

6D071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесі ізденісіне ұсынылған Галина Владимировна Савостинаның «Диагностиканың ақпаратты-коммуникациялық жүйесі үшін электрокардиографиялық дабылдарды сандық өңдеу және интеллектуалды талдау әдістерін әзірлеу» диссертациялық жұмысына

АНДАТПА

Жұмыстың өзектілігі.

Қазіргі уақытта ғылым мен техниканы дамытудың басты үрдістерінің бірі адам қызметінің барлық салаларында радиоэлектрондық және ақпаратты-коммуникациялық технологияларды қарқынды енгізу және пайдалану болып табылады. Атап айтқанда, дабылдарды жинау, өңдеу және талдау радиотехникалық, ақпараттық және телекоммуникациялық құралдарын қолдану, олардың негізінде медициналық аспап жасау технологияларын жетілдіру арқылы халықтың өмір сүру сапасын арттыруға тікелей ықпал етеді.

Медициналық техниканы дамытуға жаңа радиоэлектрондық компоненттердің, сандық өңдеу мен дабылдарды талдаудың тиімді әдістерінің, сондай-ақ телемедицина мен электрондық денсаулық сақтауда қажетті қазіргі заманғы телекоммуникациялық жүйелер мен есептеу техникасы құралдарының пайда болуы ықпал етеді. Ақпараттық-телекоммуникациялық технологияларды (АТТ) қолдану аясын кеңейту есебінен медициналық отырғызудың қолданыстағы әдістерінің құны мен тиімділігі олардың халық үшін қол жетімділігін бір мезгілде кеңейту арқылы төмендейді. Өз кезегінде медициналық тәжірибеде арнайы аппараттық қолдауды талап ететін диагностика мен емдеудің жаңа әдістері пайда болады.

Қазіргі заманғы медициналық аспап жасаудың маңызды міндеттерінің ішінде адам денесінің биоэлектрлік дабылдарын талдау кезінде медициналық зерттеулерді автоматтандыру деңгейін арттыру қажеттілігі қалады. Бұл дабылдар ағзаның физиологиялық жай-күйі, ағзалар мен тіндердегі патологиялық өзгерістер туралы маңызды ақпаратты алады, емдеуші дәрігерге дұрыс диагноз қоюға және тиімді емді таңдауға көмектеседі. Бұл ретте биоэлектрлік дабылдарды талдаудың техникалық құралдарынан зерттеулер жүргізуге уақытты азайту, талдау нәтижелерінің сапасы мен толықтығын арттыру үшін медициналық мамандардың шешім қабылдауын қолдауды қамтамасыз ету талап етіледі.

Мұндай жағдайда электрокардиоадабылдарды (ЭКД) талдау арқылы адамның жүрек-қантамыр жүйесін (ЖҚЖ) зерттеуді автоматтандырудан айтарлықтай әсерге қол жеткізіледі, өйткені жүрек-қантамыр ауруларын (ЖҚА) дер кезінде диагностикалау және емдеу мәселесі қазіргі қоғам үшін өте өзекті болып табылады.

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау және әлеуметтік даму министрлігінің деректері бойынша халықтың жалпы өлім-жітімінің құрылымында қан айналымы жүйесінің аурулары жетекші себеп болып

табылады (22,3%). Сондай-ақ Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының мәліметтері бойынша, бүкіл әлемдегі өлімнің негізгі себебі ЖҚА болып табылады: қандай да бір басқа себеппен болмаса да, ЖҚА-нан жыл сайын біршама адам өледі.

Қазіргі уақытта ЖҚЖ патологияларын анықтаудың негізгі құралы электрокардиография – жүректе өтетін көлемді электр үдерістерінің (электрокардиодабылдардың) дене бетінде байқалатын проекцияларын жазу болып қалады. Электрокардиограмманы тіркеу әдісі (ЭКГ) клиникалық жағдайларда максималды сынақтан өткізілген, барынша ақпараттылығы бар, сондай-ақ іске асыру үшін қолжетімді және пайдалануда арзан болып табылады. Осылайша, ЭКГ науқастың ағзасына ең аз әсер ету кезінде ЖҚЖ жағдайы туралы барынша ақпарат ұсынылады.

Осы себептер бойынша ЭКД автоматты өңдеу және талдау саласындағы шешімдерді іздеуге бірнеше он жыл бойы көп көңіл бөлінеді. Осы бағытта айтарлықтай нәтижелерге қол жеткізілсе де, бүгінгі күні ЭКГ-зерттеулерді жүргізудің жекелеген кезеңдерінің жеткіліксіз негізділігін әлі де анықтауға болады. Осылайша, іс жүзінде автоматтандырылған экспресс-диагностика әдістері жоқ, ЭКГ-жүйелердің кедергіден қорғалуын қамтамасыз ету саласында ашық сұрақтар бар және т. б. Көп жағдайда бұл ЭКД оның детерминациялануын, стационарсыздығын, өзгергіштігін және көптеген кедергілердің әсеріне ұшырауын анықтайтын биоэлектрлік табиғатымен байланысты. ЭКД қасиеттері есептерді формалдау кезінде қиындықтарды және олардың шарттарының жоғары белгісіздігін туындатады. Осыған байланысты ЭКД автоматты талдау мәселесін шешу біржақты және әмбебап тәсілді білдірмейді.

Екінші жағынан, соңғы жылдары ғана аппараттық құралдардың есептеу қуатын арттыру, сондай-ақ ақпаратты-коммуникациялық жүйелерде (АКЖ) ақпаратты беру, сақтау және өңдеу технологияларын жетілдіру арқасында дабылдарды талдаудың жаңа әдістері қол жетімді болды. Радиоэлектрониканың заманауи деңгейі кең тәжірибелік қолданусыз теорияда жақында болған уақытқа дейін дабылдарды сандық өңдеудің тиімді тәсілдерін (ДСӨ) іске асыруға мүмкіндік береді. Бұл ретте деректерді өңдеудің көп сатылы рәсімдерін құру арқылы ЭКС көп деңгейлі құрылымын зерттеу мүмкіндігі пайда болады. Дабылдарды сандық талдаудың бастапқы кезеңдерінде алынған ақпарат, осылайша нәтижелерді анықтаудың итеративтік алгоритмін ұйымдастыра отырып, келесі рәсімдер үшін пайдаланылуы мүмкін.

Сонда ЭКД өңдеу кезінде сандық жүйелердің негізгі артықшылықтарына келесі факторларды жатқызуға болады.

1. Сандық сүзу (СС) сыртқы тұрақсыздандырғыш факторлардың әсерін қоспағанда, жиілік және уақытша салаларда сипаттамалардың ең жоғары тұрақтылығы кезінде дабылдарды өңдеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етуге қабілетті.

2. Сандық әдістердің параметрлерін түзетуге тән икемділік және жеделдік дабылдарды өңдеу кезінде олардың жоғары функционалдығын

қамтамасыз етеді. Бұл диагностикалық ақпаратты алудың қолданылатын әдістерінің алуан түрлілігі жағдайында өте маңызды.

3. Нәтижелерді өңдеудің итеративті алгоритмдері бар ақпаратты өңдеудің көп деңгейлі жүйелерін құру мүмкіндігі.

4. Дабылдарды өңдеудің сандық әдістерін жүзеге асыру әр түрлі аппараттық платформаларда, мобильді немесе стационарлық тіркеушілерде, жергілікті немесе таратылған ақпараттық-өлшеу жүйелерінде өрістетуге кезінде барынша әмбебап. Мұндай әдістерді жаңғырту және тираждау экономикалық жағынан неғұрлым тиімді.

Өз кезегінде ақпараттық-телекоммуникациялық желілерді ғаламдық дамыту бұрынғы қашықтықтан зерттеудің ақпараттық-өлшеу жүйелерін құру бойынша жаңа мүмкіндіктерді ашады. Мұндай жүйелерге әлеуметтік тапсырыс өте жоғары, өйткені олар білікті медициналық қызмет көрсетуге жаппай қолжетімділікті қамтамасыз етуге, еркін белсенділік жағдайында амбулаториялық мониторингті ұйымдастыруға, ерте диагностиканы жүргізуді жеңілдетуге, науқастарды қашықтықтан бақылауды жүзеге асыруға және жинақталған ақпаратты тиімді пайдалану мен басқаруды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Таратылған тіркеуші құрылғылардың көп санынан диагностикалық маңызды деректерді шоғырландыру зерттелетін аурулар туралы репрезентативті білім базасын құруға мүмкіндік береді. Бұл ретте автоматтандырылған медициналық диагностиканың нашар қалыптасатын міндеттерін шешу үшін жаңа құралдар беруге қабілетті машиналық оқыту әдістерін пайдалану мүмкіндігі пайда болады. Өз еркімен оқылатын алгоритмдер негізінде талдаудың зияткерлік әдістері алынған деректердің үлкен көлемін өңдеу есебінен зерттелетін нысандардың белгілерінің көп өлшемді кеңістігінде жасырын заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда ЭКД-дан ЭКГ-ны қолмен шифрлеу кезінде алуға мүмкін емес ақпарат алынуы мүмкін.

ДСӨ-дің радиотехникалық әдістері және деректерді интеллектуалды талдауы ЖҚА ерте диагностикалауда талап етілген. Оның шешімі мамандандырылған емес медициналық мекемелерде ЭКД инвазивті емес экспресс-зерттеулер жүргізуді талап етеді. Нәтижесінде білікті персонал болмаған кезде ЭКГ-ны алуды қамтамасыз ететін арнайы мобильдік тіркеушілердің көп санына қажеттілік артады. Мұндай жабдықты әзірлеу биопотенциалдарды тіркеу жүйесінің жоғары кедергіге төзімділігін қамтамасыз етуді талап етеді, бұл күрделі құрылымдық-алгоритмдік міндет болып табылады.

