалық жүйелер

Микроэлектромеханикалық жүйелер (Microelectromechanical systems, MEMS) – бұл кремний чипіндегі кішкентай механикалық және электронды компоненттерді біріктіретін құрылғылар.

Piezoresistors

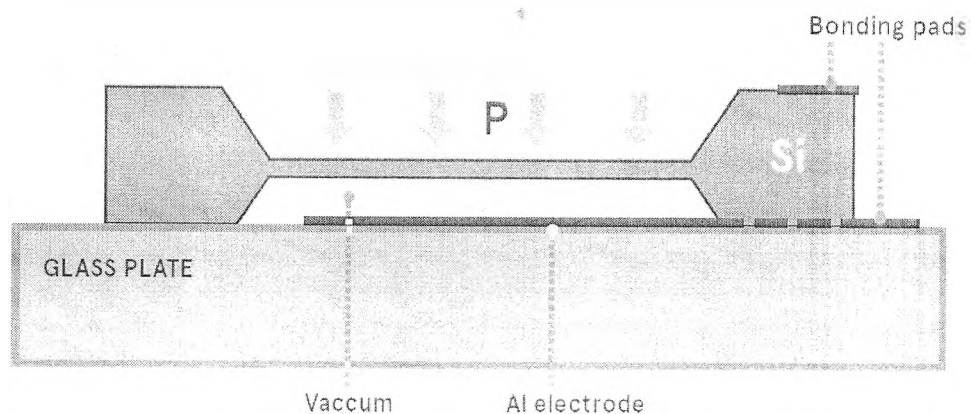


Сурет 2.4 – Пьезорезистивті қысым датчиктері бар МЭМС

2.4 – Суретте пьезорезистивті қысым сенсорларын қолданатын ең көп таралған MEMS мысалын көрсетеді. Сезімтал элементтер тікелей диафрагмада болады. Осылайша, осы резисторлардың кедергісінің өзгеруі қолданылатын қысымды білуге мүмкіндік береді. Резисторлар Уитстон көпіріне қосылған.

Шығу кернеуі резисторлар кедергісінің өзгеруіне пропорционал (2.3–формула):

$$V_0 = \frac{\Delta R}{R} \times V_{ex}. \quad (2.4)$$



2.5 Сурет – Қимадағы сыйымды қысым датчигі бар МЭМС

2.5– Суретте сыйымды қысым сенсоры бар MEMS бейнеленген. Сыйымдылық сенсорын жасау үшін конденсаторды жасау үшін диафрагмаға және вакууммен толтырылған қуыстың түбіне өткізгіш қабат қолданылады. Диафрагманың деформациясы тізбектегі сенсор өлшейтін сыйымдылықтың өзгеруіне әкеледі.

Технологияны көптеген сенсорларды, соның ішінде қысымды жасау үшін пайдалануға болады. Технологияның ерекшеліктеріне байланысты дәл сенсорларды, процессорды және сымсыз байланысты (Wi-Fi, Bluetooth) бір интегралды схемада біріктіруге болады.

Микроэлектромеханикалық жүйелердің артықшылығы-олардың кішкентай мөлшері және электроникамен жоғары интеграциясы. Сондай-ақ, MEMS аз энергияны пайдаланады, бұл оларды имплантацияланатын медициналық құрылғыларда пайдалануға мүмкіндік береді.

3 Бар контактілі линзаларды оңтайландыру мүмкіндіктері

3.1 Ықтимал негізгі сипаттамаларды талдау

Қолданыстағы контактілі линзаларды оңтайландыру үшін қысым сенсорларының ең қолайлы түрін анықтау керек, сонымен қатар сенсордан оқырманға деректерді беруді жеңілдету керек.

Қазіргі уақытта технологияның жаңалығы мен аз таралуына байланысты қолданылатын сенсорлар туралы нақты мәліметтер жоқ болғандықтан, талдау үшін нарықта негізгі сипаттамаларға сәйкес келетін кейбір қысым сенсорлары қолданылады.

Алдыңғы тарауда көрсетілген сенсорлардың ішінде тек MEMS жүйелері бөлек таратқышты қажет етпейді, өйткені ол жүйеге біріктірілген. Сонымен қатар, қажетті функциялар жиынтығы бар өндірушілерден MEMS жүйелеріне тапсырыс беру мүмкіндігі бар.

