

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

РАЖАБОВ ФАРХАТ ФАРМАНОВИЧ

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИК СИГНАЛЛАРГА РАҚАМЛИ ИШЛОВ
БЕРИШ УСУЛ, АЛГОРИТМ ВА АМАЛИЙ ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Ражабов Фархат Фарманович

Электрокардиографик сигналларга рақамли ишлов бериш усул,
алгоритм ва амалий дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш 3

Ражабов Фархат Фарманович

Разработка способа, алгоритма и комплекса прикладных программ
для цифровой обработки электрокардиографических сигналов 21

Rajabov Farkhat Farmanovich

Development of a way, algorithm and complex application programs for
digital processing of electrocardiographic signals 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

РАЖАБОВ ФАРХАТ ФАРМАНОВИЧ

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИК СИГНАЛЛАРГА РАҚАМЛИ ИШЛОВ
БЕРИШ УСУЛ, АЛГОРИТМ ВА АМАЛИЙ ДАСТУРИЙ
МАЖМУАСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютер
тармоқларининг математик ва дастурий таъминоти

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/T1422 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.tuit.uz) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Джуманов Жамолжон Худайкулович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Рахматуллаев Марат Алимович**
техника фанлари доктори, профессор

Рахимов Бахтиёр Саидович
техника фанлари номзоди

Етакчи ташкилот: **Тошкент давлат техника университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «15» aprel да соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2/186 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2021 йил «02» aprel куни тарқатилди (2021 йил «14» yanvar даги 02 рақамли реестр баённомаси).



Р.Х.Хамдамов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор


Ф.М.Нуралиев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари доктори, доцент


М.А.Рахматуллаев
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон соғлиқни сақлаш ташкилоти маълумотларига кўра, «...ҳар йили юрак-қон томир касалликларидан (ЮҚТК) 17,5 миллион киши вафот этади. ЮҚТК ўлимнинг 75% дан ортиғи, кам ва ўрта даромадли мамлакатларда содир бўлади. Агарда ўз вақтида ташхис қўйилса, юрак хуружлари ва қон томир касалликлари натижасидаги бевақт содир бўлган ўлим ҳолатини, 80 фоизини олдини олиш мумкин бўларди»¹. ЮҚТК натижасидаги бевақт ўлимнинг олдини олишнинг самарали усули бу электрокардиографик (ЭКГ) сигналларга рақамли ишлов бериш алгоритмлари қўллаб тезкор ва сифатли ташхис қўйишдир. Шу сабабли мазкур соҳада ривожланган мамлакатларда АҚШ, Япония, Жанубий Корея, Германия, Хитой, Россия Федерацияси ва бошқа мамлакатларда ЭКГ сигналларига ишлов бериш устида илмий изланишлар олиб борилмоқда.

Жаҳонда замонавий тиббий информатика тизимларини ривожлантириш борасида компьютер технологиясига асосланган электрокардиография усуллари ва дастурий мажмуаларни ишлаб чиқишга доир кўплаб илмий изланишлар олиб борилмоқда. Маълумки, ЭКГ сигналлари- бу юрак мушак (миокард)ларининг қисқаришидан ҳосил бўладиган биопотенциаларни кўп каналли ўлчагичи бўлиб, илмий изланишлар натижасида янги тезкор ва аниқ вариантларини яратиш устида интеллектуал алгоритмларга асосланган тадқиқот ишлари амалга оширилмоқда. Бу борада, ЭКГ сигналларига ишлов бериш учун математик моделлар, алгоритмлар ва маълумотлар базаси ҳамда қулай интерфейсга эга дастурий мажмуа ишлаб чиқиш муҳим илмий-амалий масалалардан ҳисобланади.

Ўзбекистонда ЭКГ сигналларига замонавий компьютер технологиялари ёрдамида ишлов беришнинг назарий ва амалий тадқиқот ишлари амалга оширилмоқда. Республикамизда ахборот технологияларининг ривожлантиришга қаратилган эътибор туфайли аҳолининг йирик қатламини ахборот технологияларига асосланган қулай дастурий маҳсулотлар билан таъминлаш, қурилма-дастурий маҳсулотлардан фойдаланиш самарадорлигини оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «...илғор ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш ва улардан фойдаланишда иқтисодиёт, ижтимоий соҳа ва бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш»² вазифалари белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан, ЮҚТКни ўз вақтида ташхислаш учун математик моделлар, алгоритмлар ва уларнинг дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 7 декабрдаги ПФ-5590-сон «Ўзбекистон Республикаси соғлиқни сақлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 30 июндаги

¹ https://www.who.int/cardiovascular_diseases/ru/

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017-йил 7-февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

ПФ-5099-сон «Республикада ахборот технологиялари соҳасини ривожлантириш учун шарт-шароитларни тубдан яхшилаш чора-тадбирлари тўғрисида», 2018 йил 9 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари, 2017 йил 29 августдаги ПҚ-3245-сон «Ахборот-коммуникация технологиялари соҳасида лойиҳа бошқарув тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. ЭКГ сигналларни ишлов беришнинг самарадорлигини ошириш, уларни олиш, рўйхатдан ўтказиш ва қайта ишлаш масалаларини, дунёдаги ривожланган давлатлар илмий марказларида яратиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Микроэлектроника ва компьютер технологиялари жадал ривожланиши билан тавсифланган тадқиқот муаммолари, сигналларни филтрлаш, асбоблар бузилишларини амалда камайтириш, иккинчи томондан, илгари амалга ошириш имконсиз бўлган ва жаҳон илмий адабиётларида кенг ёритилган рақамли сигналларни қайта ишлаш усулларини қўллашга имкон беради. Ушбу соҳада Ж.Пан, Ж.Томпкинс, Н.К.Смоленцев, П.С.Аддисон, С.Малла, А.Оппенхайм, А.В.Меркушева, Ф.Среа, П.Самиси, Р.Десатрина ва бошқаларнинг илмий тадқиқотлари биосигналларга ишлов бериш алгоритмлари ва воситаларини такомиллаштиришга бағишланган. Бундан ташқари тадқиқотлар ва биотиббӣёт маълумотларни реал вақт шароитида қайта ишлаш учун аппарат-дастурий мажмуасини яратиш, рақамли сигналларни қайта ишлаш ва узатишнинг самарали алгоритмларига бағишланган илмий ишлар Р.Хемминг, С.Д.Кургалин, Д.Дажин, К.Блаттер, Я.А.Туровский, И.Ю.Кретинин, С.М.Арбузов, И.С.Губарев, А.В.Максимов ва бир қатор олимларнинг илмий мақолалари физиологик жараёнларни автоматик аниқлаш ва таҳлил қилиш учун юрак уриш траекториясини аниқлашда ЭКГ аппаратини қўллаш самарадор эканлиги кўрсатмоқда.

Республикамиз олимлари ва тадқиқотчиларининг асосий илмий ишлари В.К.Кабулов, Б.Н.Хидиров, М.М.Мусаев, Х.Н.Зайнидинов, А.Абдуқаюмов, С.Сайидалиев, Ж.Х.Джуманов, Б.Б.Мўминов, Н.Р.Ҳамдамов ва бошқалар биотиббӣёт сигналларига рақамли ишлов бериш ва аниқланган кўрсаткичлар асосида ташхис қўйиш йўналишидаги тадқиқотларга ўз хиссаларини қўшганлар.

Рақамли қайта ишлаш технологиялари, дискрет вейвлетлар таҳлиллари, Фурье дискрет таҳлилларини қўллаб, рақамли аппарат ва дастурий воситалар яратиш кераклигини ҳисобга олиб, биотиббӣий сигналларни қайта ишлаш

самарадорлигини оширадиган усуллар, алгоритмлар ва дастурий таъминотларини ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасини илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқотлари Тошкент ахборот технологиялари университетининг №БВ-Атех-2018-249 «Биометрик сигналларга рақамли ишлов бериш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқариш» (2018-2019) ва №БВ-Ф4-011 «Сигнал ва тасвирни қайта ишлаш масалаларида параллел ҳисоблаш усуллари, воситалари ва назариясини ишлаб чиқиш» (2015-2018) мавзусидаги илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади электрокардиографик сигналларни автоматик таниш усул, алгоритм ва амалий дастурий мажмуаси асосида юрак-қон томир касалликлари диагностикаси самарадорлигини оширишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

биотиббиёт электрокардиографик сигналларини олиш, қайд қилиш, рақамли қайта ишлаш усуллари ва алгоритмлари таҳлилинини ўтказиш ҳамда дастурий воситасини ишлаб чиқиш;

электрокардиографик сигналларни олиш ва қайд қилишни бошқарув ҳисоблаш машинасининг дастурий мажмуаларидаги ўзаро алоқасини яратиш; мавжуд алгоритмлар ва усулларни таҳлил қилиш асосида электрокардиографик сигналларни автоматик танишнинг вейвлет трансформацияси усулини ишлаб чиқиш;

ҳозирги замон технологияларидан фойдаланиб, амалий дастурий мажмуа ва қулай инсон-машина интерфейсини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида электрокардиографик сигналлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети электрокардиографик сигналларни таҳлил қилиш ва таниб олиш моделлари, усуллари ва алгоритмларидир.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, сонли усуллар, рақамли сигналларни қайта ишлаш назарияси, математик моделлаштириш, рақамли филтрлаш, спектрал, вейвлет таҳлил усуллари ва қарор қабул қилиш алгоритмларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги куйидагилардан иборат:

чекланган импульс характеристикали норекурсив филтрнинг каноник тузилиши яратилган ва стресс тест ҳолатида электрокардиографик сигналларни тремор, миографик шовкинлардан тозалаш алгоритми ишлаб чиқилган;

аналог-рақамли ўзгартиргич қурилмасидан электрокардиографик сигналларни олиш ва маълумотларни экранда тасвирлашда бошқарув ҳисоблаш машинасининг дастурий мажмуасидаги ўзаро алоқа алгоритми ишлаб чиқилган ҳамда кўп каналли биотиббиёт ўлчагич қурилмасининг функционал схемаси яратилган;

вейвлет филтрлашга асосланган вариабил морфологияли электрокардиографик сигналларнинг тишчаларини автоматик таниш алгоритми ишлаб чиқилган ва дастурий таъминоти яратилган;

электрокардиограмма амалий дастурий мажмуасини тилга боғлиқсизлигини ҳисобга олган ҳолда график кўринишдаги виртуал асбоблар панелининг инсон-машина интерфейси яратилган ва бошқарув ҳисоблаш машинаси билан маълумот алмашиш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

ишлаб чиқилган алгоритмлар ва дастурлар асосида биотиббиёт сигналларни қайта ишлашнинг самарали усуллари яратилган;

ишлаб чиқилган алгоритмлар ва тавсия этилган усуллар электрокардиографик сигналларни қайта ишлашнинг сифатини сезиларли даражада яхшилаб, ЮҚТК ташхис аниқлигини таъминлаш учун «SuproDil-3» дастурий таъминоти яратилган;

электрокардиограмма сигналларининг QRS комплексини автоматик аниқлаш алгоритми ишлаб чиқилган бўлиб, у автоматлаштирилган ташхис қўйиш ҳамда юрак ритмини бузилишларини таҳлил қилишда қўлланиладиган юрак уриш тезлигини назорат қилиш ва RR- интервалларининг қийматларини аниқлашнинг такомиллаштирилган алгоритми яратилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қурилма таснифлари, амалий дастурий таъминотини хусусиятлари, табиати турли хил шовқин ва халақит сигналларини аниқлаши ҳар хил тизимларда кўплаб дастурий, амалий тажрибаларни ўтказиш билан тасдиқланиб, яқуний хулосалар билан изоҳланади.