Бұл ретте ЭКД тіркейтін мобильдік құрылғылар пайдалану қарапайым және өндірісте қымбат емес болуы тиіс. Бұл талаптарға толық көлемде заманауи дабылдық процессорлар мен аналого-сандық түрлендіргіштер (АСТ) базасында олар үшін белгіленген артықшылықтары бар ДСӨ жүйелерін ғана қанағаттандыруы мүмкін. Өз кезегінде, ЭКС зияткерлік талдауды пайдалану жүргізілетін зерттеулерді автоматтандыру деңгейін арттыруға қабілетті.

Сондықтан электрокардиографиялық зерттеулерді автоматтандыру мәселесінің ағымдағы жай-күйі негізінде қазіргі заманғы ДСӨ құралдарын қолдануға және деректерді зияткерлік талдауға бағытталған ЭКД өңдеу және талдау әдістерін одан әрі жетілдіру жолдарын іздеу үлкен өзектілікке ие деп айтуға болады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты сандық өңдеу және ЭКД интеллектуалды талдау радиотехникалық әдістерін құру және оңтайландыру жолымен автоматтандырылған электрокардиографиялық жүйелердің функционалдық және диагностикалық сипаттамаларының сапасын арттыру болып табылады.

Ұсынылатын әдістердің мәні ЭКД-ды тіркеу жүйесін оңтайландырудан және ЖҚА-ды автоматты түрде детектендіру бойынша жаңа тәсілдерді әзірлеуден тұруы тиіс. Телемедицина және сандық Денсаулық сақтау жүйелерінде қазіргі заманғы таралуын және өсіп келе жатқан қажеттілікті ескере отырып, ұсынылатын шешімдер медициналық АҚЖ-ге интеграциялануға және олардың артықшылықтарын тиімді пайдалануға қабілетті болуы тиіс.

Қойылған мақсатқа жету үшін диссертациялық жұмыс шеңберінде келесі **міндеттер** шешіледі.

1. ЭКД автоматты талдау кезінде бар мәселелерді анықтау мақсатында ақпаратты жинау, өңдеу және талдау кезеңдерінде ЭКГ-диагностика үдерісінің жалпы құрылымын зерттеу.

2. Кедергілерді тіркеумен қатар жүретін кедергілерді басу және ақпаратты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін ЭКД теориялық және эксперименттік зерттеулер арқылы СС тиімді әдістерін әзірлеу және іздеу.

3. Әр түрлі ЭКГ-зерттеулерді жүргізу кезінде, оның ішінде автоматтандыру құралдарын қолдана отырып ЭКД кедергілерін ілеспе тіркеуді басу үшін СС әдістерін пайдалану бойынша ұсынымдар әзірлеу.

4. Жіктегіштің зияткерлік моделін оқыту үшін ЭКД жазбаларының репрезентативті базасын қалыпта және патологияда қалыптастыру. Медициналық зерттеулердің ерекшеліктеріне сәйкес оқыту дерекқорларын қолдану әдістемесін анықтау.

5. Шешім қабылдауды қолдау үшін ЖҚЖ патологиялық жағдайларын автоматты алдын-ала диагностикалау үшін ЭКД жіктеудің зияткерлік алгоритмдерін әзірлеу және тәжірибелік зерттеу.

6. Автоматтандырылған алдын-ала ЭКГ-диагностика жүйесінде қолдану үшін жүрек биопотенциалдарын алу трактісінің аппараттық қамтамасыз ету құрылымын оңтайландыру.

7. ЭКГ-диагностиканың алдын-ала автоматтандырылған ақпаратты-коммуникациялық жүйесінің аппараттық-бағдарламалық үлгісін сандық өңдеу және ЭКД интеллектуалды талдау әдістерінің негізінде синтездеу.

Зерттеу әдістері.

Диссертациялық жұмыста қойылған міндеттерді шешу үшін дабылдарды сандық өңдеудің радиотехникалық әдістері, спектралды және вейвлетті талдау, бейнелерді айырудың зияткерлік әдістері, сызықтық алгебра мен статистикалық радиотехниканың математикалық үлгілеу құралдары қолданылды.

Эксперименттік зерттеулерді орындау барысында компьютерлік үлгілеу және математикалық есептеулерді автоматтандыру құралдары белсенді қолданылды. Радиоэлектрондық компоненттердің заманауи базасы негізінде тіркеу аппаратурасының оңтайландырылған тораптарының схемотехникалық шешімдерін әзірлеу жүргізілді.

Зерттеу пәні ЭКГ-зерттеулер жүргізу кезінде ЖҚЖ жағдайы туралы шынайы диагностикалық ақпарат алу үдерісі болып табылады.

Зерттеу нысаны сандық өңдеудің радиотехникалық әдістері және ЭКД интеллектуалды талдауы болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың **ғылыми жаңалығы** келесі ережелер мен нәтижелерге негізделген.

1. Ақпаратты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен олардың үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін ЭКД сандық сүзу алгоритмдерінің сапасын бағалау әдістемесі мен ақпараттық өлшемдер ұсынылды.

2. ЭКГ-деректерді кейіннен автоматты талдау үшін пайдалы дабыл нысанын ең аз өзгертуді қамтамасыз ететін ЭКД-ға кедергілер кешенін басудың тиімді көп сатылы алгоритмі әзірленді.

3. Алдын-ала автоматтандырылған диагностика үшін ЭКД-дан маңызды ақпараттық белгілерді бөлуге жалпы көзқарас қалыптасқан.

4. ЖҚА алдын-ала автоматтандырылған диагностика үшін зерттелетін нысандардың масштабты оқыту базасын қолдана отырып, машиналық оқыту алгоритмдері базасында деректерді зияткерлік талдау әдістерін қолдану ұсынылды.

5. Бинарлық жіктегіштің үлгісі түрінде ЭКД жазбалары бойынша әртүрлі жерде орналасқан миокард инфарктісін алдын-ала автоматтандырылған диагностикалау әдістемесі ұсынылды.

Тәжірибелік маңыздылығы.

Жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы медициналық АҚЖ құрамында ЖҚЖ ауруларының автоматтандырылған экспресс-диагностикасын орындауға мүмкіндік беретін ЭКД мобильдік талдағыштарын құру үшін зерттеуде қол жеткізілген нәтижелерді пайдалану мүмкіндігі болып табылады.

Ұсынылған тиімді СС әдістерінің арқасында тіркеуші ЭКГ-аппаратураның құрылымын жеңілдету және динамикалық диапазонын кеңейту мүмкіндігі пайда болады.

ЭКД талдау үшін өз бетінше оқитын зияткерлік алгоритмдерді пайдалану бойынша жұмыста ұсынылатын тәсіл жүргізілген зерттеулердің дәлдігі мен нәтижелілігін арттыруға және медициналық мамандар үшін шешім қабылдауды қолдау жүйесін іске асыруға мүмкіндік береді.

Диагностиканың ақпаратты-коммуникациялық жүйесін іске асыру арқылы талданатын үлгілердің масштабталатын базасы есебінен классификатор

үлгісін оқыту әдісі оқыту деректерінің шектеулі болуы жағдайында күрделі міндеттерді шешу үшін басқа салаларда тәжірибеде қолданылуы мүмкін.

Мемлекеттік бағдарламалармен байланыс.

Қазақстан Республикасының Тұңғыш Президенті Н. Назарбаевтың 2018 жылғы 10 қаңтардағы «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері» атты Қазақстан халқына Жолдауында ауруларды диагностикалау мен емдеудің тиімділігін арттыратын генетикалық талдау, жасанды интеллект технологияларын медицинаға енгізуге кірісу талап етілетіні атап көрсетілген. Бұл орайда осы диссертациялық жұмыс медициналық техниканы дамытудың қазіргі заманғы бағытына қойылатын тұжырымдалған талаптарға толық сәйкес келеді.

Осы диссертациялық жұмыстың зерттеу нәтижелері 2016-2020 жылдарға арналған «Денсаулық» Қазақстан Республикасының Денсаулық сақтау жүйесін дамытудың мемлекеттік бағдарламасында айтылған ақпараттық-коммуникациялық технологияларды дамыту міндеттерін шешуге бағытталған. Атап айтқанда, бұл бағдарлама мобильді медициналық құрылғылардың көмегімен науқастардың денсаулық жағдайының қашықтан автоматтандырылған мониторингі, ұлттық телемедициналық желіні кеңейту, науқастарды дербес стационарлық компьютерлер мен смартфондарды пайдалана отырып бақылау сияқты инновациялық АТТ енгізуді қолдауды көздейді.

Сондай-ақ ҚР Тұңғыш Президенті Н. Назарбаевтың «Қазақстан – 2050 «Стратегиясы: қалыптасқан мемлекеттің жаңа саяси бағыты» Жолдауында Ұлт денсаулығы - біздің табысты болашағымыздың негізі деп атап көрсетілген. Негізгі басымдықтардың бірі «смарт-медицина», қашықтықтан алдын алу және емдеу, әсіресе үлкен аумақты ескере отырып, «электрондық медицина» қызметтерін енгізу болып табылады.

Жұмыста ұсынылатын диагностикалық ақпаратты талдаудың зияткерлік әдістері ҚР электрондық денсаулық сақтауды дамытудың 2013-2020 жылдарға арналған тұжырымдамасымен келісіледі, ол жоғары сапалы статистикалық, талдамалық және қаржылық деректердің қоймасын қамтитын ұлттық денсаулық сақтау депозитарийін ұйымдастыруды көздейді.

Қорғауға шығарылатын диссертацияның ережелері.

1. ЭКГ-ақпаратты автоматты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен үйлесімділікті қамтамасыз ететін бөгеуілдерді ілеспе тіркеу кешенін басу үшін ЭКС тиімді сандық сүзу үдерісі.