3.1-кесте Wi-Fi және Bluetooth сияқты сымсыз деректерді беру технологияларын салыстыру келтірілген.

Типі	Wi-Fi	Bluetooth
Әрекет радиусы	100 м – ге дейін	100 м – ге дейін
Өткізу қабілеті	Стандартқа байланысты (54 Мбит/с дейін; 300 Мбит/с дейін; 3,39 Гбит/с дейін)	3-24 Мбит/с
Жұмыс жиілігі	2,4 ГГц немесе 5 ГГц	2,4 ГГц

Әр технологияның артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Мүмкін, Wi-Fi немесе Bluetooth қолдану көздің айналасындағы жабысқақ антеннадан бас тартуға мүмкіндік береді, бұл ұқсас линзаларды киюді аз және ыңғайлы етеді. Сондай-ақ, деректерді жеке жазу құрылғысына емес, смартфонға жіберу мүмкіндігі пайда болады. Бірақ осы жиіліктерде осы технологияларды қолданатын құрылғылардың жоғары таралуы жұмысқа кедергі келтіруі мүмкін.

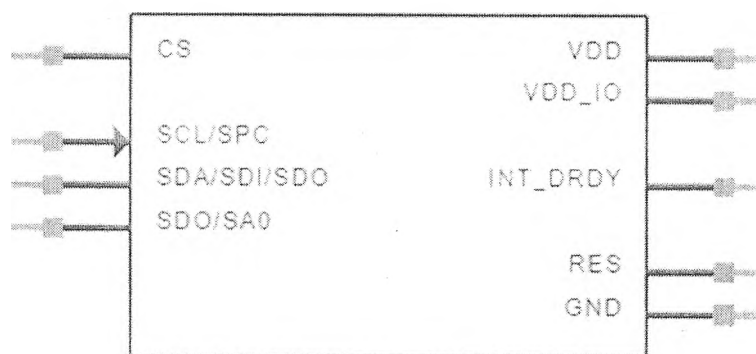
Алайда, адамның қауіпсіздік дәрежесін анықтау үшін қосымша медициналық зерттеулер қажет.

3.2 Іске асыру мүмкіндіктері

Қазіргі уақытта жақсартылған контактілі линзаларды жасауға дайын шешімдер жоқ, бірақ болашақта көзішілік қысымды өлшеу үшін толықтай

сымсыз контактілі линза идеясын жүзеге асыруға мүмкіндік беретін перспективалы әзірлемелер бар.

3.1 – Суретте STMicroelectronics LPS22HB сенсорының MEMS схемасын көрсетеді. Ол пьезорезистивті қысым датчигі принципіне негізделген. Сондай-ақ, бұл сенсор I2C және SPI желілері арқылы деректерді беру мүмкіндігімен жабдықталған.



3.1 Сурет – STMicroelectronics LPS22HB датчигі

Дегенмен, сенсор қысымды тікелей өлшемейді. Сенсор алған деректерді гектопаскальға түрлендіруге арналған код 3.2 – суретте көрсетілген.