Тадқиқотлар натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электрокардиографик сигналларнинг ҳар хил, жумладан, ностационар ҳолатларда, улар таркибидаги ахборотни сезиларли кучайтириш учун, саноат частотали шовқинлардан тозалаш усул ва алгоритмларини яратиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти «SuproDil-3» электрокардиографика амалий ва тизимли дастурий мажмуа яратиш натижасида, кардиологиядаги ЮҚТК ташхисига сарф қилинадиган вақтни камайиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Диссертация тадқиқотлари доирасида компьютер тиббиёт комплекси яратилиб, электрокардиограмма биосигналларини самарали қайд қилиш, рақамли қайта ишлаш, автоматик таниш алгоритмлари, ташхислаш усуллари ва дастурий воситаларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

электрокардиографик сигналларни автоматик таниш алгоритми, бошқарув ҳисоблаш машинасини дастурий мажмуаларидаги ўзаро алоқаси ва рақамли ишлов бериш усуллари «СУПРОМЕД» корхонасида жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 12 октябрдаги 33-8/5956-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқотлар натижасида серияли ишлаб чиқарилиши йўлга қўйилган «SuproDIL-3» компьютер электрокардиографининг дастурий таъминоти яратилган ва компьютерли диагностика тизимининг самарадорлигини оширишга хизмат қилган;

виртуал асбоблар панели кўринишидаги инсон-машина интерфейси асосида ишлаб чиқилган электрокардиограмма сигналларига ишлов бериш, автоматик таниш комплекси ва маълумотлар базаси дастурий таъминоти «Карима» хусусий клиникасига ва «Аксис-Атлант» МЧЖга жорий қилинган (Соғликни сақлаш вазирлигининг 2020 йил 30 ноябрдаги 8н-д/208-сон маълумотномаси). Натижада юрак-қон томир касалликларини ташхис қилиш жараёнини осонлаштирилиб, сифати ва тезлиги оширилиб, сарфланган вақтни 10-15 % камайтириш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинди.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Тадқиқотнинг асосий натижалари 27 та илмий ишларда эълон қилинган, улардан 7 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини эълон қилиш учун тавсия қилинган журналларда, жумладан 2 таси хорижий журналларда ва 5 таси республика журналларида ҳамда ЭҲМ учун дастурларни расмий рўйхатдан олинганлиги тўғрисида 3 та гувоҳнома ва 2 та ихтиро даслабки патенти олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

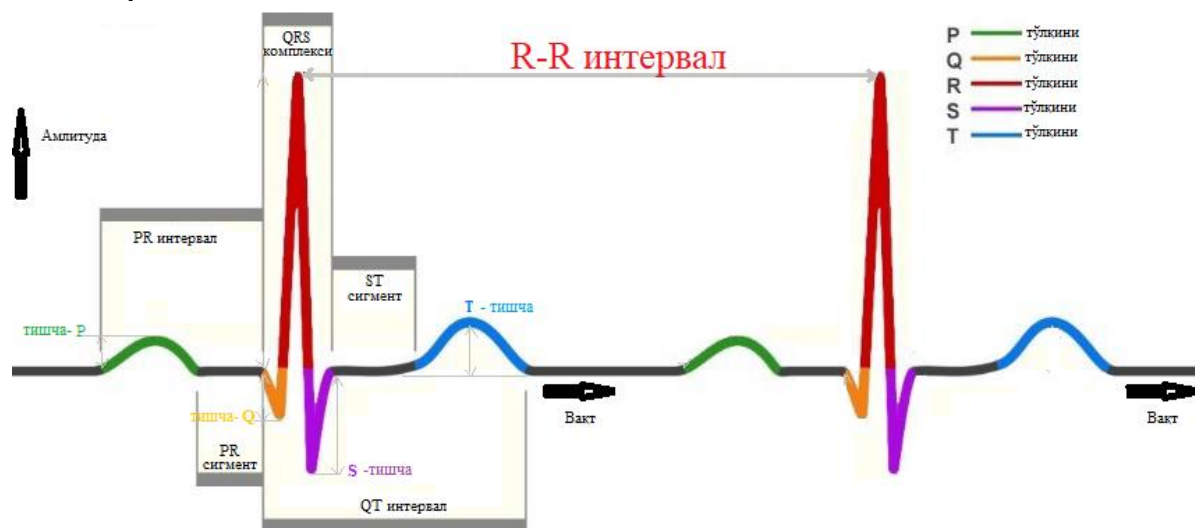
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Биосигналларни йиғиш ва рақамли қайта ишлаш усуллари**нинг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболлари» номли биринчи бобида юрак-қон томир тизими касалликларини аниқлаш учун ЭКГ биосигналларини йиғиш усуллари, тарихи, ҳозирги ҳолати ва ривожланиш истиқболлари умумий нуқтаи назардан таҳлил қилинган.

Замонавий электрокардиографларнинг параметрларини аниқлаш учун, типик вакил ЭКГ сигналининг шакли (1-расм), шунингдек унинг асосий характерли нуқталари, частота-вақт хусусиятлари ўрганиб чиқилди. Электрокардиограф нормал ишлаши учун, унинг ўтказиш характеристикасининг ўзгариши, 3 дБ дан ошмаган ҳолда, частоталар 0,05 дан 120 Гц гача бўлган диапазонда бўлиши талаб қилиниши аниқланди. Ҳолбуки, агар юқори частота қиймати учун аниқ асосли талаблар бўлмаса ҳам - турли манбаларда 75 дан 250 Гц гача чегаралар кўрсатилган. Аммо унинг қуйи

частотасининг қиймати 0,05 Гц - диагностик муҳим ЭКГ мезонлари билан аниқланади. Масалан, занжирнинг вақт ўзгармаси 3,2 секунддан кам бўлса унда энг паст ўтказиш частотаси 0,05 Гц катта бўлади ва натижада, электрокардиограммадаги паст частотали S-T интервалини кўринишининг бузилиши кузатилади, бу еса юрак хуружи бор ёки йўқлиги тўғрисида нотўғри хулосага олиб келиб, миокард инфарктини нотўғри ташхисига олиб келади. Бошқа томондан, баъзи ЭКГ усулларида, масалан, стресс тестларда, изолинияни яхшироқ ушлаб туриш учун атайлаб вақт константаси(ўзгармаси) кичкинароқ қилиб танланади.



1-Расм. Стандарт вақил ЭКГ тўлқинини асосий компонентлари ва шакли.

Электромиографик сигналларга боғлиқ бўлган шовқинларни сўндириш учун сигналнинг частотасини 60-70 Гц гача чеклайдиган треморга қарши паст частотали филтрга (ПЧФ) ва саноат тармоғи манбаларидан ҳосил бўладиган шовқинларга қарши курашиш учун 50 Гц (60 Гц) сўндирувчи филтрга эга бўлиш керак. Демак, электрокардиографда вақт ўзгармаси камида 3,2 сония бўлган ўзгарувчан ўтказгичли юқори частоталар филтри, саноат тармоғи манбаларидан ҳосил бўладиган шовқинларидан ҳимоя қилувчи режектор филтри ва у билан бирлаштирилган ёки алоҳида бажарилган паст частоталар филтри бўлиши мақсадга мовофиқлиги аниқланди.

ЭКГ сигнални рақамлаштириш учун намуна олиш тезлиги шу сигнални энг юқори ўзгарувчи ташкил этувчисидан икки баравар катта бўлиши талаб қилиниши маълум. Одатда, Америка кардиологлар ассоциацияси томонидан тавсия этилган намуна олишнинг 500 Гц тезлигидан фойдаланилади. Замонавий қурилмаларда амплитуда ўлчамлари аниқлаши камида 5 мкВ бўлишлиги талаб қилинади. Кардиоэгриликнинг юқори аниқлиги қайта ишлашнинг айрим турлари учун (масалан, юқори аниқликдаги ЭКГ), шунингдек, электрокардиограммни экранда ёки қоғозга кўчиришда сифатли намоиш қилиш учун бу зарур бўлади.

Таҳлил қилиб чиқиш шуни кўрсатадики, замонавий компьютер технологиялари қўллаш асосида битта қурилмада ЭКГ сигналининг ёзиб олишнинг турли усулларида фойдаланишга имкон яратади.

Таҳлилимиз якунида, ЭКГ тизимларида биотиббӣёт сигналларнинг рақамли ҳисоблагичлари қурилмалари ва тизимлари яратиб ишлаб чиқариш учун классик ёндашувга хос бўлган чеклов ва камчиликни таъкидлаш керак:

олинишларни шакллантириш схемасининг кириш қисмида аниқ резисторлар бўлишлиги;

киритишда синфаз шовқинларни сўндириш учун нисбатан мураккаб инструментал кучайтиргичларининг мавжудлиги;

юқори частотали филтёрларни яратишда катта ўлчамли, юқори сифатли конденсаторларни бўлишлиги;

аналог сигнал спектрини етарлича чеклаш учун юқори тартибли ПЧФ қўллаш, 12-битли аналог-рақамли ўзгартиргич (АРЎ) киришида танлаш-сақлаш ва мултиплексор қурилмаси бўлишлиги, сигналнинг қўшимча ночизиқли ўзгаришларига, шунингдек каналлараро ўзаро таъсирга олиб келади.

Шунинг учун замонавий компьютер ЭКГ ускуналарининг кириш қисмида истиқболли, 24-битли дельта сигма АРЎ дан фойдаланиш ҳисобланади.

Ҳозирги замонавий компьютерли ЭКГ тизимлари икки қисмдан иборат бўлади. Биринчи қисми ЭКГ бошқарув ҳисоблаш машинаси яъни, контроллер деб аталади. У фақатгина ЭКГ биосигнаolini олиш ва ёзишга ўхшаган ўзига хос махсус вазифаларини бажаришга мўлжалланган. Унинг вазифаларига шунингдек, ЭКГ сигналларини рақамли оқимини стандарт интерфейслар (USB, WIFI, Bluetooth) орқали универсал компьютерга тайёрлаб юбориш киради. Шундай қилиб, тизимни иккинчи қисмини умумий фойдаланиш учун мўлжалланган универсал компьютер (шахсий компьютер, ноутбук, планшет ва бошқалар) ташкил қилиши аниқланди.

Диссертациянинг **«Филтёрларни ҳисоблаш ва биотиббӣёт сигналларини қайта ишлов бериш алгоритмларининг таҳлили»** номли иккинчи бобида, мавжуд рақамли филтёрлаш усуллари ва ЭКГ биосигнаoliniнинг характерли нуқталарини автоматик аниқлаш алгоритмларини кўриб чиқиш ва таҳлил қилишга бағишланган.

Рақамли норекурсив паст частотали филтёрлар юқори частотали шовқинлар фонида фойдали биосигнални тозалаш ва ажратиш учун кенг қўлланиши аниқланди.