2. Алдын-ала автоматтандырылған ЭКГ-диагностика барысында ақпараттық белгілердің селекциясы үшін ЭКД сандық өңдеу әдістемесі.

3. ЭКД жазбалары бойынша әртүрлі жерде орналасқан миокард инфарктісін бинарлық жіктеу әдісі.

4. Алынған нәтижелердің интерпретациялануын қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін зерттелетін нысандар белгілерінің масштабталған оқыту базасын қолдана отырып, ЭКД-дың зияткерлік талдауына көзқарас.

5. Алдын-ала автоматтандырылған ЭКГ-диагностиканың ақпаратты-коммуникациялық жүйесінің аппараттық-бағдарламалық үлгісі.

Жұмыстың апробациясы.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері баяндалды және талқыланды: Халықаралық ғылыми конференция «International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation» (AMMS, Қытай, 2017); Халықаралық ғылыми конференция «IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering» (ICPCSI-2017); XIV Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция «Ғылым және білім шексіз – 2018» (Польша); XLIII Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция «Қазіргі ғылымдағы инновациялық тәсілдер» (Ресей, 2019); «Jastar iyly» (Қазақстан) арналған «Жастар және ғылым 2019» атты IV Халықаралық студенттік ғылыми-тәжірибелік конференциясы; Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция «Заманауи ғылыми зерттеулер мәселелері» (Ресей, 2019)

Жарияланымдар.

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері 16 ғылыми жұмыстарда, оның ішінде уәкілетті орган бекітетін ғылыми қызметтің негізгі нәтижелерін жариялау үшін ұсынылатын ғылыми басылымдардың тізбесіне кіретін ғылыми журналдардың 4 мақаласында; Clarivate Analytics және Scopus компаниясының Journal Citation Reports деректері бойынша нөлдік емес импакт-факторы бар халықаралық ғылыми журналдардың 3 мақаласында; Халықаралық ғылыми конференциялардың еңбектерінде көрсетілген 6 жұмысында, оның ішінде 5 шетелдік (Scopus деректер қорында 1 индекстелген); Халықаралық рецензияланатын ғылыми журналдардың 2 мақаласында, сондай-ақ патентте.

Автордың жеке қосқан үлесі.

Диссертациялық зерттеуді өткізу барысында алынған негізгі эксперименталды және теориялық нәтижелер автордың өзімен алынды. Бірлескен авторлар ұжымы құрамындағы жарияланған ғылыми жұмыстарда ізденушіге қол жеткізілген нәтижелерді алу, қорыту және талдау кезінде негізгі үлес тиесілі.

Диссертацияның құрылымы.

Аталған диссертациялық жұмысы белгілер мен қысқартулар тізімінен, кіріспе бөліктен, негізгі бөліктен, төрт бөлімді қосатын қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және үш қосымшадан тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 136 беттерінде жазылған, 54 сурет, 8 кесте және 128 библиографиялық қайнар көздері атауларынан тұрады.

Жұмыстың **бірінші бөлімінде** электрокардиографиялық ақпаратқа автоматты талдауды өткізу кезінде дабылдарды өңдеу мәселелері мен ерекшеліктері зерттеледі. Тіркеу және автоматты талдау әдістерін әзірлеу кезінде ЭКД жаңа оң нәтижелерге ДСӨ үшін жоғары өнімді аппараттық қамтамасыз етуді пайдалану кезінде, сондай-ақ ЭКГ-ақпаратты өңдеу үшін ИКС интеграциялық мүмкіндіктерін диагностикалау үдерісінде енгізу кезіне қол жеткізілуі мүмкін екені анықталды. Әр түрлі электрокардиологиялық міндеттерді шешу кезінде кедергілерді тіркеумен қатар жүретін тіркеуді басу үшін сүзгілеудің онтайлы әдістерін анықтау қажеттілігі көрсетілген. Сондай-ақ машиналық оқыту алгоритмдері базасында дабылдарды интеллектуалды талдау

жолымен ЭКГ жіктеудің анағұрлым жетілдірілген тәсілдерін іздестіру қажеттілігі анықталды.

Екінші бөлімде кез келген ЭКГ-зерттеулерді жүргізу кезінде ЭКД-ға кедергінің сапалы сүзілуі үлкен диагностикалық мәнге ие екендігі анықталды. Алайда, төмен жиілікті бөгеуілдерді жою оның жиілік ауқымына байланысты елеулі қиындықтармен ұштасады. Бүгінгі таңда ұсынылатын оны жою әдістері алынатын нәтижелердің сапасы бойынша жүйеленбеген. Осыған байланысты бұрынғы кедергілерді басудың қолданыстағы әдістеріне, сондай-ақ жұмыста ұсынылған жаңа және оңтайландырылған алгоритмдерге теориялық және тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Ол үшін ақпараттық өлшемдер анықталды және ақпаратты өңдеудің кейінгі кезеңдерімен олардың үйлесімділігін қамтамасыз ету үшін ЭКД сандық сүзу алгоритмдерінің сапасын бағалау әдістемесі ұсынылды. Жүргізілген зерттеулер негізінде әр түрлі ЭКГ-зерттеулерді жүргізу кезінде ЭКД кедергілердің ілеспе тіркеуін басу үшін, оның ішінде зияткерлік талдаудың препроцессингі кезеңінде автоматтандыру құралдарын қолдану арқылы СС әдістерін пайдалану бойынша ұсынымдар қалыптастырылды.

Үшінші бөлімде машиналық оқыту әдістерімен (МО) ЭКГ-деректерді зияткерлік талдаудың тиімділігі мен болашағы көрсетілген. Ол үшін МО алгоритмдерінің әртүрлі типтеріне зерттеу жүргізілді. Автоматтандырылған алдын-ала диагностика үшін олардың негізінде алынған жіктеу нәтижелерін түсіндіруді орындауға мүмкіндік беретін МО алгоритмдерін пайдалану қажет екендігі анықталды. Сонымен қатар, ЭКГ-деректерді автоматты интеллектуалды талдау үшін пайдалы дабыл формасының ең аз өзгеруін қамтамасыз ететін ЭКД кедергілер кешенін басудың тиімді көпсатылы алгоритмі әзірленді. МО алгоритмдері базасында ЭКД жіктеуішінің үлгісін құру үдерісінде қалыптасқан талаптардың арқасында жіктеудің оңтайлы алгоритмін іздеу орындалды. Бұдан басқа, жіктеу нысандарының ақпараттық белгілерін іріктеу схемасы ұсынылады. Белгіленген нәтижелердің арқасында алдын-ала диагностика жүргізу үшін нысандардың ақпараттық белгілерінің аз саны мен жіктелуінің жоғары дәлдігімен бір бөлікте ИМ детектеу бойынша шешім табылды. Тек қана II-ші стандартты бұруды пайдаланудан басқа, жұмыста ұсынылған детекторлау әдісінің ерекше ерекшелігі ол үлгісі үшін алгоритм жұмысын тұрақты оңтайландыру үшін масштабталатын белгілер базасы $k = 9$ көршілері бар kNN жіктеуішін қолдану болып табылады.

Төртінші бөлімде МО алгоритмдерін және масштабты деректер базасын пайдалана отырып, ұсынылған ЭКГ-деректерді зияткерлік талдау қағидалары негізінде автоматтандырылған алдын-ала ЭКГ-диагностика үшін ақпаратты-коммуникациялық жүйені құрудың тұжырымдамалық үлгісі әзірленді. Бұл жүйенің ұсынылған аппараттық-бағдарламалық үлгісі ЖҚЖ қауіпті ауруларын алдын-ала диагностикалау, медициналық мамандардың диагностикалық шешім қабылдауына көмек көрсету, сондай-ақ қажет болған жағдайда телеметриялық кардиография сеанстарын қамтамасыз ету үшін қазіргі заманғы ақпараттық және телекоммуникациялық технологияларды пайдалануды білдіреді. Әр түрлі ЭКГ-зерттеулерде пайдаланылатын бұрылыстардың түрі мен санын таңдауда

жинақылықпен және әмбебаптықпен ерекшеленетін ЭКД тіркеу құрылғыларын жаңғыртудың тиімді нұсқасы ұсынылған. Аналогтық-сандық түрлендіруді орындау үшін қазіргі заманғы радиоэлектрондық компоненттерді пайдалану ЭКД алдын-ала сүзу үдерісінің сапасын оны ДСӨ құралдарымен жүзеге асыру жолымен оңтайландыруға және арттыруға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің жиынтығы ЭКГ-ны ДСӨ құралдарымен автоматты өңдеуді орындау сапасын арттыру туралы бекітуге мүмкіндік береді. Өз кезегінде, ЭКД-ның зияткерлік талдауы автоматтандырылған алдын-ала ЭКГ-диагностиканың ақпаратты-коммуникациялық жүйесі құрамында ЖҚЖ жіктеу міндетін шешу кезінде тиімді.

Диссертация тақырыбы бойынша жарияланған жұмыстар.

1. Alexander Kashevkin, Yuriy Klikushin, Abay Koshekov, Bibigul Kosheкова, Sergey Latypov, Natalya Kalantayevskaya and Galina Savostina Computer Diagnostic and Monitoring Device Based on the Theory of Identification Measurement of Signals. International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation (AMMS 2017). Shanghai. 2017. Vol. 153. PP. 391 – 395.

2. Кошеков К.Т., Кликушин Ю.Н., Кашекин А.А., Латыпов С.И., Софьина Н.Н., Савостина Г.В., Кошеков А.К. Интеллектуальная система диагностики нефтегазового оборудования. «Дефектоскопия» ФГУП «Академический, научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука». Екатеринбург. №4. 2018. С. 31 – 41.

3. А.А. Савостин, Г.В. Савостина Применение искусственной нейронной сети для бинарной классификации электрокардиографических данных. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Усть-Каменногорск. 2018. №3. Т. II. С. 85 – 90.

