

Ларгин Александр Васильевичтің 8D06201 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған «Артериялық қысымның деңгейін болжау үшін электрокардиограмма және фотоплетизмограмма сигналдарын сандық өңдеу және интеллектуалдық талдау бағдарламалық-аппараттық құралдары мен әдісін әзірлеу» диссертациялық жұмысының

## **АННОТАЦИЯСЫ**

### **Жұмыстың өзектілігі**

Ғылым мен техниканың дамуындағы заманауи тенденциялар негізінен қоғамның әрбір мүшесінің өмір сүру сапасын жақсартуға бағытталған. Инновациялар мемлекеттік органдармен және коммерциялық құрылымдармен өзара әрекеттесуден бастап медицина мен күнделікті өмірге дейін адам қызметінің әртүрлі салаларына белсенді түрде енгізілуде. Мұндай жаңалықтар халықтың өмір сүру деңгейіне әлеуметтік процестер мен логистиканы оңтайландырумен жанама түрде де, денсаулық сақтау технологияларын жетілдірумен де оң әсерін тигізеді.

Атап айтқанда, медициналық техника саласында процестерді жаңғырту және деректермен жұмыс істеудің әрбір кезеңінде заманауи ғылыми жетістіктерді енгізуге негізделген биомедициналық ақпаратты талдаудың жаңа әдістерін іздеу негізгі міндетке айналуда. Мұндай іс-шаралар ауыр сырқаттардан кейінгі асқынулардың деңгейін төмендетуі мүмкін және қауіпті патологияларды ерте анықтауды қамтамасыз етеді, өйткені биомедициналық сигналдар организмнің жағдайы туралы маңызды ақпаратты қамтиды. Денсаулықты болжау және бақылау денсаулық сақтау мекемелеріне жүктемені азайта отырып, кең таралған аурулардың жағымсыз әсерлерінің деңгейін айтарлықтай төмендетеді.

Биомедициналық ақпаратты неғұрлым терең және сапалы талдау мәселесін шешу микроэлектроника, есептеу техникасы және инфокоммуникациялық технологиялар саласындағы елеулі технологиялық өсудің арқасында мүмкін болды.

Радиоэлектрондық өнеркәсіп жаңа жоғары интеграцияланған чиптегі жүйелерді немесе чиптегі жүйелерді (SoC) шығаруды жолға қойды. Заманауи SoC-тер процессор мен жад сияқты дәстүрлі құрамдастарды ғана емес, сонымен қатар жоғары разрядты аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ) модульдеріне негізделген биомедициналық ақпаратты өңдеуге арналған арнайы блоктарды қамтуы мүмкін. Мұндай АЦТ бір уақытта және нақты уақыт режимінде кең динамикалық диапазонда төмен амплитудалық биомедициналық сигналдардың бірнеше түрін өңдеуге қабілетті. Сонымен қатар, қазіргі заманғы SoC-да сымсыз деректерді беру модульдері бар, бұл жабдықты байланыс желілеріне біріктіру мүмкіндігін едәуір арттырады.

Өз кезегінде, инфокоммуникациялық технологияларды жетілдіру медициналық деректерді беру жылдамдығын және өңдеу тиімділігін арттырды, нақты уақыт режимінде пациенттердің диагностикасы мен мониторингін жақсартты. Телемедицина, жасанды интеллект және интернет

заттары сияқты технологияларды біріктіру шалғай аудандардағы тұрғындарға медициналық қызметтерге қолжетімділікті қамтамасыз етеді және медициналық мамандардың жетіспеушілігін шешуге көмектеседі.

Осы салаларда қол жеткізілген жетістіктер талдау әдістерін және сигналдарды цифрлық өңдеу алгоритмдерін (СЦӨ) жүзеге асыруға мүмкіндіктер ашады, олар бұрын қол жетімсіз болған немесе тек теория жүзінде белгілі болған және іс жүзінде кең қолданылмаған. Деректерді өңдеудің көп сатылы алгоритмдерін құру арқылы биомедициналық сигналдардың көп деңгейлі құрылымын зерттеуге мүмкіндік туды.