ЭКГ сигналларини рақамли ишлов бериш алгоритмларини таҳлили асосида қуйидаги хулосалар қилинди:

ЭКГ сигнали QRS комплексининг асосий энергияси 17 ± 3 Гц оралиғида тўпланган;

физиологик сабабларга кўра иккита R ва R тишчалар (QRS комплекси) орасидаги масофа (1-расм) 150 мс дан кам бўлмаслиги аниқланди;

портатив тизимларда, масалан, кўчма ЭКГ тизимларида, ЭКГ сигналларининг априор маълумотлари асосида дифференциал олиш ва вақт - амплитуда таҳлилинини қилишга асосланган алгоритмлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир;

Пан ва Томпкинс алгоритми вақт синовидан ўтган, оммабоп ва тезкор, QRS комплексларини сифатли таниш усулидир;

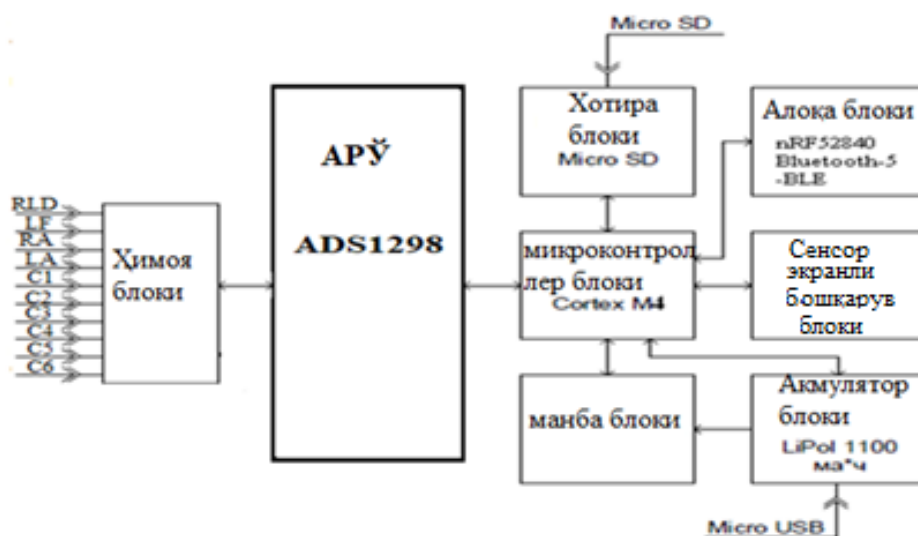
ЭКГ сигнални ажратиш ва синфаз шовқинларини бостириш асосан рақамли норекурсив ПЧФ алгоритмлари ёрдамида амалга оширилди;

ЭКГ бошқарувчи ЭХМ - контроллери сатҳида, ноль қочишини (дрейфи) ва мушаклар тремори таъсирини камайтириш учун, асосан рекурсив ЮЧФ алгоритмлари қўлланилди;

алгоритмлари Фурье тезкор трансформацияси ва тезкор вейвлет трансформациясига (ТВТ) асосан ЭКГ сигналини иккиламчи (қайта ишлаш) ва сиқиш учун ишлатилди.

Стационар компьютерли ЭКГ тизимларида нейрон тармоқлари ва ТВТ асосланган ЭКГни таҳлил қилиш алгоритмлари истиқболи ҳисобланади.

Диссертациянинг «Биотиббиёт ЭКГ сигналларини рақамли ишлов берувчи компьютерли тизимнинг бошқарув ҳисоблаш машина қурилмасини ва тизимли дастурий таъминотни яратиш» номли учинчи бобида ЭКГ контроллери яратиш ва у учун тизимли дастурий таъминотни ишлаб чиқиш масалалари кўриб чиқилган. Унверсал компьютерга узатиш самарадорлиги ва ишончилигини ошириш учун ЭКГ маълумотларини қайта ишлаш алгоритмлари ва усуллари танланган ва асосланган. Ушбу бобда ЭКГ контроллерини яратиш учун моделлаштириш, тизимли дастурий таъминотини (драйверларини) лойиҳалаш усуллари ва алгоритмлари ишлаб чиқилди. Драйверларни яратишдан олдин ЭКГ контроллерини тузилиши батафсил ишлаб чиқилган (2-расм).



2- Расм. Кўп каналли ЭКГ БХМ контроллерининг тузулиш чизмаси.

Бунда, аналогдан рақамга ўзгартиргич (APЎ) сифатида Texas instruments дан тўла аналог қисмини ўзида мужасамлаштирган чип ADS1298 (99) IPAG қўлланилган. Шу мақсадда мавжуд ўта катта интеграл схемаларнинг (ЎКИС) киёсий таҳлили ўтказилди. Тўлиқлиги ва техник хусусиятлари туфайли энг мос келадиган ADS1298(99) ЎКИС танлаб олинди.

Тўлиқ аналог интерфейсли ва юқори аниқликдаги (24 бит) сигма-делта APЎ билан жиҳозланган ушбу ЎКИС, асосан рақамли сигналларни филтрлаш принципларига асосланади. Уни қўллаш аналог сигналларни филтрлаш

талабларини пасайтиради ва натижада, инструментал ёки бошқа кучайтиргичлардан фойдаланишга ҳожат йўқ.

Замонавий талабларига жавоб берадиган рақамли кўп каналли ЭКГ сигналининг қўйидаги биоўлчачи бошқариш мосламаси ишлаб чиқилган (2-расм):

автоном электр таъминоти;

киритиш ва чиқаришнинг график интерфейси;

сониясига 500 марта частотали юқори аниқликдаги (4 мкВ) АРЎ;

тўлиқ аналог қисми УКИС;

ЭКГ маълумотларини микро-СД (microSD)да сақлаш қобилияти;

асосий компьютер билан симли USB ва симсиз Bluetooth алоқаси;

АРЎ графикли экран ва сенсор учун драйверлар ишлаб чиқилган ва ушбу контроллерни ишлашни таъминловчи бошқариш интерфейс дастури яратилган.

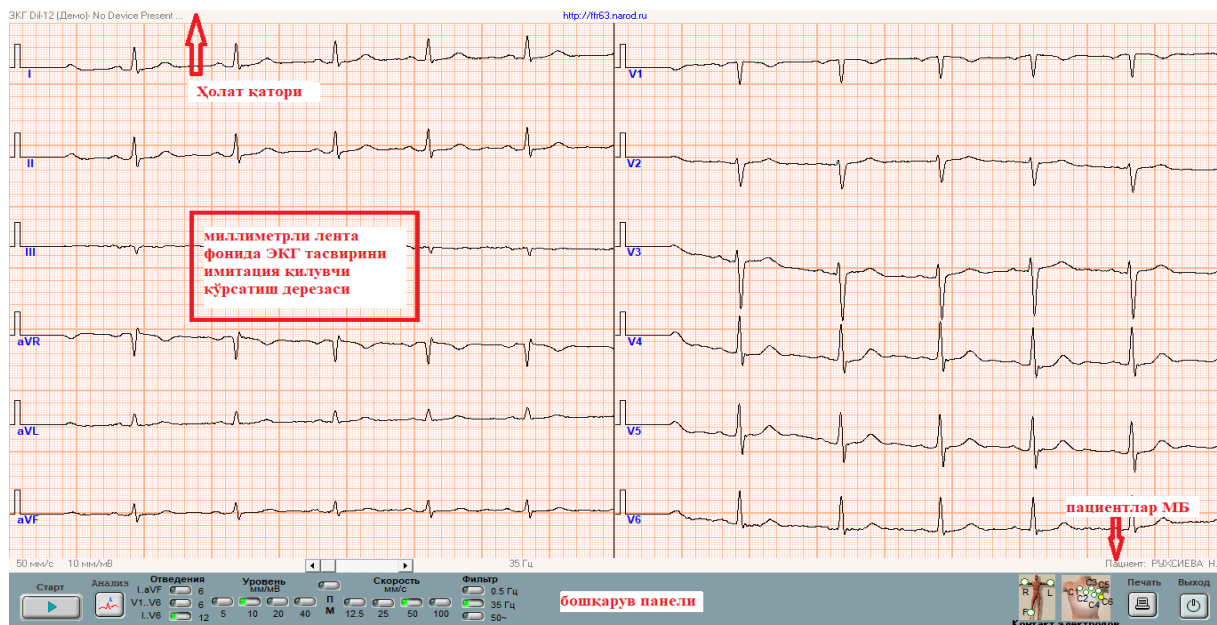
АРЎ драйвери ишлашни таъминлаш ва маълумотларни узатиш жараёндан марказий процессорни озод қилиш учун тўғридан-тўғри хотирага мурожаат қилиш (ТХМҚ-DMA direct memory access) технологиясидан фойдаланилган. ЭКГ олиш дастурини «осилиб» қолмалигини таъминлаш учун «Watch dogs» технологиясидан фойдаланилган. Бу АРЎ қурилмасини ва контроллерни тасодифий носозликларидан ҳимоя қилишда фойдаланилган.

Яратилган LCD драйвернинг ўзига хослиги «Hi color» R5-B6-G5 режимида ЭКГ маълумотларини чизиш учун график маълумотларни реал вақт режимида намойиш этишга йўналтирилганлигидадир.

Экраннинг ишлаб чиқилган драйвериде беш нуқта ёрдамда, уч нуқтали сирпанувчи ойна алгоритми асосида ва босиш кучини ҳисобга олиш туфайли, тегиниш координаталарини аниқлашнинг юқори аниқлиги таъминланади. Бу, айниқса, ЭКГ характерли нуқталарини ўлчаш учун қўлда маркёрларни ўрнатишда жуда муҳимдир.

Диссертациянинг «Компьютерли ЭКГ нинг амалий дастурий таъминотини ишлаб чиқиш» номли тўртинчи бобида объектга йўналтирилган визуал дастурлаш тизими асосида яратилган ва Microsoft Windows операцион тизимида ишлашга мўлжалланган «SuproDil-3» дастурий таъминотининг тавсифланади.

Амалий дастурий таъминот (АДТ) да фойдаланувчининг график интерфейси (3-расм) (WIMP интерфейси: WIMP - ойна, Image - тасвир, Menu - меню, Pointer - кўрсаткич) ишлатилган - экранда дастур функциялари элементлар сифатида график примитивлар билан ифодаланади. ЭКГ график интерфейсини яратиш учун метафора усули ишлатилди. Бу ишлаб чиқувчига ҳар сафар янги модель яратмасдан, балки илгари яратилган тайёр моделдан фойдаланишга имкон беради. ЭКГ нинг сифатли инсон-машина интерфейси тузиш учун АДТни қуришда қўйиладиган қўйидаги талаблар ҳисобга олинди: масштаблашуви; фойдаланувчи ҳаракатларига мослашуви; ресурсларда мустақиллиги; кроссплатформалик; мультимедиалик; «олтин нисбат» қоидаси ёки 4/3 ёки иккиннинг квадрат илдизи (1.62 ёки 1.33 ёки 1.41) нисбатлилиги талаблари ҳисобга олинган.



3-Расм. ЭКГ тизими («SuproDil-3») дастурининг асосий ойнаси интерфейсининг кўриниши.

Электрокардиограф дастурий таминотининг *инсон-машина интерфейси* (3-расм) виртуал курилма каби яратилган. Ушбу интерфейс стандарт меню шаклларга нисбатан баъзи афзалликларга эга. Биринчидан, компьютерли бўлмаган ЭКГлар узоқ вақтдан бери мавжуд бўлиб, тиббиёт ходимларида маълум стереотиплар пайдо бўлган, шунинг учун экраннинг ташқи кўриниши, ҳақиқий курилмаларнинг кўринишига ўхшашлиги, ишлашни осонлаштиради ва комплекс билан ишлаш қулайлигини таминойди. Иккинчидан, бундай интерфейсни шакли, умумий қабул қилинган иероглифлар ва пиктограммалар мавжудлиги сабабли маълум бир тилга боғлиқликни камайтириб, тил мустақиллигини тақдим этади.