4. А.А. Савостин, Д. В. Риттер, Г.В. Савостина, А. К. Кошеков Сравнительный анализ алгоритмов устранения низкочастотной помехи электрокардиосигнала. Научно-технический журнал «Измерительная техника». Москва. 2018. №7. С. 66 – 72.

5. Klikushin Y.N., Kosheкова B.V., Koshekov A.K., Kashevkin A.A., Savostina G.V., Astapenko N.V. The Method for Identification Complex Signals using the Example of Preliminary Diagnosis of a Myocardial Infarction. IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering. ICPCSI 2017. 2018. PP 6 – 11.

6. Koshekov K.T., Klikushin Y.N., Kashevkin A.A., Latypov S.I., Sof'ina N.N., Savostina G.V., Koshekov A.K. An Intelligent System for Vibrodiagnostics of Oil and Gas Equipment. Russian Journal of Nondestructive Testing. April 2018. Vol. 54. Issue 4. PP. 249 – 259.

7. Savostin A.A., Savostina G.V., Ritter D.V., Koshekov A.K. Comparative Analysis of Algorithms for Elimination of Low-Frequency Noise in Electrocardio-Signals. Measurement Techniques, 2018. Vol. 61, No. 7, PP. 738 – 743.

8. А.А. Савостин, К.Т. Кошеков, Г.В. Савостина, А.В. Ларгин Применение деревьев решений для классификации электрокардиограмм.

Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. № 4(84). 2018. С. 112 – 116.

9. Савостина Г.В. Вейвлетная фильтрация низкочастотной помехи в электрокардиографическом сигнале. Материалы XIV международной научно-практической конференции «Наука и образование без границ – 2018». Пшемысль, Польша. 7 – 15 декабря 2018. Т.19. С. 49-53.

10. Г.В. Савостина, С.И. Латыпов, Д.В. Риттер Анализ методов подавления высокочастотных искажений при электрокардиографических измерениях. Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №4(4) (43). 2018. С. 85-91.

11. Кошеков К.Т., Савостина Г.В., Ларгина И.А. Применение вейвлетного анализа для подавления высокочастотных помех в электрокардиосигнале. Вестник Павлодарского государственного университета. № 4 (2018). С. 247 – 256.

12. Савостина Г.В., Савостин А.А., Ларгина И.А. Применение имитационного моделирования для проектирования и исследования современных инфокоммуникационных сетей. XLIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные подходы в современной науке». Москва. №7(43). 2019. С. 78 – 86.

13. Савостина Г.В., Ларгина И.А. Модернизация аналогового тракта съема биопотенциалов для интеллектуальной системы анализа ЭКГ. Материалы IV международной студенческой научно-практической конференции «Молодежь и наука 2019», посвященной «Jastar iyly», С. 104 – 108.

14. Савостин А. А., Савостина Г.В., Кошеков К. Т., Ларгин А. В. Сравнительный анализ методов машинного обучения при определении инфаркта миокарда по записям электрокардиограмм. Материалы международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований». Омск, РФ. 2019, С. 40 – 44.

15. Савостин А.А., Савостина Г.В., Кошеков К.Т. Патент РК на полезную модель «Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда». Патент РК на полезную модель № 4516. Номер заявки 2019/0431.2. Дата подачи заявки 06.05.2019.

16. A.A. Savostin, G.V. Savostina, D.V. Ritter Using the K-Nearest Neighbors Algorithm for Automated Detection of Myocardial Infarction by Electrocardiogram Data Entries. Pattern Recognition and Image Analysis. 2019. Vol. 29. № 4. PP. 730–737.

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Савостиной Галины Владимировны «Разработка методов цифровой обработки и интеллектуального анализа электрокардиографических сигналов для инфокоммуникационной системы диагностики», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Актуальность работы.

В настоящее время одной из главных тенденций развития науки и техники является интенсивное внедрение и использование радиоэлектронных и инфокоммуникационных технологий во всех сферах человеческой деятельности. В частности, применение радиотехнических, информационных и телекоммуникационных средств сбора, обработки и анализа сигналов напрямую способствует повышению качества жизни населения, благодаря совершенствованию на их основе технологий медицинского приборостроения.

Развитию медицинской техники способствует появление новых радиоэлектронных компонентов, эффективных методов цифровой обработки и анализа сигналов, а также современных телекоммуникационных систем и средств вычислительной техники, необходимых в телемедицине и электронном здравоохранении. За счет расширения сферы применения информационно-телекоммуникационных технологий (ИТТ) снижается стоимость и эффективность существующих методов медицинского обслуживания при одновременном расширении их доступности для населения. В свою очередь в медицинской практике появляются новые методы диагностики и лечения, требующие специальной аппаратной поддержки.

Среди важнейших задач современного медицинского приборостроения остается необходимость повышения уровня автоматизации медицинских исследований при анализе биоэлектрических сигналов тела человека. Данные сигналы несут важную информацию о физиологическом состоянии организма, возможных патологических изменениях в органах и тканях, помогают лечащему врачу поставить правильный диагноз и выбрать эффективное лечение. При этом от технических средств анализа биоэлектрических сигналов требуется обеспечение поддержки принятия решений медицинскими специалистами для снижения времени на проведение исследований, повышения качества и полноты результатов анализа.

В такой ситуации значительный эффект достигается от автоматизации исследований сердечно-сосудистой системы (ССС) человека посредством анализа электрокардиосигналов (ЭКС), так как проблема своевременного диагностирования и лечения сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) является чрезвычайно актуальной для современного общества.

По данным Министерства здравоохранения и социального развития Республики Казахстан заболевания системы кровообращения в структуре общей смертности населения являются ведущей причиной (22,3%). Так же по

данным Всемирной организации здравоохранения ССЗ являются основной причиной смерти во всем мире: ни по какой другой причине ежегодно не умирает столько людей, сколько от ССЗ.

На данный момент основным инструментом выявления патологий ССС остается электрокардиография – запись наблюдаемых на поверхности тела проекций объемных электрических процессов (электрокардиосигналов), протекающих в сердце. Метод регистрации электрокардиограмм (ЭКГ) максимально апробирован в клинических условиях, обладает наибольшей информативностью, а также является доступным для реализации и недорогим в использовании. Таким образом, ЭКГ предоставляет максимум информации о состоянии ССС при минимальном воздействии на организм пациента.

По этим причинам поиску решений в области автоматической обработки и анализа ЭКС уделяется большое внимание уже на протяжении нескольких десятков лет. Хотя в данном направлении достигнуты значительные результаты, на сегодняшний день все еще можно выявить недостаточную обоснованность отдельных этапов проведения ЭКГ-исследований. Так фактически отсутствуют методы автоматизированной экспресс-диагностики, есть открытые вопросы в области обеспечения помехозащищенности ЭКГ-систем и др. Во многом это связано с биоэлектрической природой ЭКС, определяющей его недетерминированность, нестационарность, изменчивость и подверженность влиянию многочисленных помех. Свойства ЭКС порождают трудности при формализации задач и высокую неопределенность их условий. В связи с этим решение проблемы автоматического анализа ЭКС не подразумевает однозначного и универсального подхода.

С другой стороны, только в последние годы стали доступны новые методы анализа сигналов благодаря повышению вычислительной мощности аппаратных средств, а также совершенствованию технологий передачи, хранения и обработки информации в инфокоммуникационных системах (ИКС). Современный уровень радиоэлектроники позволяет реализовать эффективные способы цифровой обработки сигналов (ЦОС), до недавнего времени существовавших в теории без широкого практического использования. При этом появляется возможность исследования многоуровневой структуры ЭКС посредством создания многоступенчатых процедур обработки данных. Информация, полученная на начальных этапах цифрового анализа сигналов, может быть использована для последующих процедур, тем самым организуя итеративный алгоритм уточнения результатов.

Тогда к основным преимуществам цифровых систем при обработке ЭКС можно отнести следующие факторы.

1. Цифровая фильтрация (ЦФ) способна обеспечить высокую точность обработки сигналов при максимальной стабильности характеристик в частотной и временной областях, исключая влияние внешних дестабилизирующих факторов.

2. Характерная гибкость и оперативность в корректировке параметров цифровых методов обеспечивает их высокую функциональность при обработке

сигналов. Это особенно важно в условиях большого разнообразия применяемых методов извлечения диагностической информации.

3. Возможность создания многоуровневых систем обработки информации с итеративными алгоритмами обработки результатов.

4. Реализация цифровых методов обработки сигналов наиболее универсальна при развертывании на различных аппаратных платформах, мобильных или стационарных регистраторах, локальных или распределенных информационно-измерительных системах. Модернизация и тиражирование таких методов экономически более выгодно.

В свою очередь глобальное развитие информационно-телекоммуникационных сетей открывает новые возможности по созданию информационно-измерительных систем дистанционного исследования ЭКС. Социальный заказ на такие системы очень высок, так как они позволяют обеспечить повсеместный доступ к квалифицированному медицинскому обслуживанию, организовать амбулаторный мониторинг в условиях свободной активности, упростить проведение ранней диагностики, реализовать дистанционное наблюдение больных и эффективное использование и управление накопленной информацией.

Аккумуляция диагностически значимых данных с большого числа распределенных регистрирующих устройств позволит создать репрезентативную базу знаний об исследуемых заболеваниях. При этом появляется возможность использования методов машинного обучения, способных дать новые инструменты для решения плохо формализуемых задач автоматизированной медицинской диагностики. Интеллектуальные методы анализа на основе самообучающихся алгоритмов позволяют выявлять скрытые закономерности в многомерном пространстве признаков исследуемых объектов, за счет обработки больших объемов полученных данных. В этом случае из ЭКС может быть извлечена информация, которую в принципе невозможно получить при ручной расшифровке ЭКГ.