Биомедициналық ақпаратты өңдеу кезінде цифрландырудың келесі негізгі артықшылықтарын бөліп көрсетуге болады:

- итеративті алгоритмдер негізінде мәліметтерді өңдеудің көп деңгейлі жүйелерін құру мүмкіндігі;

- бағдарламалық жасақтаманы (БЖ) мобильді және стационарлық құрылғыларда орналастыруға мүмкіндік беретін әртүрлі аппараттық платформалармен үйлесімділік;

- цифрлық жүйелердің деректерін жаңғырту және көбейту мүмкіндігіне байланысты жоғары экономикалық тиімділік;

- цифрлық өңдеу спектр бойынша сипаттамалардың максималды тұрақтылығымен сигналмен жұмыс істегенде жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді;

- параметрлерді реттеудегі цифрлық әдістердің икемділігі олардың жоғары функционалдығын қамтамасыз етеді, бұл диагностикалық ақпаратты алудың қолданылатын әдістерінің алуан түрлілігі жағдайында ерекше маңызды.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, ғылым мен техниканың осы салаларындағы заманауи жетістіктер медициналық аспаптардағы диагностика мен мониторингті автоматтандыру процестерінің тиімділігін едәуір арттырады деп айтуға болады. Жаңа технологияларды енгізу медицина мамандарына шешім қабылдауды қолдау үшін жаңа құралдарды ұсына отырып, аса қауіпті және жиі кездесетін аурулармен күресуде ерекше өзектілікке ие.

Микроэлектроника және есептеу техникасы, заманауи СЦӨ алгоритмдері, инфокоммуникациялық технологиялар, сондай-ақ деректерді өндіру саласындағы технологиялардың дамуы медициналық аспаптар жасау саласындағы инновацияларды енгізудің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Бұл ретте заманауи әлеуметтік сын-қатерлер қажетті ғылыми зерттеулерді жүргізудің өзекті саласын айқындайды. Атап айтқанда, артериялық қысымды (АҚ) бақылау мәселесі өте маңызды, өйткені қазіргі уақытта халық арасында артериялық гипертензияның (АГ) таралуы өте жоғары.

2021 жылғы зерттеуге сәйкес, артериялық гипертониямен ауыратын 30-79 жас аралығындағы дүние жүзіндегі адамдар саны 1990 жылы 331 миллион әйел мен 317 миллион ер адамнан 2019 жылы 626 миллион әйел мен 652 миллион ер адамға дейін екі есе өсті. Дүниежүзілік денсаулық сақтау

ұйымының (ДДҰ) 2023 жылғы есебінде гипертония дүние жүзінде мезгілсіз өлім-жітімнің негізгі себептерінің бірі болып табылады. 30-79 жас аралығындағы 1,28 миллиард ересек адам гипертониямен ауырады, олардың көпшілігі (үштен екісі) табысы төмен және орташа елдерде тұрады. Болжам бойынша, гипертониямен ауыратын ересектердің 46%-ы өз жағдайын білмейді және гипертониямен ауыратын ересектердің жартысынан азына (42%) диагноз қойылады және емделеді. ДДҰ-ның дәл осы баяндамасында Қазақстан Республикасы туралы ақпарат келтірілген, оның қорытындысы бойынша 2019 жылы ересек тұрғындар арасында гипертонияның таралуы 42%-ды құрады, ал жүрек-қан тамырлары ауруларынан (ЖҚА) болатын өлім-жітімнің 64%-ы жоғары систолалық қан қысымымен байланысты.