Компьютерли электрокардиографда кардиограмма маълумотлари, олинган санаси ва шифокор томонидан чиқарилган хулоса сақланади. Яна маъсул шифокорнинг исми ҳам эслаб қолинади. Беморда бир нечта кардиограммаси бўлса, шунга мос, шифокорнинг исми кўрсатилиши керак. ЭКГ ишлов берилгандан сўнг, ундан ташхис учун ишлатиладиган керакли параметрлар ажратиб олинади. Умуман 4 та мавжудлик аниқланди: бемор, кардиограмма, кўрсаткичлар ва ташхис ва улар орасидаги муносабатлар, иккита 1 дан 1 гача, иккита 1 дан кўпгачани ташкил қилди. Мавжудлик ва муносабатлар асосида тегишли ER -диаграммаси курилди ҳамда BDE технологияси асосида беморларнинг ЭКГ билан ишлаш учун кардиологик маълумотлар базасининг тузилиши ва интерфейси яратилган. Кардиограмми ёзиб олиш ёки олдингисини кўриш учун, аввал маълумотлар базасидан беморни танлаш (ёки янгисини киритиш) ёки SQL сўрови ёрдамида беморнинг исмини топиб танлаш лозим.

«SuproDil-3» дастури BDE ва IDE Delphi инструментал дастурлаш воситаларидан фойдаланган ҳолда «Paradox» драйвери орқали *локал маълумотлар базасини бошқариш тизимини* (database management system (DBMS)) амалга оширади. Яратилган «cardio12» маълумотлар базасининг

тузилиши 4 та иерархик боғланган икки ўлчовли жадваллардан иборат, бу ерда калит майдонлардан фойдаланиб, бўйсунувчи ва асосий жадвалларнинг алоқаси яратилган. Маълумотлар базасида ахборотларни қидиришни тезлаштиришда ҳар бир жадвал учун индекс майдонлари яратилган.

ЭКГ сигналининг частота хусусиятларини *экспериментал таҳлил қилиш ва ўрганиш* учун MATLAB да ФТТ ва ТВТ асосида сигнал спектрини аниқлаш дастури ишлаб чиқилди ва трансформация натижалари таҳлил қилинди. Экспериментал маълумотлар сифатида ЭКГ сигналлари физионет очик маълумотлар базасидан олинган. Экспериментал тадқиқотлар шуни кўрсатдики, агар юрак уриши бир маъромда бўлса, у ҳолда сигнал спектрида юрак уриш даври аниқ кўринади. Аммо, юрак уриши нотекс (аритмия - ностационар) бўлса сигнал спектридаги юрак уриши хира ва ноаниқ кўришда тасвирланади.

Худди шу сигналнинг ТВТ спектрида юрак уришининг даври маълум бир вақт (Time b) силжишида ва миқёс (Scale) қийматлари тасвирида аниқ кўринади. ЭКГ сигналининг спектрал таркибини баҳолаш учун сигнал энергиясининг асосий қисми қуйидаги формуладан фойдаланган ҳолда эгалаган частоталар чегаралари аниқланди:

$$EnergieECG_{35} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{250} SpektrECG[i] - \sum_{i=1}^{35} SpektrECG[i]}{\sum_{i=1}^{250} SpektrECG[i]} \right) 100\% \quad (1)$$

бу ерда, *SpektrECG* - Фурье қатори ташкил этувчи коэффициентларининг модули.

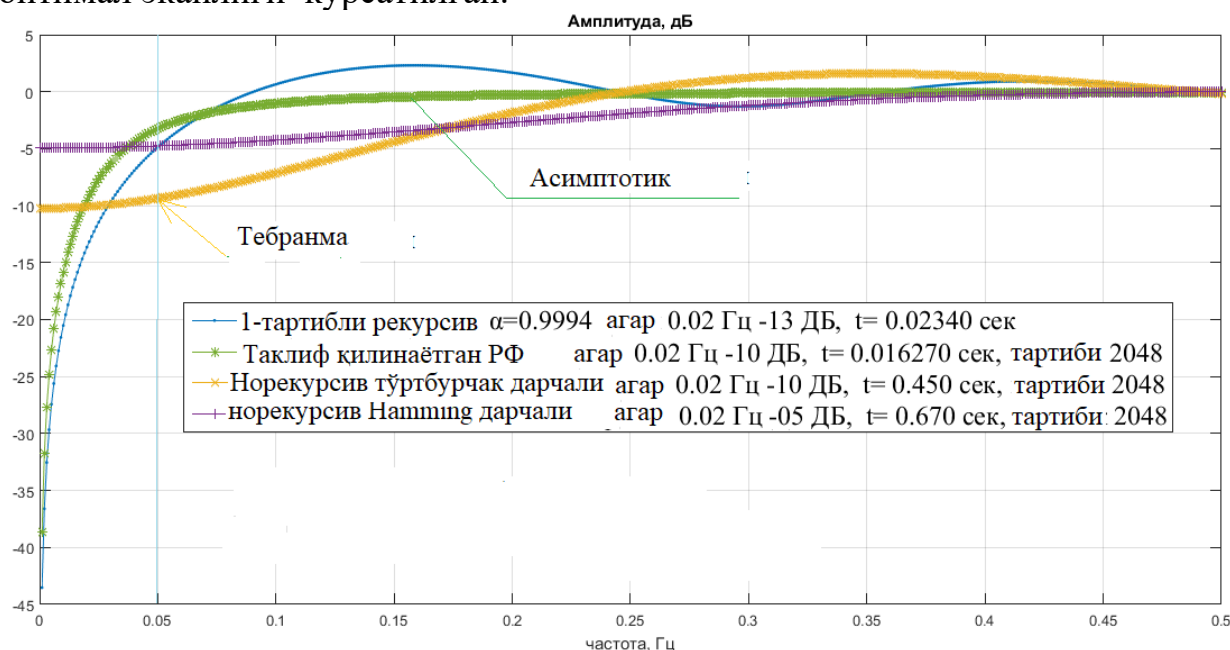
Юқорида келтирилган ЭКГ сигнали учун *EnergieECG₃₅* (1) 84.6627 % ташкил қилди. Бир сонияда 500 марта намуна олинган ЭКГ сигналлари асосида ўтказилган тажрибалар шуни кўрсатадики, ушбу сигналларнинг асосий энергиясининг 80% дан ортиғи 35 Гц гача диапазонда тўпланган. ЭКГ сигналини частоталар фазосида оптимал филтрлаш учун, филтр ўтказиш йўлакчаси 0,05 Гц дан 35 Гц оралиғида, сигнални амплитудасини бузмасдан ёки, рухсат етилган 30% ўзгариш билан узатилишини таъминлаши керак (бу номинал қийматнинг 3 дБ ёки 0,707 га тўғри келади) ва чизикли фаза-частота характеристикага эга бўлиши талаб қилинади.

Тажриба натижаларига кўра, «SuproDil-3» дастурий таъминот учун *коэффициентлари бирга ва тартиби иккени даражасига тенг юқори частотали филтр (ЮЧФ) ишлаб чиқилди*, унинг ўзгарувчан қирқиш частотаси (-3 дБ даражасида) 0.05, 0.5 Гц ни ташкил қилди. ЭКГнинг амалда ST сегментини силжишини аниқ ўлчашга ва изолинияни тезда ўрнатишга, частота диапазони мосланган филтр яратилди. Филтрнинг кўрсаткичлари қуйидаги формула асосида аниқланади:

$$Y[i] = X[i] - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X[i - n - 1], \quad (2)$$

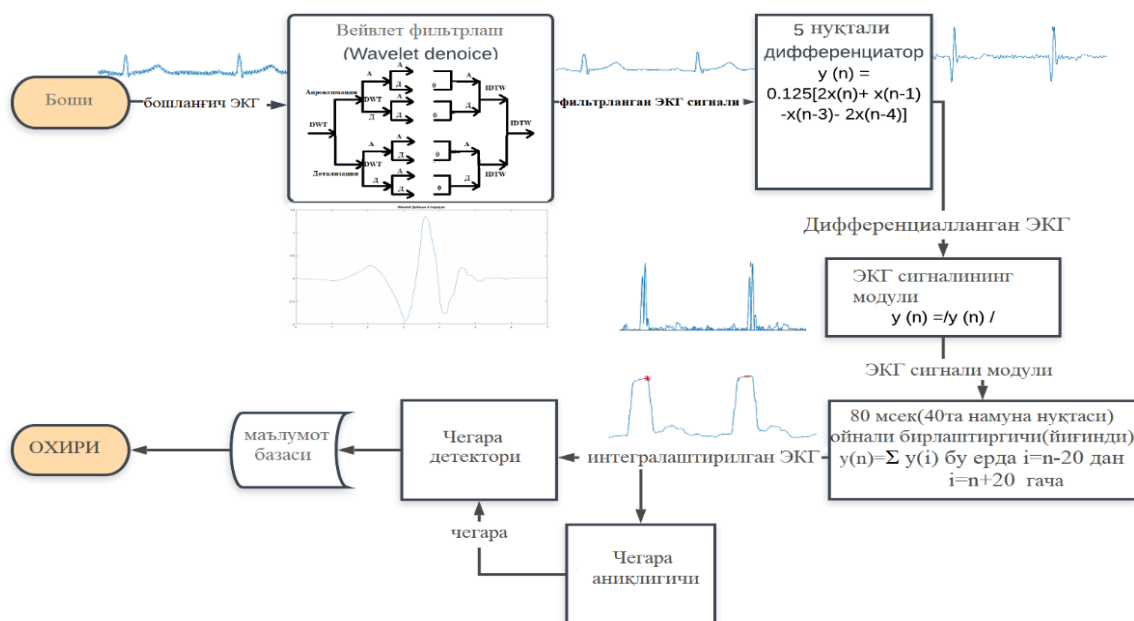
бу ерда, $X[i]$ ва $Y[i]$ кириш ва чиқиш намуналари, N филтр тартиби ва у мос равишда 2048 ёки 256 га тенг, агар 2 мс (500 Гц) намуналарини олиш даври бўлса мос равишда филтрнинг қирқиш частоталари 0,05 ёки 0,5 Гц га

тенг бўлади. Қиёсий таҳлил қилиш учун ЮЧФ алгоритмлари қуйидаги принциплар асосида танланган: ЭКГ сигнаolini ишлов беришда амплитуда-частота характеристикаси (АЧХ)нинг талаб қилинган сўндириш қиялиги, реал вақтда ишлашини таъминлаш учун чизикли фаза, юқори тартибли, норекурсив филтърлардан фойдаланиш керак. Таққослаш натижалари (4-расм) шуни кўрсатадики, таклиф қилинган алгоритм энг тезкор ($t = 0,01627$ сек) бўлиб, силлиқ АЧХга ва $0,02$ Гц частотада 10 дБ сўндириш хусусиятига эгадир. Демак, таклиф қилинаётган алгоритм реал вақт ЭКГси учун мос келиши ва оптимал эканлиги кўрсатилган.



4-расм. ЭКГ сигнали ЮЧФнинг 4 та алгоритмини АЧХ ва тезкорлик бўйича қиёсий таҳлил натижаси.

Юрак-қон томир тизими касалликларини автоматик диагностика қилиш учун ЭКГ сигнаlining R тишчаларини автоматик равишда аниқлаш алгоритмлари (1-расм) алоҳида аҳамиятга эга. ЭКГ сигнаolini аниқлаш алгоритми таклиф қилинган (5-расм). Алгоритмнинг мавжудлардан фарқи шундаки, дастлабки филтърлаш вейвлет тозалаш асосида амалга оширилади, бу бузилишларни киритмасдан изчил филтърлашни таъминлади. ЭКГ сигнал қийматини квадратга олиш ўрнига сигнал модули олиниши билан ҳам фарқ қилади. Бу алгоритм талаб қилинадиган ҳисоблаш қувватини камайтиради. QRS ни аниқлаш алгоритми (5-расм) вейвлет филтърлаш, сигналнинг беш нуқтали ҳосиласи ва ЭКГ нинг II уланишидаги комплексни аниқлаш учун модулини қийматини ҳисоблашга асосланган. Бундай ҳолда, QRS комплекси кетма-кет уч марта аниқланади ва юрак уриши (юрак уриш тезлиги) учта RR оралиғининг ўртача қийматидан ҳисобланади. Вейвлет филтърлашдан сўнг R тўлқинларини аниқлаш ва юрак тезлигини (Heart Rate) ҳисоблаш қуйидаги босқичларда амалга оширилди:



5-Расм. ЭКГ сигналининг R тишчаларини топиш учун автоматик таниш алгоритмининг блок диаграммаси.