Радиотехнические методы ЦОС и интеллектуального анализа данных востребованы в задаче ранней диагностики ССЗ. Ее решение требует проведения неинвазивных экспресс-исследований ЭКС в неспециализированных медицинских учреждениях. В результате возрастает потребность в большом числе специальных мобильных регистраторов, обеспечивающих съем ЭКГ в отсутствие квалифицированного персонала. Разработка такого оборудования требует обеспечения высокой помехоустойчивости системы регистрации биопотенциалов, что является сложной структурно-алгоритмической задачей.

При этом такие мобильные устройства регистрации ЭКС должны быть просты в эксплуатации и недорогими в производстве. Очевидно, что данным требованиям в полном объеме могут удовлетворять только системы ЦОС с обозначенными для них преимуществами, на базе современных сигнальных процессоров и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). В свою очередь, использование интеллектуального анализа ЭКС способно повысить уровень автоматизации проводимых исследований.

Таким образом, на основании текущего состояния проблемы автоматизации электрокардиографических исследований, можно утверждать, что поиск путей по дальнейшему совершенствованию методов обработки и анализа ЭКС, ориентированных на применение современных средств ЦОС и интеллектуального анализа данных имеет большую актуальность.

Цель диссертационной работы.

Целью диссертационной работы является повышение качества функциональных и диагностических характеристик автоматизированных электрокардиографических систем путем создания и оптимизации радиотехнических методов цифровой обработки и интеллектуального анализа ЭКС.

Сущность предлагаемых методов должна заключаться в оптимизации системы регистрации ЭКС и выработке новых подходов по автоматическому детектированию ССЗ. Учитывая современную распространенность и возрастающую потребность в системах телемедицины и цифрового здравоохранения, предлагаемые решения должны быть способны интегрироваться в медицинские ИКС и эффективно использовать их преимущества.

Для достижения поставленной цели в рамках диссертационной работы решаются следующие **задачи**.

1. Исследование общей структуры процесса ЭКГ-диагностики на этапах сбора, обработки и анализа информации с целью выявления существующих проблем при автоматическом анализе ЭКС.

2. Разработка и поиск эффективных методов ЦФ ЭКС посредством теоретических и экспериментальных исследований для подавления сопутствующих регистрации помех и обеспечения совместимости с последующими стадиями обработки информации.

3. Выработка рекомендаций по использованию методов ЦФ для подавления сопутствующих регистрации ЭКС помех при проведении различных ЭКГ-исследований, в том числе с применением средств автоматизации.

4. Формирование репрезентативной базы записей ЭКС в норме и при патологиях для обучения интеллектуальной модели классификатора. Определение методики использования обучающих баз данных в соответствии с особенностями медицинских исследований.

5. Разработка и экспериментальное исследование интеллектуальных алгоритмов классификации ЭКС для автоматизированной предварительной диагностики патологических состояний ССС для поддержки принятия решений.

6. Оптимизация структуры аппаратного обеспечения тракта съема биопотенциалов сердца для использования в системе автоматизированной предварительной ЭКГ-диагностики.

7. Синтез аппаратно-программной модели инфокоммуникационной системы предварительной автоматизированной ЭКГ-диагностики на базе

разрабатываемых методов цифровой обработки и интеллектуального анализа ЭКС.

Методы исследования.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач применялись радиотехнические методы цифровой обработки сигналов, спектрального и вейвлетного анализа, интеллектуальные методы распознавания образов, инструменты математического моделирования линейной алгебры и статистической радиотехники.

В ходе выполнения экспериментальных исследований активно использовались средства компьютерного моделирования и автоматизации математических расчетов. Производилась разработка схемотехнических решений оптимизированных узлов регистрирующей аппаратуры на основе современной базы радиоэлектронных компонентов.

Предметом исследования является процесс извлечения достоверных диагностических данных о состоянии сердечно-сосудистой системы при проведении ЭКГ-исследований.

Объектом исследования являются радиотехнические методы цифровой обработки и интеллектуального анализа ЭКС.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующих положениях и результатах.

1. Предложены информативные критерии и методика оценки качества алгоритмов цифровой фильтрации ЭКС для обеспечения их совместимости с последующими стадиями обработки информации.

2. Разработан эффективный многоступенчатый алгоритм подавления комплекса помех в ЭКС, обеспечивающий минимальное изменение формы полезного сигнала для последующего автоматического анализа ЭКГ-данных.

3. Сформирован общий подход к выделению значимых информативных признаков из ЭКС для предварительной автоматизированной диагностики.

4. Для предварительной автоматизированной диагностики ССЗ предложено использовать методы интеллектуального анализа данных на базе алгоритмов машинного обучения с применением масштабируемой обучающей базы признаков исследуемых объектов.

5. Предложена методика предварительной автоматизированной диагностики инфаркта миокарда различной локализации по записям ЭКС в одном отведении в виде модели бинарного классификатора.

Практическая значимость.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования достигнутых в исследовании результатов для построения мобильных анализаторов ЭКС в составе медицинских ИКС, позволяющих выполнять автоматизированную экспресс-диагностику заболеваний ССС.

Благодаря предложенным методам эффективной ЦФ появляется возможность упростить структуру и расширить динамический диапазон регистрирующей ЭКГ-аппаратуры.

Предлагаемый в работе подход по использованию самообучающихся интеллектуальных алгоритмов для анализа ЭКС позволяет повысить точность и

результативность проводимых исследований и реализовывать системы поддержки принятия решений для медицинских специалистов.

Используемый в работе метод обучения модели классификатора за счет масштабируемой базы анализируемых образцов посредством реализации инфокоммуникационной системы диагностики может быть использован на практике в других отраслях, для решения сложных задач в условиях ограниченности обучающих данных.

Связь с государственными программами.

В послании Первого Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана от 10 января 2018 г. «Новые возможности развития в условиях четвертой промышленной революции» подчеркивается, что требуется приступить к внедрению в медицине технологий генетического анализа, искусственного интеллекта, которые на порядок повышают эффективность диагностики и лечения заболеваний. В этом отношении данная диссертационная работа полностью соответствует сформулированным требованиям к современному направлению развития медицинской техники.

Результаты исследований данной диссертационной работы направлены на решение задачи развития информационно-коммуникационных технологий, озвученной в Государственной программе развития системы здравоохранения Республики Казахстан «Денсаулык» на 2016-2020 гг. В частности, данная программа предполагает поддержку внедрения инновационных ИТТ, таких как удаленный автоматизированный мониторинг состояния здоровья пациентов с помощью мобильных медицинских устройств, расширения национальной телемедицинской сети, наблюдение пациентов с использованием персональных стационарных компьютеров и смартфонов.

Так же в Послании Первого Президента РК Н. Назарбаева «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» подчеркнуто, что здоровье нации – основа нашего успешного будущего. Одним из ключевых приоритетов является внедрение услуг «смарт-медицины», дистанционной профилактики и лечения, «электронной медицины», особенно с учетом большой территориальности.

Предлагаемые в работе интеллектуальные методы анализа диагностической информации согласуются с концепцией развития электронного здравоохранения РК на 2013-2020 г., которая подразумевает организацию национального депозитария здравоохранения, включающего хранилище высококачественных статистических, аналитических и финансовых данных.

Положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Процесс эффективной цифровой фильтрации ЭКС для подавления комплекса сопутствующих регистрации помех, обеспечивающий совместимость с последующими стадиями автоматической обработки ЭКГ-информации.

2. Методика цифровой обработки ЭКС для селекции информативных признаков в ходе предварительной автоматизированной ЭКГ-диагностики.

3. Метод бинарной классификации инфаркта миокарда различной локализации по записям ЭКС в одном отведении.

4. Подход к интеллектуальному анализу ЭКС с применением масштабируемой обучающей базы признаков исследуемых объектов, позволяющий обеспечить интерпретируемость полученных результатов.

5. Аппаратно-программная модель инфокоммуникационной системы предварительной автоматизированной ЭКГ-диагностики.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на: Международной научной конференции «International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation» (AMMS, Китай, 2017); Международной научной конференции «IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering» (ICPCSI-2017); XIV Международной научно-практической конференции «Наука и образование без границ – 2018» (Польша); XLIII Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы в современной науке» (Россия, 2019); IV Международной студенческой научно-практической конференции «Молодежь и наука 2019», посвященной «Jastar iyly» (Казахстан); Международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований» (Россия, 2019).

Публикации.

Основные результаты диссертационного исследования были отражены в 16 научных работах, в том числе в 4-х статьях в научных журналах, входящих в Перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов научной деятельности, утверждаемый уполномоченным органом; в 3-х статьях в международных научных журналах, имеющих ненулевой импакт-фактор по данным Journal Citation Reports компании Clarivate Analytics и Scopus; в 6-и работах, отраженных в трудах международных научных конференций, в том числе в 5-и зарубежных (1 проиндексирована в базе данных Scopus); 2-х статьях в международных рецензируемых научных журналах, а также патенте.

Личный вклад автора.

Основные экспериментальные и теоретические результаты, полученные в ходе проведения диссертационного исследования, получены автором самостоятельно. В опубликованных научных работах в составе коллектива соавторов, соискателю принадлежит основной вклад при получении, обобщении и анализе достигнутых результатов.

Структура диссертации.

Данная диссертационная работа состоит из списка обозначений и сокращений, вводной части, основной части, включающей четыре раздела, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Работа изложена на 136 страницах компьютерного текста, включает 54 рисунка, 8 таблиц и 128 наименований библиографических источников.