Қазіргі уақытта қан қысымын анықтау үшін өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін сфигмоманометрлер кеңінен қолданылады. Бұл құрылғылар ауа қысымын өлшеуге арналған манометрден тұрады; науқастың қолына тағылатын арнайы манжета, сондай-ақ реттелетін босату клапанымен жабдықталған ауа үрлегіш. Сфигмоманометрді қолдану артерияларды қысатын манжетті қолдану салдарынан науқасқа белгілі бір қолайсыздықтар туғызады, осыған байланысты бұл әдіс скринингке ыңғайсыз, мұнда өлшеудің максималды қарапайымдылығы мен жылдамдығы қажет. Сонымен қатар, сфигмоманометрлерді қан қысымын ұзақ уақыт үздіксіз бақылау үшін пайдалану мүмкін емес, өйткені манжеттің тұрақты қысылуы науқастың қан тамырлары мен терісінің тонусына әсер етуі мүмкін.

Кәдімгі тәжірибеде қан қысымын ұзақ және үздіксіз бақылау үшін инвазивті әдіс қолданылады, онда артерияға тікелей жету үшін қан тамырына катетер енгізіледі. Бұл әдіс науқас үшін ауыртатыны анық, қарсы көрсетілімдері бар, мамандандырылған жабдықты және үнемі бақылауды қажет етеді.

Осы мән-жайларға байланысты қазіргі уақытта зерттеушілер емделушіге ең аз ыңғайсыздықпен қолайлы дәлдік деңгейін қамтамасыз ету үшін қан қысымын бағалау әдістерін іздеуге көп көңіл бөлуде. Фотоплетизмограмма (ФПГ) және электрокардиограмма (ЭКГ) сигналдарын цифрлық өңдеу және өндіру негізінде қан қысымын жанама бағалау әдістеріне көп көңіл бөлінеді.

Осылайша, сфигмоманометр манжетін пайдаланбай және жеке калибрлеуді қажет етпей, рұқсат етілген дәлдіктегі қан қысымының деңгейін инвазивті емес бағалау әдісін әзірлеу уақтылы және өзекті болып табылады.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** синхронды түрде түсірілген ФПГ және ЭКГ сигналдарының деректері бойынша АҚ деңгейін болжаудың инвазивті емес манжетсіз әдісін **әзірлеу** болып табылады. Бұл алдын ала жеке калибрлеусіз және қолайлы дәлдікпен АҚ деңгейін скрининг және мониторинг мәселесін шешу үшін жаңа өлшеу құралдарын жасауға мүмкіндік береді.

Мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** қойылды:

1. Қан қысымын дәстүрлі бақылау кезінде маңызды проблемалар мен ерекшеліктерді анықтау мақсатында ақпаратты жинау, өңдеу және талдау кезеңдерінде АҚ деңгейін бағалаудың қолданыстағы әдістерін зерттеу.

2. АҚ деңгейімен корреляцияланатын және ақпараттық белгілерді құру үшін пайдаланылуы мүмкін ең маңызды көрсеткіштерді анықтау мақсатында синхронды түрде алынатын ФПГ және ЭКГ сигналдарын талдауды орындау.

3. АҚ деңгейін болжау кезінде ақпаратты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен олардың үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін теориялық және эксперименттік зерттеулердің көмегімен ФПГ және ЭКГ үшін тиімді СЦӨ алгоритмдерін әзірлеу және іздеу.

4. Жіктеуіш пен регрессордың машиналық оқыту модельдерін (МО) оқыту үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарының репрезентативті дерекқорын қалыптастыру.

5. АҚ параметрлерін болжау үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарынан алынған ақпараттық белгілерге негізделген интеллектуалды жіктеу және регрессия алгоритмдерін әзірлеу және эксперименттік зерттеу.

6. Синхронды түрде алынатын ФПГ және ЭКГ сигналдарын цифрлық өңдеу мен зияткерлік талдаудың әзірленген әдістері негізінде АҚ деңгейін болжауға арналған бағдарламалық-аппараттық кешенін синтездеу.