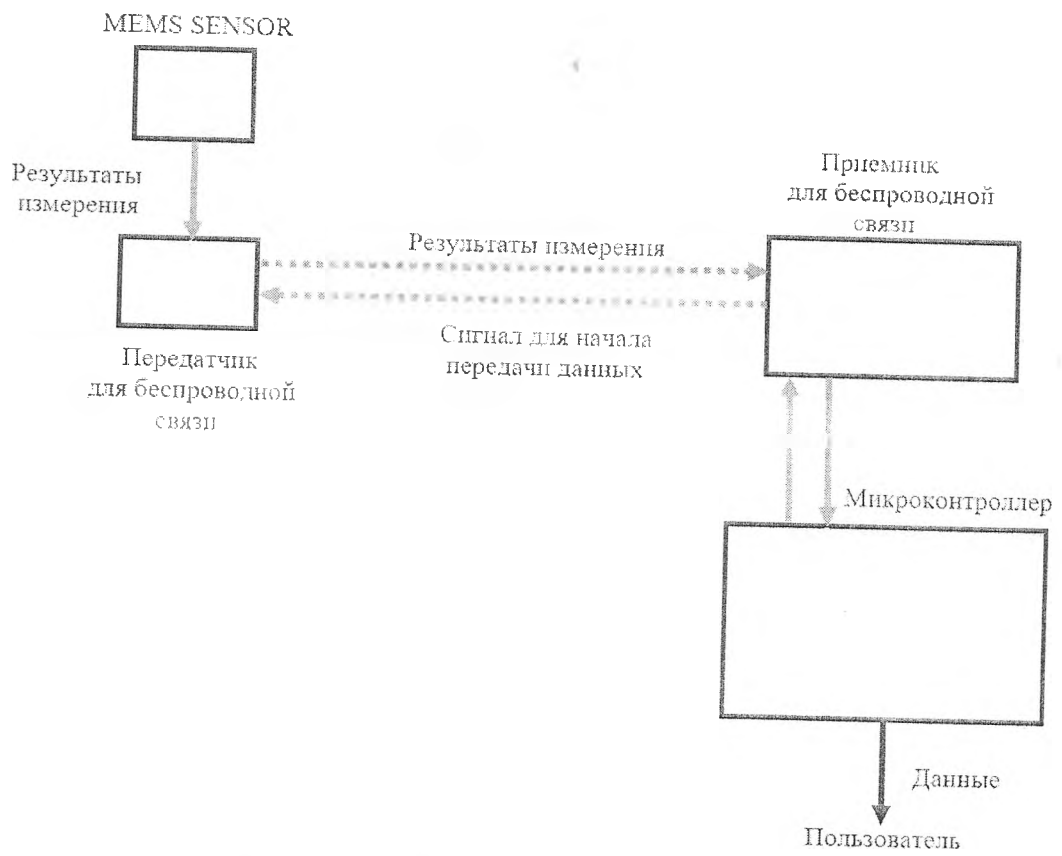
3.2 – Суреттегі құрылымдық схема деректерді жазу құрылғысына беру үшін сымдардың қажеттілігін болдырмау үшін MEMS сенсорын сымсыз деректерді беру модуліне қосуды қамтиды. Сондай-ақ, мұндай құрылғы ақпаратты сақтау үшін тозатын құрылғының мөлшерін азайтады. Смартфондарға салынған сымсыз технологияларды қолдану деректерді жазу үшін қосымша құрылғының қажеттілігін болдырмауға мүмкіндік береді. Қалай болғанда да, кез-келген ұқсас құрылғы адамның пайдалану қауіпсіздігі үшін медициналық тексеруден өтуі керек.

```

1  #include <sensor_A0.h>
2  const int scale_factor = 4096;
3  float pressure_value, pressure;
4
5  void setup() {
6    Serial.begin(9600);
7    Serial.println("Pressure:");
8    pinMode(sensor, INPUT);
9  }
10
11  void loop() {
12    pressure_value = analogRead(sensor);
13    pressure = pressure_value / scale_factor;
14    Serial.println(pressure, " Pa");
15  }

```

3.2 Сурет – Arduino IDE-де C++ тілінде өлшемдерді аударуға арналған бағдарламалық код



3.3 Сурет – Контактілі линзаның құрылымдық схемасы

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмыста көз тонометрінің қолданыстағы әдістерін, сондай-ақ көзішілік қысымды өлшеуге арналған датчиктер мен құрылғыларды зерттеу жүргізілді.

Жұмыс мақсаттарына сәйкес қолданыстағы датчиктердің жұмыс істеу принциптерін зерттеу жүргізілді және көзішілік қысымды өлшеу үшін жақсартылған контактілі линзаның құрылымдық схемасы жасалды.

Жұмысты орындау кезінде бұрын қойылған міндеттер шешілді:

Көз тонометриясына арналған құралдар және олардың жұмыс ерекшеліктері.

Контактілі линзалар мысалында көз тонометриясына арналған құрылғылардың жұмысын және құрылғысын жақсарту мүмкіндіктері зерттелді;

Жақсартылған контактілі линзалардың құрылымдық схемасы жасалды;

Ол STMicroelectronics Ips22hb сенсорының мысалында сенсор көрсеткіштерін қысым деңгейіне ауыстыру принципін зерттеді.