В первом разделе работы исследуются проблемы и особенности обработки сигналов при проведении автоматического анализа

электрокардиографической информации. Установлено, что при разработке методов регистрации и автоматического анализа ЭКС новые положительные результаты могут быть достигнуты при использовании высокопроизводительного аппаратного обеспечения для ЦОС, а также при внедрении в процесс диагностики интеграционных возможностей ИКС для обработки ЭКГ-информации. Показана необходимость определения оптимальных методов фильтрации для подавления сопутствующих регистрации помех при решении различных электрокардиологических задач. Также выявлена необходимость поиска более совершенных способов классификации ЭКГ путем интеллектуального анализа сигналов на базе алгоритмов машинного обучения.

Во втором разделе определено, что качественная фильтрация помех в ЭКС имеет большое диагностическое значение при проведении любых ЭКГ-исследований. Однако устранение низкочастотной помехи сопряжено со значительными трудностями из-за ее частотного диапазона. Предлагаемые на сегодняшний день методы ее устранения не систематизированы по качеству получаемых результатов. В связи с этим, были проведены теоретические и экспериментальные исследования существующих методов подавления помех в ЭКС, а также новых и оптимизированных алгоритмов, предложенных в работе. Для этого были определены информативные критерии и предложена методика оценки качества алгоритмов цифровой фильтрации ЭКС для обеспечения их совместимости с последующими стадиями обработки информации. На основании проведенных исследований сформированы рекомендации по использованию методов ЦФ для подавления сопутствующих регистрации ЭКС помех при проведении различных ЭКГ-исследований, в том числе с применением средств автоматизации – на этапе препроцессинга интеллектуального анализа.

В третьем разделе показана эффективность и перспективность использования интеллектуального анализа ЭКГ-данных методами машинного обучения (МО). Для этого проведено исследование различных типов алгоритмов МО. Установлено, что для автоматизированной предварительной диагностики необходимо использовать алгоритмы МО, позволяющие выполнить интерпретацию полученных на их основе результатов классификации. Также разработан эффективный многоступенчатый алгоритм подавления комплекса помех в ЭКС, обеспечивающий минимальное изменение формы полезного сигнала для последующего автоматического интеллектуального анализа ЭКГ-данных. Благодаря сформулированным требованиям к процессу построения модели классификатора ЭКС на базе алгоритмов МО, выполнен поиск оптимального алгоритма классификации. Кроме этого, предлагается схема отбора информативных признаков объектов классификации. Благодаря обозначенным результатам, найдено решение по детектированию ИМ в одном отведении с высокой точностью классификации и малым числом информативных признаков объектов для проведения предварительной диагностики. Помимо использования только II-го стандартного отведения, отличительной особенностью предложенного в работе

метода детектирования ИМ является применение для модели классификатора kNN с числом соседей $k = 9$ масштабируемой базы признаков для постоянной оптимизации работы алгоритма.

В четвертом разделе на основании предложенных принципов интеллектуального анализа ЭКГ-данных с использованием алгоритмов МО и масштабируемой базы данных разработана концептуальная модель построения инфокоммуникационной системы для автоматизированной предварительной ЭКГ-диагностики. Предложенная аппаратно-программная модель этой системы подразумевает использование современных информационных и телекоммуникационных технологий для предварительного диагностирования опасных заболеваний ССС, оказания помощи в принятии диагностических решений медицинскими специалистами, а также при необходимости обеспечения сеансов телеметрической кардиографии. Предложен эффективный вариант модернизации устройств регистрации ЭКС, отличающийся высоким уровнем мобильности, низким энергопотреблением, компактностью и универсальностью в выборе типа и числа используемых отведений при различных ЭКГ-исследованиях. Показано, что использование современных радиоэлектронных компонентов для выполнения аналого-цифрового преобразования позволяет оптимизировать и повысить качество процесса предварительной фильтрации ЭКС путем осуществления его средствами ЦОС.

Совокупность полученных результатов позволяет утверждать о повышении качества выполнения автоматической обработки ЭКГ средствами ЦОС. В свою очередь, интеллектуальный анализ ЭКС эффективен при решении задачи классификации ССЗ в составе инфокоммуникационной системы автоматизированной предварительной ЭКГ-диагностики.

Работы, опубликованные по теме диссертации.

1. Alexander Kashevkin, Yuriy Klikushin, Abay Koshekov, Bibigul Kosheкова, Sergey Latypov, Natalya Kalantayevskaya and Galina Savostina Computer Diagnostic and Monitoring Device Based on the Theory of Identification Measurement of Signals. International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation (AMMS 2017). Shanghai. 2017. Vol. 153. PP. 391 – 395.

2. Кошеков К.Т., Кликушин Ю.Н., Кашекин А.А., Латыпов С.И., Софьина Н.Н., Савостина Г.В., Кошеков А.К. Интеллектуальная система диагностики нефтегазового оборудования. «Дефектоскопия» ФГУП «Академический, научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука». Екатеринбург. №4. 2018. С. 31 – 41.

3. А.А. Савостин, Г.В. Савостина Применение искусственной нейронной сети для бинарной классификации электрокардиографических данных. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Усть-Каменногорск. 2018. №3. Т. II. С. 85 – 90.

4. А.А. Савостин, Д. В. Риттер, Г.В. Савостина, А. К. Кошеков Сравнительный анализ алгоритмов устранения низкочастотной помехи электрокардиосигнала. Научно-технический журнал «Измерительная техника». Москва. 2018. №7. С. 66 – 72.

5. Klikushin Y.N., Koshekova B.V., Koshekov A.K., Kashevkin A.A., Savostina G.V., Astapenko N.V. The Method for Identification Complex Signals using the Example of Preliminary Diagnosis of a Myocardial Infarction. IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering. ICPCSI 2017. 2018. PP 6 – 11.

6. Koshekov K.T., Klikushin Y.N., Kashevkin A.A., Latypov S.I., Sofina N.N., Savostina G.V., Koshekov A.K. An Intelligent System for Vibrodiagnostics of Oil and Gas Equipment. Russian Journal of Nondestructive Testing. April 2018. Vol. 54. Issue 4. PP. 249 – 259.

7. Savostin A.A., Savostina G.V., Ritter D.V., Koshekov A.K. Comparative Analysis of Algorithms for Elimination of Low-Frequency Noise in Electrocardio-Signals. Measurement Techniques, 2018. Vol. 61, No. 7, PP. 738 – 743.

8. А.А. Савостин, К.Т. Кошеков, Г.В. Савостина, А.В. Ларгин Применение деревьев решений для классификации электрокардиограмм. Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. № 4(84). 2018. С. 112 – 116.

9. Савостина Г.В. Вейвлетная фильтрация низкочастотной помехи в электрокардиографическом сигнале. Материалы XIV международной научно-практической конференции «Наука и образование без границ – 2018». Пшемьсль, Польша. 7 – 15 декабря 2018. Т.19. С. 49-53.

10. Г.В. Савостина, С.И. Латыпов, Д.В. Риттер Анализ методов подавления высокочастотных искажений при электрокардиографических измерениях. Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №4(4) (43). 2018. С. 85-91.

11. Кошеков К.Т., Савостина Г.В., Ларгина И.А. Применение вейвлетного анализа для подавления высокочастотных помех в электрокардиосигнале. Вестник Павлодарского государственного университета. № 4 (2018). С. 247 – 256.

12. Савостина Г.В., Савостин А.А., Ларгина И.А. Применение имитационного моделирования для проектирования и исследования современных инфокоммуникационных сетей. XLIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные подходы в современной науке». Москва. №7(43). 2019. С. 78 – 86.

13. Савостина Г.В., Ларгина И.А. Модернизация аналогового тракта съема биопотенциалов для интеллектуальной системы анализа ЭКГ. Материалы IV международной студенческой научно-практической конференции «Молодежь и наука 2019», посвященной «Jastar iyuly», С. 104 – 108.

14. Савостин А. А., Савостина Г.В., Кошеков К. Т., Ларгин А. В. Сравнительный анализ методов машинного обучения при определении инфаркта миокарда по записям электрокардиограмм. Материалы международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований». Омск, РФ. 2019, С. 40 – 44.

15. Савостин А.А., Савостина Г.В., Кошеков К.Т. Патент РК на полезную модель «Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики

инфаркта миокарда». Патент РК на полезную модель № 4516. Номер заявки 2019/0431.2. Дата подачи заявки 06.05.2019.

16. A.A. Savostin, G.V. Savostina, D.V. Ritter Using the K-Nearest Neighbors Algorithm for Automated Detection of Myocardial Infarction by Electrocardiogram Data Entries. Pattern Recognition and Image Analysis. 2019. Vol. 29. № 4. PP. 730–737.

ABSTRACT

Savostina Galina Vladimirovna

“Development of digital processing methods and intelligent analysis of electrocardiographic signals for the info-communication diagnostic system” thesis, submitted for Doctor of Philosophy (PhD) degree

specialty: 6D071800 – "Radio Engineering, Electronics and Telecommunications"

The research topicality.

Currently, one of the main trends in the development of science and technology is the intensive introduction and use of electronic and info-communication technologies in all spheres of human activity. In particular, the use of radio engineering, information and telecommunication means of collecting, processing and analyzing signals directly contributes to improving the quality of life of the population, due to the improvement of medical instrument engineering making technologies on their basis.

The development of medical technology is facilitated by the emergence of new radio-electronic components, effective methods of digital signal processing and analysis, as well as modern telecommunication systems and computer facilities needed in telemedicine and e-health. Due to the expansion of the scope of information and telecommunication technologies (ITT), the cost and effectiveness of existing methods of medical casing are reduced, while their availability for the population is expanded. In turn, new methods of diagnostics and treatment appear in medical practice, requiring special hardware support.

Among the most important tasks of modern medical instrument engineering is the need to increase the level of automation of medical research in the analysis of bioelectric signals of the human body. These signals carry important information about the physiological state of the body, possible pathological changes in organs and tissues, help the attending physician make the correct diagnosis and choose an effective treatment. At the same time, technical means for analyzing bioelectric signals are required to provide support for decision-making by medical professionals to reduce the time spent on research, improve the quality and completeness of analysis results.