### **Зерттеу әдістері**

Диссертациялық зерттеу аясында қойылған міндеттерді орындау үшін СЦӨ радиотехникалық әдістері, спектрлік және толқындық талдау құралдары, сондай-ақ үлгіні болжау мен танудың интеллектуалды алгоритмдері қолданылды. Сонымен қатар, математикалық модельдеу, сызықтық алгебра және статистикалық радиотехника әдістері қолданылды.

Эксперименттік зерттеулерді жүргізу барысында машиналық оқыту (МО), компьютерлік модельдеу және математикалық есептеулерді автоматтандыру технологиялары белсенді қолданылды.

Заманауи электронды компоненттер негізінде жасалған тіркеу жабдықтарының оңтайландырылған қондырғыларына арналған схемалық шешімдердің дизайны жүргізілді.

**Зерттеу пәні** техникалық және әдіснамалық негіздеме, сондай-ақ МО теориясының сигналдарды өңдеудің заманауи технологиялары мен құралдарын пайдалана отырып, АҚ көрсеткіштерін болжау үшін инновациялық шешімдерді жасау болып табылады.

**Зерттеу объектісі** ЭКГ және ФПГ сигналдарынан диагностикалық ақпаратты алу, өңдеу және түсіндіру процестері болып табылады.

Диссертацияның **ғылыми жаңалығы** келесі ережелер мен нәтижелерде жатыр:

1. АҚ деңгейін болжау кезінде ақпаратты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен олардың үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарын цифрлық өңдеудің тиімді алгоритмдері әзірленді.

2. Қан қысымын бағалау үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарынан маңызды ақпараттық белгілерді оқшаулау тәсілі жасалды.

3. МО құралдарының негізінде ФПГ және ЭКГ сигналдарының деректері негізінде қан қысымының үш деңгейін: төмен, қалыпты және жоғары анықтауға мүмкіндік беретін интеллектуалды классификатор моделі жасалды.

4. Деректерді зияткерлік талдау алгоритмдерінің көмегімен ФПГ және ЭКГ сигналдарының сипаттамалары негізінде систолалық, диастолалық және орташа АҚ параметрлерін болжауға мүмкіндік беретін регрессиялық модельдер жасалды.

5. Қолдың саусағынан ФПГ сигналы және синхронды түрде алынатын бірінші стандартты сымдағы ЭКГ сигналы бойынша АҚ параметрлерін нақты уақытта болжауға арналған бағдарламалық-аппараттық кешен іске асырылды.

### **Практикалық маңыздылығы**

Жұмыстың практикалық маңыздылығы зерттеуде қол жеткізілген нәтижелерді скринингтік зерттеулер үшін де, ұзақ мерзімді мониторинг үшін де қан қысымын болжаудың тиімді жүйелерін құру үшін пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Жұмыста ұсынылған әдістің арқасында үй мониторингінде қолданылатын және қолайлы дәлдікпен жұмыс істейтін жалпыға қолжетімді қан қысымын анықтау жүйелерін жасауға болады. Бұған жұмыста ұсынылған ФПГ және ЭКГ сигналдарын талдау үшін өздігінен үйренетін интеллектуалды алгоритмдерді қолдану тәсілі ықпал етеді.

АҚ деңгейін бағалаудың енгізілген аппараттық және бағдарламалық құралдары олардың ықпалдылығы мен интеграциялануына байланысты смартфондар, фитнес білезіктер немесе электронды сағаттар сияқты қарапайым киілетін электроника құрылғыларына біріктірілуі мүмкін. АҚ деңгейін бағалаудың портативті және ыңғайлы жүйелерін кеңінен қолдану келесі маңызды артықшылықтарды береді:

ЖҚА дамуын болдырмау үшін дер кезінде алдын алу шараларын қабылдау мүмкіндігі;

әр адамның бірегей ерекшеліктерін ескере отырып, жекелендірілген емдеу және денсаулықты басқару жоспарларын әзірлеу;

АҚ жоғарылауына байланысты ауыр зардаптардың ықтималдығын азайту;

деректерді жинау және емдеуші дәрігерге нақты уақыт режимінде, ағзадағы әртүрлі жағдайлар мен стресстер кезінде жіберу мүмкіндігі;

аурулардың өршуіне жол бермеу және шұғыл медициналық көмекке қажеттілікті азайту арқылы пациенттердің өмір сүру сапасын жақсарту.