Алынған құрылымдық схема болашақта глаукоманы диагностикалау кезінде контактілі линзалардың мүмкіндіктерін зерттеуді жалғастыруға негіз бола алады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 World Report on Vision // World Health Organization
- 2 Внутриглазное давление // Википедия // [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Внутриглазное_давление\[1\]](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Внутриглазное_давление[1])
- 3 Глазная тонометрия // Википедия// https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Глазная_тонометрия
- 4 Датчик давления // Википедия // https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_давления
- 5 Микроэлектромеханические системы // Википедия // https://ru.wikipedia.org/wiki/Микроэлектромеханические_системы
- 6 Измерительный мост // Википедия // https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерительный_мост
- 7 Тонometr Гольдмана //сайт компании «Исток-аудио» // https://www.istok-audio.com/info/articles/meditsinskoe_oborudovanie/tonometr_goldmana/
- 8 MEMS and Sensors // STMicroelectronics // <https://www.st.com/en/mems-and-sensors.html>
- 9 Christoph Faschinger, Georg Mossbok Intraocular Pressure Contact Lenses - Suitable for Everyday Use Yet? // European ophthalmic review. - 2011. - С. 136-138. Электронная версия на сайте <https://www.touchophthalmology.com/ebooks/ophthalmology/euoph52/index.html?page=50>
- 10 A. Rendón-Nava, I. Niño-de-Rivera-y-O. Intraocular Pressure Sensor Design - 2006. Электронная версия на сайте https://www.researchgate.net/publication/241147645_Intraocular_Pressure_Sensor_Design
- 11 Shwetha Meti, Kirankumar B. Balavald, B. G. Sheeparmatti MEMS Piezoresistive Pressure Sensor: A Survey // Int. Journal of Engineering Research and Applications. - 2016. - №4. - С. 23-31. Электронная версия на сайте https://www.researchgate.net/publication/301342224_MEMS_Piezoresistive_Pressure_Sensor_A_Survey
- 12 Muslihah Ali, Abdullah C. W. Noorakma, Norliana Yusof, W. N. F. Mohamad, N. Soin, S. F. Wan Muhamad Hatta Optimization of MEMS Intraocular Capacitive Pressure Sensor - 2016. Электронная версия на сайте https://www.researchgate.net/publication/309205540_Optimization_of_MEMS_Intraocular_Capacitive_Pressure_Sensor
- 13 Filippo Piffaretti, Diego Barrettino, Paolo Orsatti, Lorenzo Leoni, Peter Stegmaier Rollable and Implantable Intraocular Pressure Sensor for the Continuous Adaptive Management of Glaucoma - 2013. Электронная версия на сайте https://www.researchgate.net/publication/257601429_Rollable_and_implantable_intraocular_pressure_sensor_for_the_continuous_adaptive_management_of_glaucoma
- 14 Grace E Dunbar, Bailey Yuguan Shen, Ahmad A Aref The Sensimed Triggerfish contact lens sensor: efficacy, safety, and patient perspectives - 2017. Электронная версия на сайте

https://www.researchgate.net/publication/316982191_The_Sensimed_Triggerfish_contact_lens_sensor_Efficacy_safety_and_patient_perspectives

15 Dieter Franz Rabensteiner, Jasmin Rabensteiner, Christoph Faschinger The influence of electromagnetic radiation on the measurement behaviour of the triggerfish® contact lens sensor - 2018. Электронная версия на сайте https://www.researchgate.net/publication/329936772_The_influence_of_electromagnetic_radiation_on_the_measurement_behaviour_of_the_triggerfishR_contact_lens_sensor

16 'Smart contact lens sensor' for diabetic and glaucoma diagnosis // Phys.org // <https://phys.org/news/2017-05-smart-contact-lens-sensor-diabetic.amp>

17 About Sensimed Triggerfish // Sensimed.ch // <https://www.sensimed.ch/sensimed-triggerfish/>

18 The SENSIMED Triggerfish contact lens sensor for continuous 24-hour recording of ocular dimensional changes in people with or at risk of developing glaucoma // Nice.Org.Uk // <https://www.nice.org.uk/advice/mib14/chapter/technology-overview>

19 SENSIMED Triggerfish Safety and Tolerability // ClinicalTrials.Gov // <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01319617>

20 Kaweh Mansouri, Robert N. Weinreb, John H. K. Liu Efficacy of a Contact Lens Sensor for Monitoring 24-H Intraocular Pressure Related Patterns - 2015.

21 Sarah C. Xu, Angela C. Gauthier, and Ji Liu The Application of a Contact Lens Sensor in Detecting 24-Hour Intraocular Pressure-Related Patterns - 2016.

22 Katie Hoban Robert Peden Roly Megaw Patricia Halpin Andrew J. Tatham 24-Hour Contact Lens Sensor Monitoring of Intraocular Pressure-Related Profiles in Normal-Tension Glaucoma and Rates of Disease Progression - 2017.