In this case, a significant effect is achieved from the automation of studies of the cardiovascular system (CVS) of a person through the analysis of electrocardiograms (ECG), since the problem of timely diagnosis and treatment of cardiovascular diseases (CVD) is extremely important for modern society.

According to the Ministry of Health and Social Development of the Republic of Kazakhstan, the circulatory system diseases in the structure of total mortality are the leading cause (22.3%). According to the World Health Organization, CVDs are the main cause of death worldwide: for no other reason, as many people die every year as from CVD.

At present, electrocardiography remains the main tool for identifying CVS pathologies - recording the projections of volumetric electrical processes (electro-cardio signals) observed on the surface of the body that occur in the heart. The

method of recording electrocardiograms (ECG) is the most tested in the clinical setting, has the highest information content, and is also affordable and inexpensive to use. Thus, the ECG provides a maximum of information about the state of CVS with minimal impact on the patient's body.

For these reasons, much attention has been paid to the search for solutions in the field of automatic processing and analysis of ECS for several decades. Although significant results have been achieved in this direction, today it is still possible to identify the insufficient validity of individual stages of ECG studies. So, in fact, there are no methods of automated express diagnostics, there are essay questions in the field of ensuring noise immunity of ECG systems, etc. This is largely due to the bioelectric nature of ECS, which determines its non-determinism, non-stationary, variability, and exposure to numerous interferences. The properties of ECS give rise to difficulties in formalizing tasks and the high uncertainty of their conditions. In this regard, the solution to the problem of automatic analysis of ECS does not imply a unique and universal approach.

On the other hand, only in recent years new methods of signal analysis have become available due to increased computing power of hardware, as well as improved technology for the transfer, storage and processing of information in information and communication systems (ICS). The modern level of radio electronics allows implementing effective methods of signal digital processing (SDP), which until recently existed in theory without wide practical use. At the same time, it becomes possible to study the ECG multi-level structure by creating multi-stage data processing procedures. Information obtained at the initial stages of digital signal analysis can be used for subsequent procedures, thereby organizing an iterative algorithm for refining the results.

Then, the following factors can be attributed to the main advantages of digital systems when ECG processing.

1. Digital filtering (DF) is able to provide high accuracy of signal processing with maximum stability of characteristics in the frequency and time domains, eliminating the influence of external destabilizing factors.

2. The characteristic flexibility and efficiency in adjusting the parameters of digital methods ensures their high functionality in signal processing. This is especially important in conditions of a wide variety of applied methods for extracting diagnostic information.

3. The ability to create multi-level information processing systems with iterative algorithms for processing results.

4. The implementation of digital signal processing methods is the most universal when deployed on various hardware platforms, mobile or stationary recorders, local or distributed information-measuring systems. Modernization and replication of such methods is economically more profitable.

In turn, the global development of information and telecommunication networks opens up new possibilities for the creation of information and measuring systems for remote research of ECG. The social order for such systems is very high, as they will provide universal access to qualified health care, organize outpatient monitoring in conditions of free activity, simplify early diagnostics, implement

remote monitoring of patients and efficient use and management of accumulated information.

Accumulation of diagnostically significant data from a large number of distributed recording devices will allow the creation of a representative knowledge base about the diseases being studied. At the same time, it becomes possible to use machine learning methods that can provide new tools for solving poorly formalized tasks of automated medical diagnostics. Intelligent methods of analysis based on self-learning algorithms make it possible to identify hidden patterns in the multidimensional space of features of the studied objects, due to the processing of large volumes of data. In this case, information that, in principle, cannot be obtained with manual decoding of the ECS, can be extracted from the ECG.

Radio engineering methods of SDP and data mining are in demand in the task of early diagnosis of CVD. Its solution requires non-invasive ECS rapid studies in non-specialized medical institutions. As a result, there is an increasing need for a large number of special mobile recorders that provide ECG removal in the absence of qualified personnel. The development of such equipment requires ensuring high noise immunity of the biopotential registration system, which is a complex structural and algorithmic task.

Moreover, such mobile devices for ECS recording should be easy to operate and inexpensive to manufacture. Obviously, only SDP systems with the advantages indicated for them, on the basis of modern signal processors and analog-to-digital converters (ADCs), can fully satisfy these requirements in full. In turn, the use of intelligent analysis of ECS can increase the level of automation of research.

Thus, based on the current state of the problem of the automation of electrocardiographic studies, it can be argued that the search for ways to further improve the ECS processing and analysis, focused on the use of modern SDP tools and data mining, is of great relevance.

The research aim.

The aim of the thesis is to improve the quality of the functional and diagnostic characteristics of automated electrocardiographic systems by creating and optimizing radio engineering methods of digital processing and intelligent analysis of ECS.

The essence of the proposed methods should optimize the registration system for ECS and to develop new approaches for the automatic detection of CVDs. Given the current prevalence and increasing need for telemedicine and digital healthcare systems, the proposed solutions should be able to integrate into medical ICS and effectively use their advantages.

To achieve this aim, the following **objectives** are solved within the framework of the thesis.

1. Study of the general structure of the ECG diagnostic process at the stages of collecting, processing and analyzing information in order to identify existing problems in the automatic analysis of ECS.

2. The development and search for effective methods of DF ECS using theoretical and experimental studies to suppress the accompanying registration of interference and ensure compatibility with the subsequent stages of information processing.

3. Development of recommendations on the use of DF methods to suppress concomitant registration of ECS interference during various ECG studies, including using automation tools.

4. Formation of a representative database of ECS records in normal and pathological conditions for teaching the intellectual model of the classifier. Determination of the use of training databases in accordance with the characteristics of medical research.

5. Development and experimental study of intelligent classification algorithms for ECS for automated preliminary diagnosis of pathological conditions of CVS to support decision-making.

6. Optimization of the hardware structure of the pathway for removing the biopotentials of the heart for use in a system of automated preliminary ECG diagnostics.

7. Synthesis of the hardware-software model of the info-communication system of preliminary automated ECG diagnostics based on the developed methods of digital processing and intelligent analysis of ECS.

The research methods.

Radio engineering methods of digital signal processing, spectral and wavelet analysis, intelligent methods of pattern recognition, tools for mathematical modeling of linear algebra and statistical radio engineering are applied to solve the objectives in the thesis.

Computer modeling and automation of mathematical calculations were actively used in the course of experimental research. The development of circuit solutions for optimized recording equipment nodes was carried out on the basis of a modern base of electronic components.

The research subject is the process of extracting reliable diagnostic information about the state of cardiovascular system during ECG studies.

The research object is the radio engineering methods of digital processing and intellectual analysis of ECS.

The scientific novelty of the thesis consists in the following provisions and results.

1. Informative criteria and a technique for assessing the algorithms quality of digital filtering ECS to provide their compatibility with the subsequent stages of information processing are proposed.

2. An effective multi-stage algorithm for suppressing the interference complex in the ECS has been developed, which provides a minimum change in the shape of the useful signal for subsequent automatic analysis of ECG data.

3. A general approach has been formed to the selection of significant informative features from ECS for preliminary automated diagnostics.

4. For preliminary automated diagnosis of CVD, it is proposed to use data mining methods based on machine learning algorithms using a scalable training database of features of the studied objects.

5. A technique for preliminary automated diagnosis of myocardial infarction of various localization according to ECS records in one lead in the form of a binary classifier model is proposed.

The practical significance.

The practical significance of the thesis lies in the possibility of using the results achieved in the study to build mobile ECS analyzers as part of medical ICS, allowing automated express diagnostics of CVS diseases.

Due to the proposed methods of effective DF, it becomes possible to simplify the structure and expand the dynamic range of the recording ECG equipment.

The approach proposed in the thesis on the use of self-learning intelligent algorithms for the analysis of ECS can improve the accuracy and effectiveness of ongoing research and implement decision support systems for medical professionals.

The method of training the classifier model used in the thesis due to the scalable base of the analyzed samples through the implementation of the information communication diagnostic system can be used in practice in other industries to solve complex problems in the conditions of limited training data.

Relationship with government programs.

In a message of the First President of the Republic of Kazakhstan N. Nazarbayev to the people of Kazakhstan dated January 10, 2018, "New Development Opportunities in the Conditions of the Fourth Industrial Revolution", it is emphasized that it is necessary to begin to introduce in medicine technologies of genetic analysis, artificial intelligence, which increase the efficiency of diagnostics and treatment of diseases. In this regard, this thesis is fully consistent with the formulated requirements for the modern direction of development of medical technology.

The research results of this thesis are aimed at solving the problem of the development of information and communication technologies, voiced in the State program for the development of the health system of the Republic of Kazakhstan "Densaulyk" for 2016-2020. In particular, this program assumes support for the implementation of innovative ITTs, such as remote automated monitoring of patients' health status using mobile medical devices, expansion of the national telemedicine network, and patient monitoring using personal desktop computers and smartphones.

Also, in the Message of the First President of the Republic of Kazakhstan N. Nazarbayev, "Kazakhstan-2050 Strategy: a new political course of the established state," it was emphasized that the health of the nation is the foundation of our successful future. One of the key priorities is the introduction of the services of "smart medicine", remote prophylaxis and treatment, "electronic medicine", especially taking into account the large territoriality.

The proposed intelligent methods for the analysis of diagnostic information are consistent with the concept of electronic health development of the Republic of Kazakhstan for 2013-2020, which implies the organization of a national health depository, including a repository of high-quality statistical, analytical and financial data.

Thesis provisions to be defended:

1. The process of effective digital filtering of ECS to suppress the complex of accompanying registration of interference, ensuring compatibility with subsequent stages of automatic processing of ECG information.

2. The methods of digital processing of ECS for the selection of informative characters during preliminary automated ECG diagnostics.