1. Сигналнинг беш нуктали ҳосиласи қўйидагича ҳисобланади:

$y(n) = [2x(n) + x(n-1) - x(n-3) - 2x(n-4)]/8$, бу ерда $x(n)$ - жорий сигнал намунаси, $x(n-1)$ сигналининг навбатдаги намунаси, $x(n-3)$ ва $x(n-4)$ 3 та ва 4 та дан кейин олинган сигналнинг намунаси.

2. Сигнал модули аниқланади: $y^*(n) = |y(n)|$.

3. Қўйидаги формуладан фойдаланиб, интегралаш 160 мсек ораликда ҳисобланади:

$$y_s(n) = \frac{1}{80} \sum_{i=0}^{79} y^*(n-i)$$

аввалги 80 та намунани буферда сақлашга асосланган тез йиғиндини ҳисоблаш алгоритмидан фойдаланамиз. Бундай ҳолда, жорий жавоб йиғинди натижа $y_s(n)$ қўйидаги формула асосида ҳисобланади:

$$y_s(n) = y_s(n-1) + \frac{1}{80} (y^*(n) - y^*(n-79))$$

4. Буферда даслабки $y_s(n)$ йиғиндиларнинг 2 сонияси сақланади (1000 та намуна) ва шундан сўнг шу буфердаги максимал қиймат (P) аниқланади.

5. R тишчаларни аниқлаш учун $N = 0,5 * P$ чегара миқдорини ҳисоблади.

6. $y_s(n)$ йиғиндининг ҳар бир нуктаси ҳисобланган N чегара билан таққосланади.

7. ЭКГ намунасининг йиғиндиси $y_s(n)$ миқдори, биринчи марта N чегарани кесиб ўтиши қайд қилинади ва шу намунадан кейин жойлашган янги чўққи P^* аниқланиб, чегара $N = N + 0,5 * (P^* - N)$ қиймати қайта ҳисоблаб чиқилади.

8. QRS комплексининг чўққиси P^* , R тишчасига мос келадиган асл $x(n)$ сигналининг максимал (M1) нуктаси кейинги 40 намуналар ($MAXIMA_SEARCH_WINDOW = 40$) ичида изланади, максимал (M1) ва янги

индекснинг p_j қиймати R тишчаси учраган жой сифатида массивни янги элементи сифатида сақланади.

9. Кейинги R тишчани қидириш учун p_j нуқтадан кейин (SKIP_WINDOW=50) 50 та намунани ўтказиб юборилади чунки, бу максимал юрак уриш тезлиги (яъни дақиқада 240 марта) бўлгандаги, қабул қилинган минимал RR оралиғини таъминлайди.

10. Кейинги бешта QRS чўққиси 3 дан 6 гача кадамларни такрорлаш билан аниқланади.

11. RR оралиғини (интервални) кетма-кет иккита QRS чўққилари орасидаги намуналар сони сифатида ҳисоблади.

12. Қуйидаги формуладан фойдаланиб, юрак уришнинг бир дақиқадаги тезлиги ҳисобланади: $HR = (60 * \text{намуна олиш тезлиги}) / (\text{кетма-кет бешта RR оралиғини ўртачаси})$

13. Аниқланган QRS чўққилари асосида чегара қайта ҳисобланади.

"SuproDil-3" дастурий таъминотида ЭКГ сигналлари таниш учун ишлаб чиқилган алгоритмни ишлатишдан олдин, алгоритмнинг самарадорлиги GUI MATLAB (SymplesQRS) математик муҳитида яратилган дастури томонидан текширилди. ЭКГ сигналларини таниш алгоритмининг самарадорлиги сезгирлик - $S_e = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\%$ деб номланувчи нисбий кўрсаткич билан баҳоланди ва экспериментлар натижасида таклиф қилинган алгоритмни сезгирлиги 98,6% ташкил қилди, яъни энг камида 1000 юрак уришидан 986 таси тўғри аниқланиб, фақат 14 тасини ўтказиб юбориши мумкин.

Жадвал 1. ЭКГ сигналлари QRS комплексини реал вақт ичида таниш алгоритмлари қиёсий солиштирма таҳлилининг натижаси.

Солиштириш алгоритми	Бажарилиш вақти, сек	TP	FN	FP	Se, %	Sp, %
Ҳосилага асосланган алгоритм	1,67	340	0	10	100	97
Пан -Томпкинс алгоритми	1,89	325	0	25	93	100
Нольни кесиб ўтиш алгоритми	1,34	329	21	0	94	100
Корреляцион алгоритм	2,67	298	0	52	100	85
Таклиф қилинаётган алгоритм	0,62	344	6	0	98	100

Моделлаштириш ва ҳисоблар MATLAB R2015b (8.6.0.267246) 64bit (win64) дастурий мажмуасида бажарилган, вақт t қўйидаги кўрсаткичларга эга ҳисоблаш машинасида олинган: CPU Intel Core i3 2,53 GHz; оператив хотираси 4 Гб; Видео адаптери AMD Mobility Radeon HD 5000.

Қиёсий таҳлил натижасида, реал вақт ЭКГ таниш алгоритмлари ичида вақт кўрсаткичи (тезкорлиги $t=0,62$) ва аниқлиги (сезгирлиги 98%) бўйича таклиф қилинаётган алгоритм авфзал эканлигини кўрсатмоқда (жадвал 1).

ЭКГ синов сигналлари вазифасини PhysioBank электрокардиограмма маълумотлар банки бажарди, чунки у текин тарқатилувчи катта ресурс

ҳисобланади. «SuproDil-3» дастурий таъминотининг янги версиясида, ташҳис сифатини янада ошириш учун, юрак уриш тезлиги ўзгарувчанлигини ва юрак уриши атипик бўлишини ҳисобга олиб, ЭКГ сигналининг танишда вейвлет трансформатсияси қўлланилди. Илмий тадқиқотлар LABVIEW график дастурлаш тизими ёки Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (АҚШ) томонидан таклиф қилинган тизимда амалга оширилди, бу одатий дастурлаш тилларидан тубдан фарқ қилади, чунки бир сатр ҳам матн ёзмасдан, алгоритмнинг блок диаграммасини яратишга асосланиб, дастур яратишга имкон беради.

Ушбу яратиш инструментал муҳити, рақамли ЭКГ маълумотлар оқимини текшириш учун, кўплаб «виртуал воситалар» га эга. Бунга Wavelet Denoise воситаси ва WA Multiscale Instrument Detection ни ўз ичига олган Advanced Signal Processing Toolkit дастурий модуллари киради.

Вейвлет функциясининг оиласини тўғри танлаш тавсия етилади. Унинг кўриниши стандарт ЭКГ тасвирига яқин бўлган вейвлет функция оиласидан танлаб, сигнал билан ўзаро боғлиқлиги (ўхшашлиги) таъминлаши муҳимдир. Маълумки, ўхшашлик бўйича яқин қуйидаги вейвлет функциялари бор: db04 (Daubechies - Добеши), симплет (Symlets) sym4... sym7. Ўтказилган тажрибалар шуни кўрсатдики, sym5 вейвлет функциясини танлаш сифат жиҳатидан мукамал ҳисобланади. Агар вейвлетда ёйиш даражаси (Levels) 3 дан паст бўлса, ЭКГ сигналидаги шовқинни сўндириш даражаси жуда паст бўлади, лекин агар у 5 дан ортиқ бўлса, у ҳолда Т тўлқини сўндирилиб, ЭКГ сигналининг шакли сезиларли даражада ўзгаради. Шунинг учун ЭКГ сигналларини филтрлаш учун вейвлет функцияси сифатида sym5 ни танлаш тавсия етилади ва ёйиш даражаси 4 га тенг бўлгани мақсадга мувофиқдир. Р тишчаларини аниқлаш чегараси ва қидирув оралиғини тўғри танлаш вейвлет ЭКГ таниш аниқлиги юқори натижалари беришини таъминлайди ва истиқболли ҳисобланади.

ХУЛОСА

«Электрокардиографик сигналларга рақамли ишлов бериш усул, алгоритм ва амалий дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган илмий ва амалий тадқиқотлар асосида қуйидаги илмий натижаларга эришилди.

1. ЭКГ биосигналини олиш ва қайд этишнинг мавжуд усулларини кўриб чиқиш ва таҳлил қилиш натижасида замонавий талабларига жавоб берадиган, кўп каналли ЭКГ сигналининг рақамли биоўлчагичи - контроллер ишлаб чиқилган, бу ЭКГ сигналларини таниб олиш алгоритмларини такомиллаштириш ва биосигналларни рақамли ишлов бериш тезкорлигини ошириш алгоритмларидаги асосий йўналишларни такомиллаштиришга имкон берди.

2. Амалий дастурий таъминотни яратиш бўйича олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида - кўп вазифали MS Windows операцион тизими бошқарувида ишлайдиган, компьютер учун "SuproDil-3" номли амалий дастурий таъминот ишлаб чиқилган. Инсон-машина интерфейсини

яратишнинг замонавий талабларини ўрганиш асосида, график интерфейсли элементларнинг яратиш қоидаларини қўллаб, кўламлик, ихчам жойлашувлиги ва ўлчамларини ҳисобга олган ҳолда, виртуал асбоб кўринишидаги интерфейс яратилган, у маълум бирор тилга боғланмасликни ва ишлаш жараёнининг содда равшанлигини таъминлади.

3. Инструментал дастурлаш BDE технологиясини қўллаб, беморларнинг ЭКГ маълумотлар базаси билан ишлаш учун реляцион маълумотларни бошқариш тизими (РМБТ)нинг тузилиши ва интерфейси яратилди. РМБТ яратишда, беморнинг ЭКГ сигналларини олиш, сақлаш, излаш учун барча моҳиятлар ва уланишлар ҳисобга олинди. Натижада, фойдаланувчи томонидан маълумотлар базасига киритиш жараёнини қулай ва тушунарли бўлишлиги таъминланди.

4. ЭКГ сигналларни филтрлаш ва бошланғич сигналнинг танланган таркибий қисмларини сўндириш алгоритми ишлаб чиқилди. Ҳисоблаш тезкорлигини таъминловчи, ўзгариши 0.05 ёки 0.5 Гц частоталардан бошланиб, 3 дБ чегарасида бўлган рақамли норекурсив юқори частоталар филтрининг алгоритми яратилди. Бу сигнални қайта ишлаш вақтини қисқартириш ва дастурнинг ишлаш унумдорлигини ошириш имконини берди.

5. ЭКГ сигналларининг оқимидаги R тишларнинг жойлашувини автоматик равишда аниқлаш учун алгоритм яратилди ва тавсия этилди. Бу алгоритм реал вақтда ЭКГ сигналинини таниш аниқлигини 98,6% га кўтарди. Юқоридаги алгоритмда қўлланилган вейвлет филтрлаш ва сигнал модулини топиш орқали ўзгартиришни амалга ошириш юқори аниқликдаги унумдорликни таъминлади.