### **Мемлекеттік бағдарламалармен байланыс**

Бағдарламалық-аппараттық құралдарды және қан қысымының параметрлерін болжау әдістерін әзірлеу қазақстандықтардың өмір сүру ұзақтығы мен сапасын арттыруға бағытталған «Қазақстан-2050» стратегиясының мақсаттарына қол жеткізуге ықпал етеді. Жүрек-қан тамырлары ауруларының диагностикасы мен мониторингіндегі инновациялық тәсілдер тәуекелдерді ерте анықтау және уақтылы араласуды

камтамасыз етеді, бұл елдің стратегиялық мақсаттарын жүзеге асырудағы маңызды қадам болып табылады.

Бұл диссертациялық зерттеу Қазақстан Республикасының денсаулық сақтау саласындағы мемлекеттік бағдарламалардың басымдықтарына сәйкес келеді. Атап айтқанда, жұмыс денсаулық сақтауды дамытудың 2020-2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасының халықтың денсаулығын жақсартуға және созылмалы жұқпалы емес аурулардан, соның ішінде ЖҚА-дан болатын сырқаттанушылық пен өлімді азайтуға бағытталған міндеттеріне жауап береді.

Зерттеу денсаулық сақтау технологияларын, соның ішінде телемедицина мен мобильді денсаулық сақтауды дамытуға айтарлықтай үлес қосады. Әзірленген әдіс негізінде бағдарламалық-аппараттық кешенді құру пациенттердің жағдайын қашықтықтан бақылауға мүмкіндік береді, бұл әсіресе пандемия және медициналық мекемелерге қолжетімділіктің шектелуі жағдайында өзекті.

Бұл зерттеудің әлеуметтік-экономикалық маңыздылығы асқынуларды дәл диагностикалау және алдын алу арқылы науқастарды емдеу және оңалту шығындарын азайту болып табылады. Бұл ауруханаға жатқызу жиілігін азайтуға және денсаулық сақтау жүйесіне жүктемені азайтуға ықпал етеді, бұл Қазақстан Республикасы үшін маңызды экономикалық мәнге ие.

#### **Қорғауға шығарылатын диссертацияның ережелері**

1. Синхронды тіркелген сигналдардан АҚ деңгейін болжау үшін маңызды ақпараттық белгілерді алуға мүмкіндік беретін ФПГ және ЭКГ сандық өңдеудің көп сатылы алгоритмі.

2. АҚ-ның үш деңгейін: төмен, қалыпты және жоғары анықтауға арналған әзірленген классификатор моделіне негізделген деректерді интеллектуалды талдау әдісі.

3. Систолалық, диастолалық және орташа АҚ параметрлерін болжау үшін әзірленген регрессиялық модельдерге негізделген деректерді интеллектуалды талдау әдісі.

4. Қолдың саусағынан ФПГ сигналы және синхронды түрде алынатын бірінші стандартты сымдағы ЭКГ сигналы бойынша АҚ параметрлерін нақты уақытта болжауға арналған бағдарламалық-аппараттық кешен.

#### **Жұмысты сынақтан өткізу**

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері «Қазіргі әлемдегі жаратылыстану және техникалық ғылымдардың даму тенденциялары» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында (Қазақстан, 2022); «Қазақстанның цифрлық трансформациясы: мақсаттары, міндеттері және табыстың негізгі факторлары» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында (Қазақстан, 2021); «Жастар және ғылым» халықаралық ғылыми-практикалық конференцияда (Қазақстан, 2021) баяндалды және талқыланды.