3. The method of binary classification of myocardial infarction of various localization according to the records of ECS in one lead.

4. The approach to the intellectual analysis of ECS using a scalable training base of features of the studied objects, which allows for the interpretability of the results.

5. The Hardware-software model of the info-communication system of preliminary automated ECG diagnostics.

The approbation of results.

The main results of the thesis research were reported and discussed at: International Scientific Conference “International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation” (AMMS, China, 2017); International scientific conference "IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering" (ICPCSI-2017); XIV International Scientific and Practical Conference "Science and Education without Borders - 2018" (Poland); XLIII International scientific-practical conference "Innovative approaches in modern science" (Russia, 2019); IV International Student Scientific and Practical Conference "Youth and Science 2019" dedicated to "Jastar iyly" (Kazakhstan); International scientific-practical conference "Issues of modern scientific research" (Russia, 2019).

Publications

The main results of the thesis research were reflected in 16 scientific works, including 4 articles in scientific journals included in the List of scientific publications recommended for publication of the main results of scientific activity, approved by the authorized body; in 3 articles in international scientific journals having a non-zero impact factor according to Journal Citation Reports of Clarivate Analytics and Scopus; in 6 articles reflected in the proceedings of international scientific conferences, including 5 foreign (1 indexed in the Scopus database); 2 articles in international peer-reviewed scientific journals, as well as a patent.

The personal contribution of the author.

The main experimental and theoretical results obtained during the thesis research were obtained by the author independently. In published scientific papers as part of a team of co-authors, the doctoral student makes the main contribution in obtaining, summarizing and analyzing the results achieved.

The structure of the thesis.

The thesis consists of a list of notations and abbreviations, introduction, the main part, including four parts, conclusion, bibliography of literature cited and three appendices. The thesis is presented on 136 pages of computer text, includes 54 figures, 8 tables and 128 titles of bibliography of literature cited.

The first part of the thesis examines the problems and features of signal processing during automatic analysis of electrocardiographic information. It was established that when developing methods for recording and automatic analysis of ECS, new positive results can be achieved by using high-performance hardware for SDPs, as well as by introducing the integration capabilities of ICS into the diagnostic process for processing ECG information. The necessity of determining the optimal filtering methods to suppress the accompanying registration of interference in solving various electrocardiological problems is shown. It also revealed the need to search for

more advanced methods of ECG classification by means of intelligent signal analysis based on machine learning algorithms.

In the second part, it is determined that high-quality filtering of interference in the ECS is of great diagnostic value when conducting any ECG studies. However, the elimination of low-frequency noise is associated with significant difficulties due to its frequency range. The methods proposed to date for its elimination are not systematized by the quality of the results obtained. In this regard, theoretical and experimental studies of the existing methods for suppressing interference in ECS, as well as new and optimized algorithms proposed in the work, were carried out. For this, informative criteria were determined and a methodology was proposed for assessing the quality of digital filtering algorithms ECS to ensure their compatibility with subsequent stages of information processing. Based on the studies conducted, recommendations were formed on the use of the DF methods to suppress concomitant registration of ECS interference during various ECG studies, including using automation tools - at the stage of preprocessing of intellectual analysis.

The third part shows the effectiveness and prospects of using the intellectual analysis of ECG data using machine learning (ML) methods. To do this, a study of various types of ML algorithms. It has been established that for automated preliminary diagnostics it is necessary to use ML algorithms that make it possible to interpret the classification results obtained on their basis. An effective multi-stage algorithm for suppressing the interference complex in the ECS has also been developed, which ensures minimal change in the shape of the useful signal for subsequent automatic intelligent analysis of ECG data. Due to the formulated requirements for the process of constructing an ECS classifier model based on the ML algorithms, the search for the optimal classification algorithm is performed. In addition, a scheme for the selection of informative features of classification objects is proposed. Due to the indicated results, a solution was found for detecting MI in one lead with high classification accuracy and a small number of informative features of objects for preliminary diagnostics. In addition to using only the II standard lead, a distinctive feature of the method for detecting MI proposed in the work is the use of the classifier kNN with the number of neighbors $k = 9$ of a scalable feature database for continuous optimization of the algorithm.

In the fourth part, on the basis of the proposed principles of the intellectual analysis of ECG data using ML algorithms and a scalable database, a conceptual model for building an info-communication system for automated preliminary ECG diagnostics is developed. The proposed hardware-software model of this system involves the use of modern information and telecommunication technologies for the preliminary diagnosis of dangerous diseases of CVS, assisting in making diagnostic decisions by medical specialists, as well as providing telemetric cardiography sessions if necessary. An effective option is proposed for the modernization of ECS recording devices, characterized by a high level of mobility, low power consumption, compactness and versatility in choosing the type and number of leads used in various ECG studies. It is shown that the use of modern electronic components to perform analog-to-digital conversion allows you to optimize and improve the quality of the pre-filtering process of ECS by implementing it with SDP.

The totality of the results allows us to say about improving the quality of automatic ECG processing by SDP. In turn, the intelligent analysis of ECS is effective in solving the problem of CVD classification as part of the information system of automated preliminary ECG diagnostics.

Papers published on the topic of the dissertation.

1. Alexander Kashevkin, Yuriy Klikushin, Abay Koshekov, Bibigul Kosheкова, Sergey Latypov, Natalya Kalantayevskaya and Galina Savostina Computer Diagnostic and Monitoring Device Based on the Theory of Identification Measurement of Signals. International Conference on Applied Mathematics, Modeling and Simulation (AMMS 2017). Shanghai. 2017. Vol. 153. PP. 391 – 395.

2. Кошеков К.Т., Кликушин Ю.Н., Кашекин А.А., Латыпов С.И., Софьина Н.Н., Савостина Г.В., Кошеков А.К. Интеллектуальная система диагностики нефтегазового оборудования. «Дефектоскопия» ФГУП «Академический, научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр «Наука». Екатеринбург. №4. 2018. С. 31 – 41.

3. А.А. Савостин, Г.В. Савостина Применение искусственной нейронной сети для бинарной классификации электрокардиографических данных. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. Усть-Каменногорск. 2018. №3. Т. II. С. 85 – 90.

4. А.А. Савостин, Д. В. Риттер, Г.В. Савостина, А. К. Кошеков Сравнительный анализ алгоритмов устранения низкочастотной помехи электрокардиосигнала. Научно-технический журнал «Измерительная техника». Москва. 2018. №7. С. 66 – 72.

5. Klikushin Y.N., Kosheкова B.V., Koshekov A.K., Kashevkin A.A., Savostina G.V., Astapenko N.V. The Method for Identification Complex Signals using the Example of Preliminary Diagnosis of a Myocardial Infarction. IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering. ICPCSI 2017. 2018. PP 6 – 11.

6. Koshekov K.T., Klikushin Y.N., Kashevkin A.A., Latypov S.I., Sof'ina N.N., Savostina G.V., Koshekov A.K. An Intelligent System for Vibrodiagnostics of Oil and Gas Equipment. Russian Journal of Nondestructive Testing. April 2018. Vol. 54. Issue 4. PP. 249 – 259.

7. Savostin A.A., Savostina G.V., Ritter D.V., Koshekov A.K. Comparative Analysis of Algorithms for Elimination of Low-Frequency Noise in Electrocardio-Signals. Measurement Techniques, 2018. Vol. 61, No. 7, PP. 738 – 743.

8. А.А. Савостин, К.Т. Кошеков, Г.В. Савостина, А.В. Ларгин Применение деревьев решений для классификации электрокардиограмм. Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. № 4(84). 2018. С. 112 – 116.

9. Савостина Г.В. Вейвлетная фильтрация низкочастотной помехи в электрокардиографическом сигнале. Материалы XIV международной научно-практической конференции «Наука и образование без границ – 2018». Пшемысль, Польша. 7 – 15 декабря 2018. Т.19. С. 49-53.

10. Г.В. Савостина, С.И. Латыпов, Д.В. Риттер Анализ методов подавления высокочастотных искажений при электрокардиографических измерениях. Вестник Алматинского университета энергетики и связи. №4(4) (43). 2018. С. 85-91.

11. Кошеков К.Т., Савостина Г.В., Ларгина И.А. Применение вейвлетного анализа для подавления высокочастотных помех в электрокардиосигнале. Вестник Павлодарского государственного университета. № 4 (2018). С. 247 – 256.

12. Савостина Г.В., Савостин А.А., Ларгина И.А. Применение имитационного моделирования для проектирования и исследования современных инфокоммуникационных сетей. XLIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные подходы в современной науке». Москва. №7(43). 2019. С. 78 – 86.

13. Савостина Г.В., Ларгина И.А. Модернизация аналогового тракта съема биопотенциалов для интеллектуальной системы анализа ЭКГ. Материалы IV международной студенческой научно-практической конференции «Молодежь и наука 2019», посвященной «Jastar iyly», С. 104 – 108.

14. Савостин А. А., Савостина Г.В., Кошеков К. Т., Ларгин А. В. Сравнительный анализ методов машинного обучения при определении инфаркта миокарда по записям электрокардиограмм. Материалы международной научно-практической конференции «Вопросы современных научных исследований». Омск, РФ. 2019, С. 40 – 44.

15. Савостин А.А., Савостина Г.В., Кошеков К.Т. Патент РК на полезную модель «Способ обработки электрокардиосигнала для диагностики инфаркта миокарда». Патент РК на полезную модель № 4516. Номер заявки 2019/0431.2. Дата подачи заявки 06.05.2019.

16. A.A. Savostin, G.V. Savostina, D.V. Ritter Using the K-Nearest Neighbors Algorithm for Automated Detection of Myocardial Infarction by Electrocardiogram Data Entries. Pattern Recognition and Image Analysis. 2019. Vol. 29. № 4. PP. 730–737.