6. LabView график дастурлаш муҳитида, ЭКГ сигналинини филтрлаш учун Wavelet Denoise кенгайтирилган сигнални қайта ишлаш воситаси асосида ишлайдиган рақамли вейвлет трансформацияси текширилди. Экспериментал тадқиқотлар натижасида ЭКГ сигналининг R чўққиларини топиш учун чуқирлик-чўққилар қидирилаётган оралик ва чегараси тўғри танланган бўлса, вейвлет алмашувини қўллаш истиқболли эканлиги исботланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

РАЖАБОВ ФАРХАТ ФАРМАНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА, АЛГОРИТМА И КОМПЛЕКСА
ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

**05.01.04 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов и компьютерных сетей**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Тошкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2019.4.PhD/T1422.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Джуманов Жамолжон Худайкулович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Рахматуллаев Марат Алимович
доктор технических наук, профессор

Рахимов Бахтиёр Саидович
кандидат технических наук

Ведущая организация: Ташкентский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «15» апреля 2021 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 2/186). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «02» апреля 2021 года.
(протокол рассылки № 02 от «14» января 2021 г.).



Р.Х.Хамдамов
Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук, профессор

Ф.М.Нуралиев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней, доктор технических наук, доцент

М.А.Рахматуллаев
Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) заявляет, что «...каждый год от сердечно-сосудистого заболевания (ССЗ) умирает 17,5 миллионов человек. Более 75% случаев смерти от ССЗ происходят в странах с низким и средним уровнем дохода. Но 80 % преждевременных инфарктов и инсультов может быть предотвращено»¹. Один из эффективных способов предотвращения смерти от ССЗ это своевременная диагностика на основе современных способов, алгоритмов цифровой обработки электрокардиографических (ЭКГ) сигналов. Поэтому, в этой отрасли в развитых странах, в том числе в США, Японии, Южной Корее, Германии, Китае, России и других странах, проводятся научные исследования по обработке ЭКГ сигналов.

В современном мире в разработке систем медицинской информатики ведется множество научных исследований по разработке программно-аппаратных средств распознавания электрокардиографических сигналов, созданию прикладных программных комплексов обработки ЭКГ сигналов. Как известно, ЭКГ-многоканальный измеритель биопотенциалов сокращения сердечных мышц – миокарда, в связи с этим научные исследования, разработка математических методов, алгоритмов, баз данных для обработки ЭКГ сигналов, а также разработка прикладных программ с удобным интерфейсом являются важной научной и практической проблемой.

В Узбекистане проводятся теоретические и практические исследования по обработке ЭКГ сигналов с использованием современных информационных технологий. В нашей республике уделяется большое внимание развитию информационных технологий, обеспечению широких слоев информационными услугами, созданию удобных программных средств, повышению эффективности использования программных продуктов. В стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены такие задачи, как «...внедрение и использование передовых информационных и коммуникационных технологий, внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу и систему управления»². Использование программных средств для ранней диагностики и своевременной реабилитации больных ССЗ является одной из актуальных проблем.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных программой по реализации концепции развития системы здравоохранения Республики Узбекистан в 2019-2021 годах, утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан от 7 декабря 2018 года № УП-5590 «О мерах по коренному совершенствованию системы

¹ https://www.who.int/cardiovascular_diseases/ru/

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

здравоохранения Республики Узбекистан», №УП-5099 от 30 июня 2017 года «О мерах по коренному улучшению условий для развития отрасли информационных технологий в Республике», №УП-5349 от 19 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и коммуникаций», №ПП-3245 от 29 августа 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления проектами в сфере информационно-коммуникационных технологий» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Научные исследования вопросов съема, регистрации и обработки ЭКГ сигналов, для повышения эффективности цифровой обработки, проводятся в научных центрах развитых государствах мира.

Проблемы исследования, фильтрации сигналов, характеризующиеся бурным развитием микроэлектроники и средств вычислительной техники, позволяют, с одной стороны, практически исключить инструментальные искажения, а с другой - применять методы цифровой обработки сигналов, реализация которых была ранее невозможна и достаточно широко освещены в мировой научной литературе. Значительная часть научных исследований в этой сфере посвящена совершенствованию обработки биосигналов алгоритмов и инструментальных средств J. Pan, W.J. Tompkins, С. Малла, П. С. Аддисон, Н.К. Смоленцев, А. Оппенгейм, А.В. Меркушева, Ф. Креа, П. Самичи, Р. Декатрина и др. Кроме того, исследованию и разработке аппаратно-программного комплекса обработки медико-биологических данных в реальном масштабе времени, эффективных алгоритмов обработки и передачи цифровых сигналов посвящены работы Р. Хемминга, К. Блаттер, Д. Даджион, Я.А. Туровский, И.Ю. Кретинин, С.Д. Кургалин, С. М. Арбузов, И.С. Губарев, Е.О. Иванько, А.В. Максимов и в ряде работ показана эффективность использования аппарата ЭКГ траектории сердечного ритма для автоматического обнаружения и анализа физиологических процессов.

Исследованиям, проведенным на этих базах, посвящено большое количество работ ученых и исследователей нашей Республики В.К. Кабулов, Б.Н.Хидиров, М.М.Мусаев, А.Абдукаюмов, Х.Н.Зайнидинов, Ж.Х.Джуманов, Б.Б.Муминов, Ў.Р.Хамдамов и др., внесшие свой вклад в разработку исследований в направлении цифровой обработки и диагностики на основе распознавания параметров биомедсигналов.

Результаты анализа компьютерных систем съема, обработки ЭКГ сигналов показывают, что созданные устройства и программы на основе дискретного вейвлет и Фурье преобразования, цифровая фильтрация изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов № БВ-Атех-2018-249 «Биометрик сигналларга рақамли ишлов бериш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2018-2019) и №БВ-Ф4-011 «Развитие методов, средств и теории параллельных вычислений в задачах обработки сигналов и изображений» (2015-2018) в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий.

Целью исследования является – разработка способа, алгоритма и комплекса прикладных программ автоматического распознавания электрокардиографических сигналов для повышения эффективности диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Задачи исследования:

анализ и изучение методов, алгоритмов съёма, регистрации, цифровой обработки биомедицинских электрокардиографических сигналов также создание программных средств;

разработка организации взаимодействия программного обеспечения вычислительной машины управления для съёма и вывода электрокардиографических сигналов;

на основе обзора существующих моделей и способов цифровой обработки сигналов разработать автоматическое распознавание электрокардиографических сигналов с применением вейвлет преобразования;

создание комплекса прикладных программ и удобного человеко-машинного интерфейса системы на основе современных технологий.

Объектом исследования являются электрокардиографические сигналы.

Предметом исследования являются модели, методы и алгоритмы анализа и распознавания электрокардиографических сигналов.

Методы исследования. В процессе исследования применены методы теории цифровой обработки сигналов, временных рядов, математического моделирования, вейвлет-функций, цифровой фильтрации и спектрального анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

создана каноническая структура нерекурсивного фильтра с ограниченной импульсной характеристикой и разработан алгоритм очистки электрокардиографических сигналов от тремора, миографического шума в режиме стресс-теста;

разработан алгоритм организации взаимодействия программ вычислительной машины управления для приема электрокардиографических сигналов от аналого-цифрового преобразователя и отображения данных на экране, а также создана функциональная схема многоканального биомедицинского измерителя;

разработан алгоритм автоматического распознавания зубцов электрокардиографических сигналов с вариабельной морфологией на основе

вейвлет-фильтрации и создан прикладной комплекс программ;

создан графический, язык независимый человеко-машинный интерфейс прикладного комплекса программ электрокардиографа на основе виртуальной приборной панели и разработан алгоритм обмена данными с управляющей вычислительной машиной.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны алгоритмы и программы, на основе которых созданы эффективные методы обработки биомедицинских сигналов;

разработанные алгоритмы фильтрации и распознавания значительно повысили точность обработки электрокардиографических сигналов и точность диагностики ССЗ, которые реализованы в программе «SuproDil-3»;

разработан алгоритм автоматического определения комплекса QRS сигналов электрокардиограммы, решающий задачу автоматизированной диагностики и контроля частоты сердечных сокращений, что дополнительно используется при анализе нарушений сердечного ритма, и определения значений RR-интервалов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается путем проведения многочисленных программных реализаций с различными шумами и помехами различной природы, для различных базисных систем спектрального анализа по свойствам инструментальных средств.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования состоит в том, что разработаны методы и алгоритмы обработки биосигналов, позволяющие значительно снизить уровень сетевых помех, что повышает информативность биосигналов при их регистрации в различных, в том числе при нестационарных условиях.

Практическая значимость результатов исследования состоит в создании комплекса прикладного и системного программного обеспечения электрокардиографа «SuproDil-3», предоставляющих точность, достоверность регистрации и анализа ЭКГ сигнала пациента, в кардиологии для диагностики ССЗ.

Внедрение результатов исследования. Разработанные в рамках диссертационного исследования, созданные методы, алгоритмы и аппаратно – программные средства цифровой обработки биосигналов электрокардиограмм для эффективного съема, обработки и диагностики компьютерных медицинских комплексов использовались:

разработанные алгоритмы автоматического распознавания, организация взаимодействия программного обеспечения вычислительной машины управления и методы обработки электрокардиографических сигналов внедрены в ЧНПП «СУПРОМЕД» (Справка Министерства по информационным технологиям и развитию коммуникаций от 12 октября 2020 года №33-8/5956). В результате научных исследований разработан серийно производимый компьютерный ЭКГ «SuproDIL-3» который, повысил эффективность диагностики компьютерного медицинского комплекса;

структура, порядок и интерфейс работы баз данных для хранения,

поиска и модификации полученной информации ЭКГ сигналов, созданный человеко-машинный интерфейс комплекса в виде виртуальной приборной панели, а также комплексы прикладных программ внедрены в ООО «Аксис-Атлант» и в частную клинику «Карима» (Справка Министерства здравоохранения Республики Узбекистан 30 ноября 2020 года 8н-д/208). В результате применения удобного интерфейса комплекса прикладных программ сокращено затрачиваемое время на 10-15%, повышено качество и скорость, упрощен процесс диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были представлены и обсуждены на 3 международных и 7 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме исследования опубликовано 27 научных работ, из них 7 в журнальных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе в 2 иностранных и в 5 республиканских журналах. Получено 3 свидетельств об официальной регистрации программы для ЭВМ и 2 свидетельства предварительного патента изобретения

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, обосновано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, сформулированы цель и задачи, а также определены объект и предмет исследования, научная и практическая значимость результатов исследования, приводится информация о внедрении результатов на практике, об опубликованных работах, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние и перспективы развития методов съема и цифровой обработки биосигналов»** проведен обзорный анализ истории, современное состояние и перспективы развития методов, способов съема биосигналов ЭКГ для диагностики болезней сердечно сосудистой системы.

Изучена как форма ЭКГ сигнала (рис. 1), так и его основные характерные точки, частотно-временные характеристики что определяет параметры современного электрокардиографа. Необходимый диапазон частот для электрокардиографа должен составлять, как минимум, полосу от 0.05 до 120 Гц (по уровню -3 dB). Причем, если к верхнему диапазону частот нет четко обоснованных требований - в разных источниках называются значения от 75 до 250 Гц, то со значением нижней частоты пропускаются связываются диагностически значимые ЭКГ критерии. Так при постоянном времени менее 3.2 секунды, что соответствует 0.05 Гц, на электрокардиограмме наблюдаются искажения низкочастотного S-T интервала, приводящие к неверной диагностике изменений миокарда, вплоть до ошибочного заключения о

наличии инфаркта. С другой стороны, при некоторых исследованиях, например нагрузочных пробах, осознанно выбирается меньшая постоянная времени для лучшего удержания изолинии.