#### **Жарияланымдар**

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері 5 ғылыми жұмыста, оның ішінде уәкілетті орган бекітетін ғылыми қызметтің негізгі нәтижелерін

жариялау үшін ұсынылатын Ғылыми басылымдардың тізбесіне кіретін ғылыми журналдардағы 3 мақалада; Scopus (Скопус) деректер базасында 35-тен кем емес CiteScore (СайтСкор) бойынша процентиль көрсеткіші бар халықаралық ғылыми журналдардағы 2 мақалада; халықаралық ғылыми конференциялардың еңбектерінде, сондай-ақ авторлық куәлікте көрсетілген 3 жұмыста көрсетілген.

### **Автордың жеке үлесі**

Диссертациялық зерттеу барысында алынған негізгі эксперименттік, теориялық және практикалық нәтижелерді автор өз бетінше алды. Бірлескен авторлар ұжымы құрамында жарияланған ғылыми жұмыстарда ізденушіге қол жеткізілген нәтижелерді алу, қорыту және талдау кезінде негізгі үлес тиесілі.

### **Диссертацияның құрылымы**

Бұл диссертациялық жұмыс кіріспе бөлімнен, төрт бөлімнен тұратын негізгі бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған көздер тізімінен және қосымшадан тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 102 бетінде көрсетілген, оған 50 сурет, 13 кесте және 98 библиографиялық дереккөздер атауы кіреді.

Диссертациялық жұмыстың **бірінші** бөлімінде қолданыстағы ФПГ және ЭКГ сигналдарын пайдалана отырып, манжетті қажет етпейтін қан қысымын жанама бағалау әдістеріне талдау жүргізілді. Қан тамырлары қабырғаларының серпімділігін, қабырғалардың қалыңдығын, тамырлардың диаметрін және қанның тығыздығын қан қысымының деңгейін анықтау үшін импульстік толқын параметрлерімен байланыстыратын математикалық модельдер келтірілген. Көрсетілген калибрлеу қажеттілігі қолданыстағы болжау дәлдігін арттыруға арналған модельдер және қан қысымын скрининг және үздіксіз бақылау үшін алдын ала калибрлеуді қажет етпейтін әдісті әзірлеу бойынша ұсыныстар берілген.

Сондай-ақ бөлімде артериялық гипертензияны (АГ) жіктеудің халықаралық стандарттары келтірілген. Олардың негізінде диагностика мен бақылауды стандарттау үшін қажет систолалық және диастолалық қысымдар бойынша АҚ деңгейінің градация кестелері берілген. ФПГ және ЭКГ сигналдарының биофизикалық табиғаты зерттеліп, олардың морфологиялық сипаттамалары мен жүрек-қан тамыр жүйесіне байланысты ерекшеліктері сипатталған. Төмен жиілікті (ТЖ) және жоғары жиілікті (ЖЖ) кедергілерді қоса алғанда, сигналдарды тіркеу кезінде пайда болатын әртүрлі кедергілер сипатталған.

Осы бөлімде жүргізілген талдау қан қысымының деңгейін манжетсіз анықтаудың қолданыстағы әдістерінің кемшіліктерін анықтауға мүмкіндік береді және ФПГ және ЭКГ сигналдарының деректері негізінде артериялық гипертензияны ерте диагностикалау және бақылау үшін қолданылуы мүмкін дәлірек және әмбебап модельдерді әзірлеу қажеттілігін негіздейді.

Диссертациялық жұмыстың **екінші** бөлімінде АҚ бағалау үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарын цифрлық өңдеу процесін әзірлеу тәсілдері қарастырылады. Сүзгілеу, қалыпқа келтіру, ақпараттық белгілерді бөлу

кезеңдерін және оларды машиналық оқыту модельдеріне (МО) дайындауды қамтитын СЦӨ құрылымы сипатталған.