23 Maurizio Manzo, Omar Cavazos A Wireless Photonic Intraocular Pressure Sensor - 2017.

24 Caitlin Brandon, Member, IEEE, Duncan Elliott, Member, IEEE, and Kambiz Moez , Senior Member, IEEE An Ultra Low-Voltage Low-Power Capacitance-to-Digital Converter for Wirelessly Powered Intraocular Pressure Sensor - 2017.

25 Laura Morales-Fernandez, MD, PhD, Javier Garcia-Bella, MD, Jose M. Martinez-de-la-Casa, MD, PhD, Rubén Sanchez-Jean, Federico Saenz-Frances, MD, PhD, Pedro Arriola-Villalobos, MD, PhD, Lucia Perucho, MD, Enrique Santos-Bueso, MD, PhD, Julian Garcia-Feijoo, MD, PhD Changes in corneal biomechanical properties after 24 hours of continuous intraocular pressure monitoring using a contact lens sensor - 2017.

26 Rishabh Bhooshan Mishra, S Santosh Kumar, Ravindra Mukhiya Analytical Modelling and FEM Simulation of Capacitive Pressure Sensor for Intraocular Pressure Sensing - 2018.

27 Wolfgang Fink, Shaun Brown, Andres Nuncio Zuniga, Eui-Hyeok Yang & Thomas George Conceptual design considerations for a wireless intraocular pressure sensor system for effective glaucoma management // Journal of Medical Engineering & Technology. - 2019.

28 Naoki Tojo, MD and Atsushi Hayashi, MD Influence of Ocular Dimensional Change on 24-Hour Intraocular Pressure Measurement With Contact Lens Sensor // ORIGINAL STUDY. - 2019.

29 Naim Lazkani, Seth Truitt, Nathan K. Kawaguchi, Aaron J. DeWolf, Cody A. Van Zant, James P. Villegas, Abbygail R. Hassel, Joshua J. Park, Creed F. Jones, Senior Member, IEEE, John Butler, Member, IEEE, and Matthew J. A. Rickard Development of a Nanofabricated Sensor for Monitoring Intraocular Pressure via Ocular Tissue Strain // - 2019.

30 Naoki Tojo, Atsushi Hayashi, Mitsuya Otsuka Correlation between 24-h continuous intraocular pressure measurement with a contact lens sensor and visual field progression // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. - 2019.

31 Lars Choritz, MD, Kaweh Mansouri, MD, PhD, Jacqueline van den Bosch, MD, Melanie Weigel, MD, H. Burkhard Dick, MD, PhD, Markus Wagner, MD, Hagen Thieme, MD, PhD, on behalf of the ARGOS study group Telemetric measurement of intraocular pressure via an implantable pressure sensor – twelve-month results from the ARGOS-02 trial // American Journal of Ophthalmology. - 2019

32 Aubrey Shapero, Abhinav Agarwal, Juan Carlos Martinez, Azita Emami, Mark S. Humayun, and Yu-Chong Tai Wireless Implantable Intraocular Pressure Sensor With Parylene-Oil-Encapsulation And Forward-Angled RF Coil // - 2019.

33 M. Hossein M. Kouhani, a Jiajia Wu, a Arman Tavakoli, Arthur J. Weberc and Wen Li Wireless, passive strain sensor in a doughnutshaped contact lens for continuous non-invasive self-monitoring of intraocular pressure // The Royal Society of Chemistry. - 2019.

34 Robert Wasilewicz, Thierry Varidel, Sonja Simon-Zoula, Mario Schlund, Sacha Cerboni, Kaweh Mansouri First-in- human continuous 24-hour measurement of intraocular pressure and ocular pulsation using a novel contact lens sensor // - 2020.

35 Hiroshi Toshida Topographical Central Island-Like Pattern After 24 Hrs of Continuous Intraocular Pressure Monitoring with a Contact Lens Sensor // International Medical Case Reports Journal. - 2020.

36 Atsuya Miki, Miho Kumoi, Naoyuki Maeda, Shizuka Koh, Kenji Matsushita, Kohji Nishida Transient changes in refractive error and corneal tomography after 24-h continuous monitoring of intraocular pressure patterns with a contact lens sensor // Japanese Journal of Ophthalmology. - 2020.

37 Sensors // AVNET.Org // <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/>