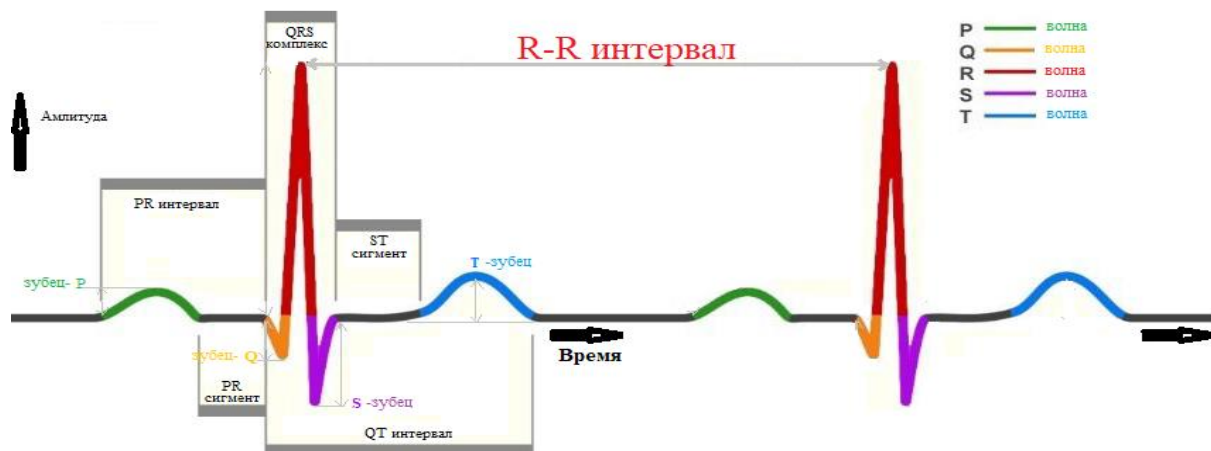


Рис. 1. Стандартный вид ЭКГ сигнала с основными компонентами.

Для подавления помех, связанных с электромиографическими сигналами, желательно антитреморный фильтр низкой частоты (ФНЧ), ограничивающий диапазон входного сигнала до 60-70 Гц, а для борьбы с сетевой помехой режекторный фильтр на 50 Гц (60 Гц). В итоге электрокардиограф должен иметь переключаемый ФВЧ с наибольшей постоянной времени не менее 3.2 секунды, фильтр сетевой наводки и совмещенный с ним или реализованный отдельно переключаемый ФНЧ.

Частота дискретизации ЭКГ сигналов должна быть более чем в два раза выше верхней полосы пропускания. Как правило, применяют частоту дискретизации в 500 Гц, рекомендованную Американской ассоциацией кардиологов. Разрешение по амплитуде у современных приборов должно составлять не менее 5 мкВ. Высокое амплитудное разрешение необходимо для некоторых видов обработки кардиокривых (например, ЭКГ высокого разрешения [58]), а также для высококачественного представления электрокардиограммы на экране или в твердой копии.

Обзор показывает, что современные компьютерные технологии позволяют в одной аппаратной реализации применять разные методы регистрации ЭКГ сигнала.

В заключение обзора можно подчеркнуть ограничения и недостатки, присущие классическому подходу при разработке аппаратуры цифровых измерителей биомедицинских сигналов для ЭКГ систем являются:

- прецизионные резисторы во входном каскаде схемы формирования отведений;
- относительно сложные инструментальные входные усилители для подавления синфазной помехи;
- крупногабаритные конденсаторы с малыми токами утечки в ФВЧ;
- ФНЧ высокого порядка для ограничения спектра аналогового сигнала при достаточно низкой частоте оцифровки, схемы выборки-хранения и

мультиплексор перед входом 12-ти разрядного АЦП, вносящие дополнительные нелинейные искажения, а также фазовый межканальный сдвиг.

Поэтому, перспективным является использование 24 разрядной дельта сигма АЦП в качестве входной части современной компьютерной ЭКГ аппаратуры.

Современный компьютерный ЭКГ состоит из двух частей. Первая часть, которая относится к специфическим задачам только съема и регистрации ЭКГ биосигнала называется *контроллером ЭКГ*. В его задачи входят также подготовка и отправка цифрового потока данных ЭКГ по стандартным интерфейсным каналам (USB, WIFI, Bluetooth) универсальному компьютеру. Вторая часть таким образом и будет универсальный компьютер общего пользования (персональный компьютер, ноутбук, планшет или др.).

Вторая глава диссертации **«Алгоритмы расчета фильтров и обработки биомедицинских сигналов»** посвящена обзору и анализу существующих цифровых методов фильтрации и алгоритмов автоматического определения характерных точек ЭКГ биосигнала.

Для фильтрации и выделения полезного биосигнала на фоне высокочастотных помех широко используются цифровые низкочастотные КИХ (не рекурсивные) фильтры.

На основе обзора алгоритмов обработки ЭКГ сигналов сделаны следующие выводы:

в ЭКГ сигналах основная энергия QRS комплекса сосредоточена в диапазоне 17 ± 3 Гц;

по физиологическим причинам расстояние между двумя R и R зубцами (QRS комплекса) (рис. 1) не может быть меньше 150 мс;

во встроенных системах, какими являются портативные ЭКГ системы, желательно использовать алгоритмы, основанные на дифференцировании и временном анализе на основе априорных данных ЭКГ сигналов;

алгоритм Пан и Томпкинса прошел проверку временем, является популярной и высокоскоростной при хорошем качестве анализа QRS комплексов;

для улучшения качества ЭКГ сигнала алгоритмы ЦФ широко применяется;

выделение сигнала и подавление синфазных помех ЭКГ сигнала в основном осуществляется с помощью алгоритмов КИХ ЦФ;

для удаления дрейфа нуля и тремора мышц на уровне контроллера ЭКГ в основном применяются алгоритмы БИХ ЦФ;

алгоритмы БПФ и БВП ЦФ в основном применяются во вторичной (постобработке) и сжатие ЭКГ сигнала.

В стационарных компьютерных ЭКГ системах перспективными являются алгоритмы анализа ЭКГ на основе нейронных сетей и вейвлет преобразования.

В третьей главе диссертации **«Разработка устройства и системной программы вычислительной машины управления компьютерной системы цифровой обработки биомедицинских сигналов ЭКГ»**

рассматриваются вопросы разработки, создания программных средств системного назначения для контроллера ЭКГ. Выбор и обоснование алгоритмов, способов состоит в повышении эффективности и надежности процессов обработки и передачи ЭКГ данных в вычислительную машину.

В этой главе представлено моделирование, разработаны методы и алгоритмы проектирования системного программного обеспечения (драйверов) контроллера ЭКГ. Перед тем как разработать драйверы в этой главе обоснованно разработана структура контроллера ЭКГ (рис. 2).

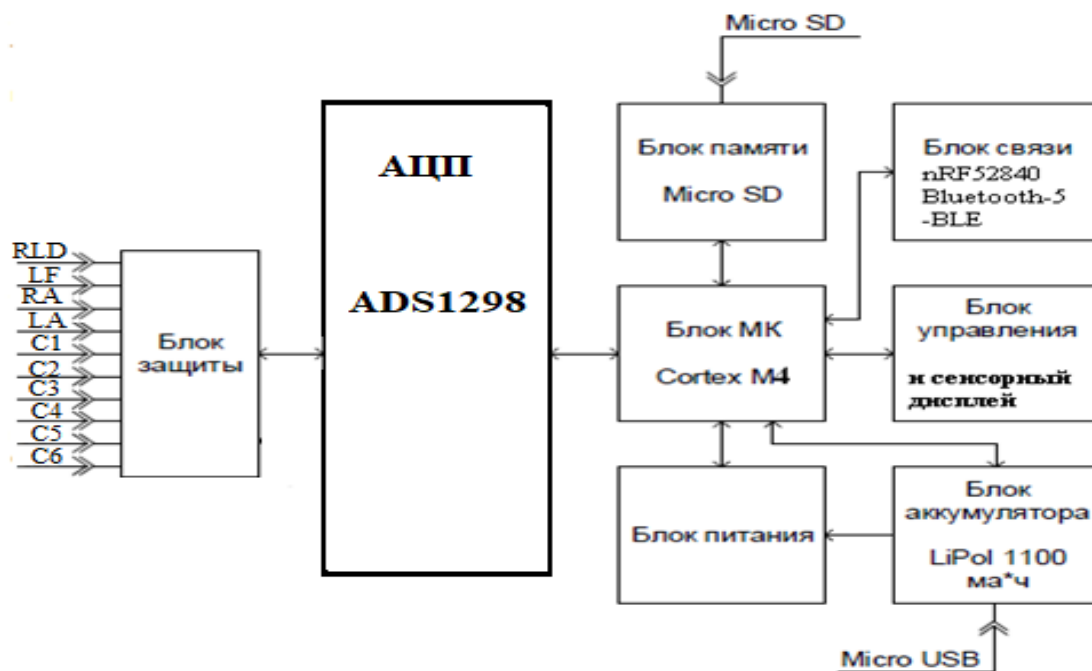


Рис. 2. Блок схема многоканального контроллера ЭКГ.

Где, в качестве аналого-цифрового преобразователя (АЦП) аналоговый законченный чип от Texas instruments ADS1298(99)IPAG. Для чего проведен сравнительный анализ существующих СБИС и самый подходящий из-за полной завершенности и техническим характеристикам выбран СБИС ADS1298(99).

Этот СБИС с завершенным аналоговым интерфейсом и сигма-дельта АЦП обладает высоким разрешением (24 разрядов), в значительной мере базируется на принципах цифровой фильтрации сигналов, что позволяет снизить требования к аналоговой фильтрации сигналов и нет необходимости к использованию инструментальных или других усилителей.

Разработан контроллер многоканального цифрового ЭКГ сигнала(рис.2), соответствующий современным требованиям цифрового биоизмерителя:

- с возможностью автономного питания;
- графический интерфейс ввода и вывода;
- АЦП с высокой точностью (4 мкВ) при частоте 500 раз в секунду;
- использование СБИС с законченной аналоговой частью;
- с возможностью сохранения ЭКГ данных на микро-компакт дисках (SD);
- имеющий проводную USB и беспроводную Bluetooth связь с хост компьютером;

разработаны драйвера для АЦП, графического экрана и сенсорного экрана и разработана прикладная интерфейсная программа управления этого контроллера.

В драйвере АЦП, для обеспечения быстродействия и освобождения центрального процессора от процесса пересылки данных, используется технология прямого доступа к памяти (ПДП- DMA direct memory access). Также используется технология «Watch dogs-сторожевой собаки» для защиты от зависания программы съема данных ЭКГ. Это обеспечивает защиту от случайных отказов устройства АЦП и синхронизации устройств системы (АЦП, ПДП и таймеров).

Оригинальность разработанного драйвера ЖКД заключается в ориентированности в режиме «Hi color» R5-B6-G5 выводить графическую информацию в реальном времени для построения графиков ЭКГ данных.

В разработанном драйвере экранного сенсора (touch screen) за счет пяти точечной аппроксимации, алгоритма трёх точечно скользящего окна и учета усилия нажатия обеспечивается высокая точность определения координат прикосновения. Это особенно важно при установке ручных маркёров для измерения характерных точек ЭКГ.

В четвертой главе диссертации **«Разработка прикладного программного обеспечения компьютерного ЭКГ»** приведено описание прикладного программного обеспечения «SuproDil-3» созданная на основе объектно-ориентированной интегрированной системы визуального программирования и предназначено для работы в операционной системе Майкрософт Windows.