ЖЖ және ТЖ кедергісін сүзу алгоритмдеріне талдау жүргізілді. ЖЖ шуларын жою үшін нөлдік фазалық ығысуы бар Баттерворт сүзгілері, ал ТЖ кедергісі үшін толқындық сүзу қолданылды. Синхронды жазылған сигналдардағы фазалық бұрмалануларды азайту үшін екі бағытты сүзу және толқындық түрлендіру әдістері сипатталған, бұл талдаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Морфологиялық компоненттерді іріктеу кезеңі ЭКГ-дағы R толқыны, ФПГ-дегі систолалық максимум және минимум сияқты шыңдар мен тән нүктелерді автоматты түрде анықтауды қамтиды, бұл көп масштабты шыңдарды анықтау алгоритмімен қамтамасыз етіледі. ЭКГ және ФПГ сигналдары арасындағы пульстік толқынның таралу уақытын (ПТТУ) есептеу үшін өзара корреляцияға негізделген әдіс ұсынылған. Қан тамырларының қаттылығына, пульстік толқынның шағылысуына және т. б. байланысты қосымша ақпараттық белгілер енгізілді, олар МО модельдерін оқыту үшін қолтаңба кеңістігін қалыптастырады.

Диссертациялық жұмыстың **үшінші** бөлімінде қан қысымының деңгейін болжау үшін ФПГ және ЭКГ сигналдарын интеллектуалды талдау әдісі ұсынылған. Қойылған міндеттерді шешу үшін таңдалған МО алгоритмдерін қолданудың орындылығы негізделген. ПТТУ, жүрек соғу жиілігі сияқты 25 ақпараттық параметрлерді, сондай-ақ ФПГ сигналынан алынған деректерді қамтитын белгілер базасын қалыптастыру процесі қарастырылды. Артефактілерді жою үшін шығарындыларды сүзу жүргізілді, бұл болжау сапасын жақсартуға мүмкіндік берді. Кездейсоқ орман, k-жақын көршілер және экстремалды кездейсоқ ағаштар модельдеріне негізделген АҚ деңгейін жіктеу әдістері сипатталған, сапа көрсеткіштері бойынша SMOTE алгоритмін қолдана отырып, сынып теңгерімсіздігіне бейімделген экстремалды кездейсоқ ағаш классификаторының (ERTC) моделі ең жақсы болып шықты.

Сондай-ақ, XGBoost негізіндегі метамодель бірнеше модельдердің артықшылықтарын біріктіріп, систолалық, диастолалық және орташа қан қысымын дәлірек болжауға мүмкіндік беретін қан қысымын регрессиялық болжау үшін стекинг әдісі ұсынылды. Модельдердің қол жеткізілген сапа көрсеткіштері британдық гипертония қоғамының (BHS) және ішінара ANSI/AAMI SP10 стандарттарының талаптарына сәйкес келеді, бұл ұсынылған әдістің қан қысымын анықтау үшін қолданылуын растайды. ФПГ және ЭКГ сигналдарын интеллектуалды талдау арқылы АҚ параметрлерін бағалау әдісінің жалпы құрылымы сипатталған.

Диссертациялық жұмыстың **төртінші** бөлімінде ФПГ және ЭКГ сигналдарын интеллектуалды талдаудың әзірленген әдісі негізінде АҚ параметрлерін бағалауға арналған бағдарламалық-аппараттық кешенді (БАК) әзірлеу сипатталған. Кешенді құру үшін энергия тиімділігі, кедергіден қорғау, чипте заманауи жүйелерді (SoC), сондай-ақ мамандандырылған биосенсорларды пайдалану принциптері негіз болды.



БАК-тың аппараттық бөлігі жүйеге ESP32-WROOM-32 чипі мен MAX86150 биосенсорында салынған, ол ЭКГ және ФПГ сигналдарын синхронды тіркеуді қамтамасыз етеді. Сымсыз деректерді беру Bluetooth арқылы, сондай-ақ қамту аймағын ұлғайту үшін ESP-NOW протоколы арқылы жүзеге асырылады. Windows немесе Linux ОЖ-мен компьютерде жұмыс істейтін бағдарламалық жасақтама графикалық интерфейсті қамтиды.

БАК АҚ параметрлері туралы деректерді қашықтағы серверлерге жіберу мүмкіндігімен инфокоммуникациялық медициналық жүйелерге интеграциялауды көздейді. Кешен карантиндік стационарлардағы емделушілерде қан қысымын өлшеуге арналған тәжірибелік медициналық көмекші роботтың бөлігі ретінде сәтті сынақтан өтті.

**Қорытындыда** зерттеу нәтижелері бойынша қорытындылар ұсынылған.

#### **Диссертация тақырыбы бойынша жарияланған жұмыстар.**

1. Savostin A., Tuleshov A., Koshekov K., Savostina G., Largin A. Devising a method for predicting a blood pressure level based on electrocardiogram and photoplethysmogram signals Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 5, No. 2. – P. 62-74. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265066>.

2. Seidakhmet A., Tuleshov A., Jamalov N., Koshekov K., Abduraimov A., Largin A., Zhauyt A. Design of a complex of medical service robots and analysis of transmission characteristics of drives Journal of Applied Engineering Science. – 2022. – Vol. 20, No. 4. – P. 1242-1253. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-38656>.

3. Савостин А.А., Ларгин А.В., Савостина Г.В., Риттер Д.В., Кошекков А.К. Пульстік толқынның тән нүктелерін автоматты түрде анықтау әдісі. Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің еңбектері. – 2024. – №1 (94). – 508-510 б. DOI 10.52209/1609-1825\_2024\_1\_508.

4. Савостин А.А., Ларгин А.В., Савостина Г.В., Риттер Д.В., Кошекков А.К. Электрокардиограмма және фотоплетизмограмма сигналдары бойынша қан қысымын бағалауға арналған өлшеу құрылғысын әзірлеу. ҚазККА хабаршысы. – 2023. – № 2 (125). – 354-362 б. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2023-125-2-354-362>.

5. Савостин А.А., Савостина Г.В., Ларгин А.В. Электрокардиографиялық сигналдарды цифрлық өңдеу міндеттеріндегі желілік отты басу әдістерін талдау. Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің еңбектері. – 2022. – №1 (92). – 291-296 б. DOI 10.52209/1609-1825\_2022\_2\_291.

6. Абдуалиев Е.О., Савостин А.А., Ларгин А.В. Кәсіпорын қызметкерлерін екі факторлы сәйкестендіру жүйесі Қазіргі әлемдегі жаратылыстану және техникалық ғылымдардың даму тенденциялары: халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. – Петропавл: М.Қозыбаев ат. СҚУ, 2022. – 502-503 б.

7. Савостин А.А., Ларгин А.В., Савостина Г.В. Электрокардиосигналдарды автоматты талдау және жіктеу әдістерінің қазіргі

жағдайы мен даму перспективаларына шолу Жастар және ғылым – 2021: халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. – Петропавл: М.Қозыбаев ат. СҚУ, 2021. – 380-383 б.

8. Сейдахметов Б.К., Кошеков К.Т., Савостин А.А., Анаятова Р.К., Ларгин А.В. Deep learning технологиясын қолдана отырып, диктордың психоэмоционалды күйін автоматты түрде тану. Сандық трансформация 2021: конференция материалдары. – Алматы: Азаматтық авиация академиясы, 2021. – 28-31 б.

9. Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтер енгізу туралы куәлік. 2022 жылғы «31» қазандағы № 29850. Кошеков К.Т., Федоров И.О., Савостин А.А., Тулешов А.К., Ларгин А.В. Электрокардиограмма және фотоплетизмограмма сигналдары бойынша қан қысымын болжау әдісі.