В прикладном программном обеспечении (ППО) применен графический интерфейс пользователя (Рис. 3) (WIMP- интерфейс: Window – окно, Image – образ, Menu – меню, Pointer –указатель) – программные функции представляются графическими примитивами элементами экрана. Для создания графического интерфейса ЭКГ используется метод метафор. Он позволяет разработчику не создавать каждый раз новую модель, а воспользоваться готовой, которую ранее построил. При построении интерфейса ППО ЭКГ были учтены следующие требования строения качественного интерфейса человек - машина: масштабируемость; адаптивность к действиям пользователя; независимость в ресурсах; кроссплатформенность; мультимедийность; правило «золотого сечения» или 4/3 или квадратного корня из двух (1,62 или 1,33 или 1,41).

Человеко-машинный интерфейс (рис.3) программы электрокардиографа имеет вид виртуального прибора. Такой интерфейс имеет некоторые преимущества перед стандартными формами с меню. Во-первых - некомпьютерные ЭКГ существуют давно и у медицинского персонала сложились определенные стереотипы, поэтому внешний вид экранной формы, похожий на внешний вид реальных приборов облегчает восприятие и повышает удобство работы с комплексом. Во-вторых - наличие в таких формах общепринятых иероглифов и иконок обеспечивает некоторый язык независимости комплекса. Электрокардиограмма хранит в себе данные ЭКГ,

дату снятия и заключение, которое делает врач. Когда заключение сделано, имя врача сохраняется. У пациента может быть несколько кардиограмм. Соответственно, у врача должны быть указаны ФИО. После обработки на ЭКГ на ней выделяются необходимые параметры, которые используются для диагностики. Итого, мы выделили 4 сущностей: пациент, кардиограмма, показатели и диагноз, - и связи: два типа 1 к 1, и две 1 ко многим.

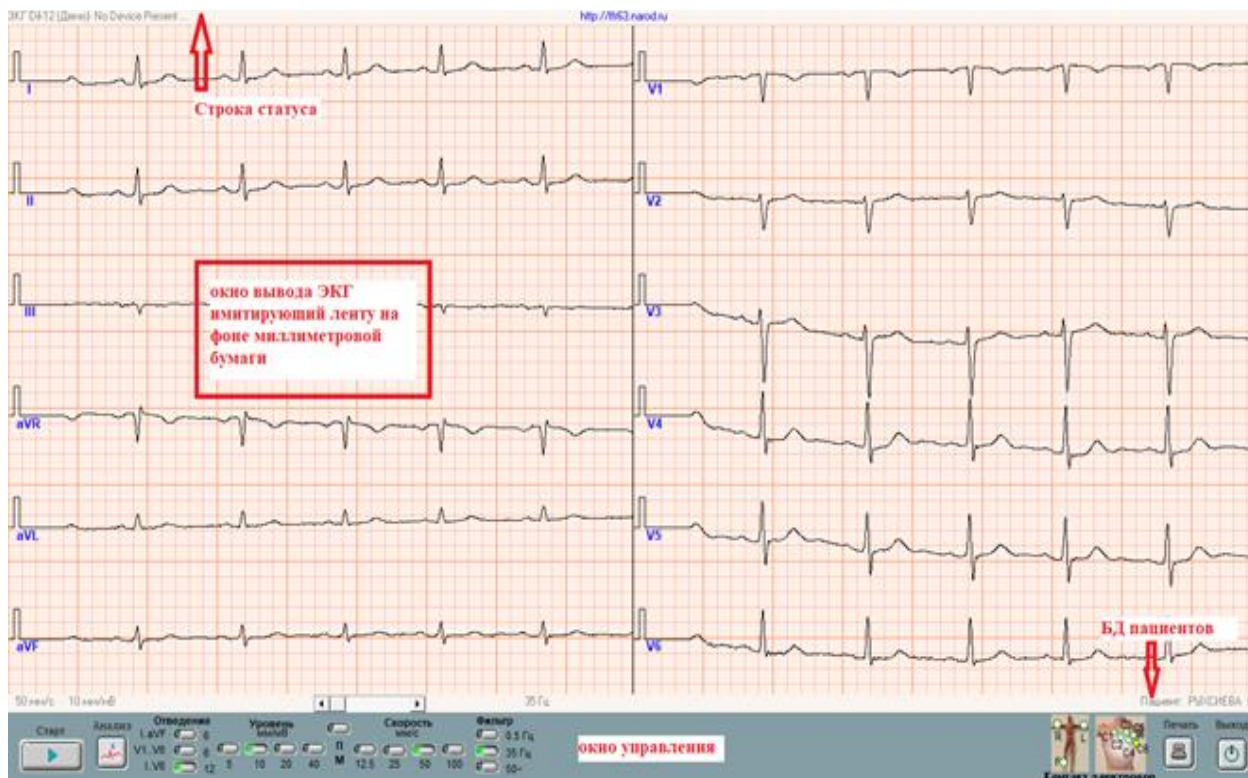


Рис. 3. Вид интерфейса главного окна приложения «SuproDil-3»

И на основе этой сущности и связи была построена соответствующая ER-диаграмма, а также создана структура и интерфейс кардиологической базы данных для работы с ЭКГ пациентов на основе технологии BDE. Для того, чтобы просмотреть или записать кардиограмму необходимо из базы данных пациентов выбрать (или ввести нового) пациента и результаты его обследования (или разрешить новое обследование) или провести поиск по имени пациента с помощью SQL запроса.

В программе «SuproDil-3» реализована **локальная система управления базой данных (СУБД)** через драйвер “Paradox” с помощью инструментальных средств BDE и IDE Delphi. Структура БД cardio12 на основе Paradox состоит из иерархически связанных 4 двумерных таблиц, где с помощью ключевых полей создается связь подчинённых таблиц с главной таблицей. Созданы для каждой таблицы индексные поля для ускорения поиска информации по БД.

Для экспериментального анализа и исследования частотных свойств сигнала ЭКГ разработана, в MATLABe, программы определения спектра сигнала на основе БПФ и БВП. В качестве экспериментальных данных были взяты ЭКГ сигналы из открытой базы данных физионет. Экспериментальные исследования показали если сердцебиение ритмичное как показано на рисунке 5, то спектр сигнала четко выделяет частоту сердцебиения (зеленая стрелка -

1,2 Гц). В случае неритмичного сердцебиения (аритмии - нестационарности) частота сердцебиения в спектре сигнала размытая и неоднозначная.

Хотя вейвлет спектр этого же сигнала имеет четкое указание на месте сердцебиения при определенных смещениях по времени (Time b) и значениях масштаба (Scale). Для оценки спектрального состава ЭКГ сигнала определены пределы частот, где сосредоточена основная часть энергии сигнала с помощью формулы:

$$EnergieECG_{35} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{250} SpektrECG[i] - \sum_{i=1}^{35} SpektrECG[i]}{\sum_{i=1}^{250} SpektrECG[i]} \right) 100\% \quad (1)$$

где, *SpektrECG* модуль коэффициентов разложения в ряде Фурье. Для этого сигнала *EnergieECG₃₅* (1) составляет 84.6627 %. Эксперименты на основе ЭКГ сигналов снятых с выборкой 500 раз в секунду показывает, что основная более 80 % энергии этих сигналов сосредоточены до 35 Гц.

Поэтому, для оптимальной фильтрации ЭКГ сигнала в частотной области необходимо чтобы полоса пропускания фильтра обеспечивала пропускание сигнала в пределах 0.05 Гц до 35 Гц без искажения или с допустимой 30% искажением (что соответствует 3 дБ или 0.707 от номинального значения) и имеет линейную фазочастотную характеристику.

Основываясь на результатах эксперимента, **разработан оптимальный ФВЧ**, для ПО «SuproDil-3», цифровой не рекурсивный ФВЧ с переключаемой частотой среза (по уровню -3 дБ): 0.05, 0.5 Гц. Частотный диапазон которого адаптирован для большинства применений в ЭКГ практике - от точного измерения смещения сегмента ST до быстрой установки изолинии. Значения фильтра вычисляются согласно формуле:

$$Y[i] = X[i] - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X[i - n - 1], \quad (2)$$

где *X[i]* и *Y[i]* входные и выходные отсчеты, а *N* - порядок фильтра и равен 2048 или 256 соответственно для частот среза от 0.05 или 0.5 Гц при периоде выборки отсчетов сигнала в 2 мс (500 Гц).

Алгоритмы ФВЧ для сравнительного анализа выбраны исходя из следующих соображений. Для обеспечения неискажённой обработки ЭКГ сигнала в реальном времени с требуемой крутизной амплитудно-частотной характеристики, необходимо применять КИХ-фильтры высоких порядков с линейной ФЧХ. Результаты сравнения показывают (рис.4), что предлагаемый алгоритм является самым быстрым (*t*=0.01627 сек.) имеющий гладкий АЧХ подавлением на частоте 0.02 Гц не менее 10 ДБ. Поэтому предлагаемый алгоритм является оптимальным для использования в ЭКГ реального времени.

Для автоматической диагностики болезней сердечно-сосудистой системы особое значение имеет **алгоритм автоматического определения R зубцов** (рис. 1) ЭКГ сигнала. **Предложен отличный алгоритм распознавания ЭКГ сигнала** (рис. 5). Алгоритм отличается от существующих тем, что предварительная фильтрация производится на основе вейвлет преобразования (wavelet denoise). Это обеспечивает согласованную фильтрацию, не внося искажения по форме. Также отличается тем, что место возведения в квадрат

значения ЭКГ сигнала производится определением модуля сигнала. Тем самым уменьшает требуемую вычислительную мощность алгоритма.

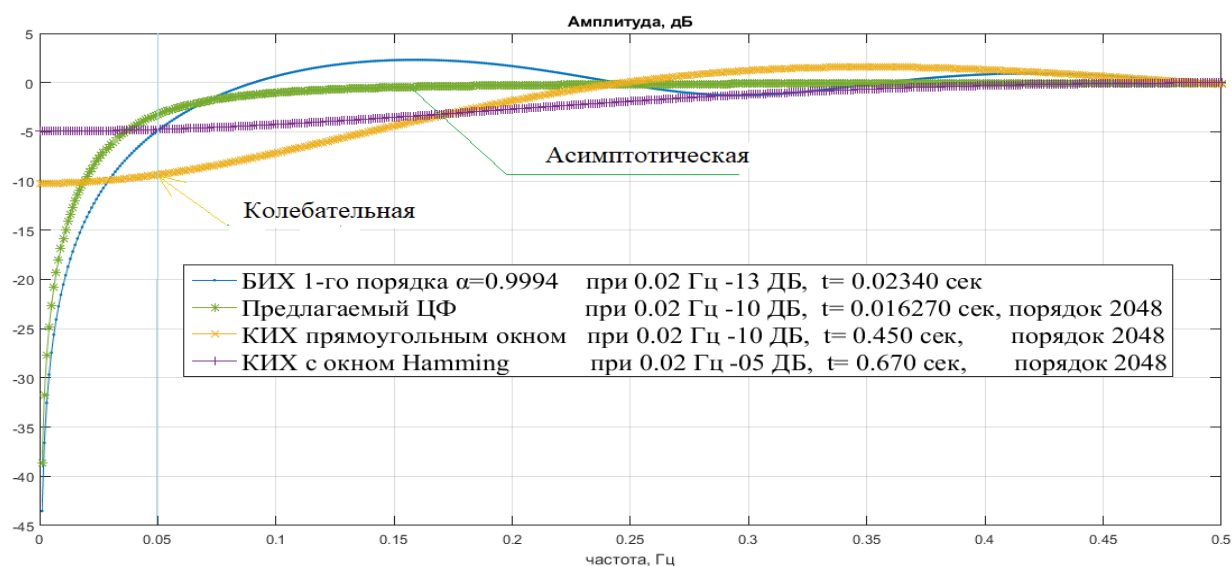


Рис.4. Результаты сравнительного анализ АЧХ и быстродействия 4 алгоритмов ФВЧ ЭКГ сигнала.

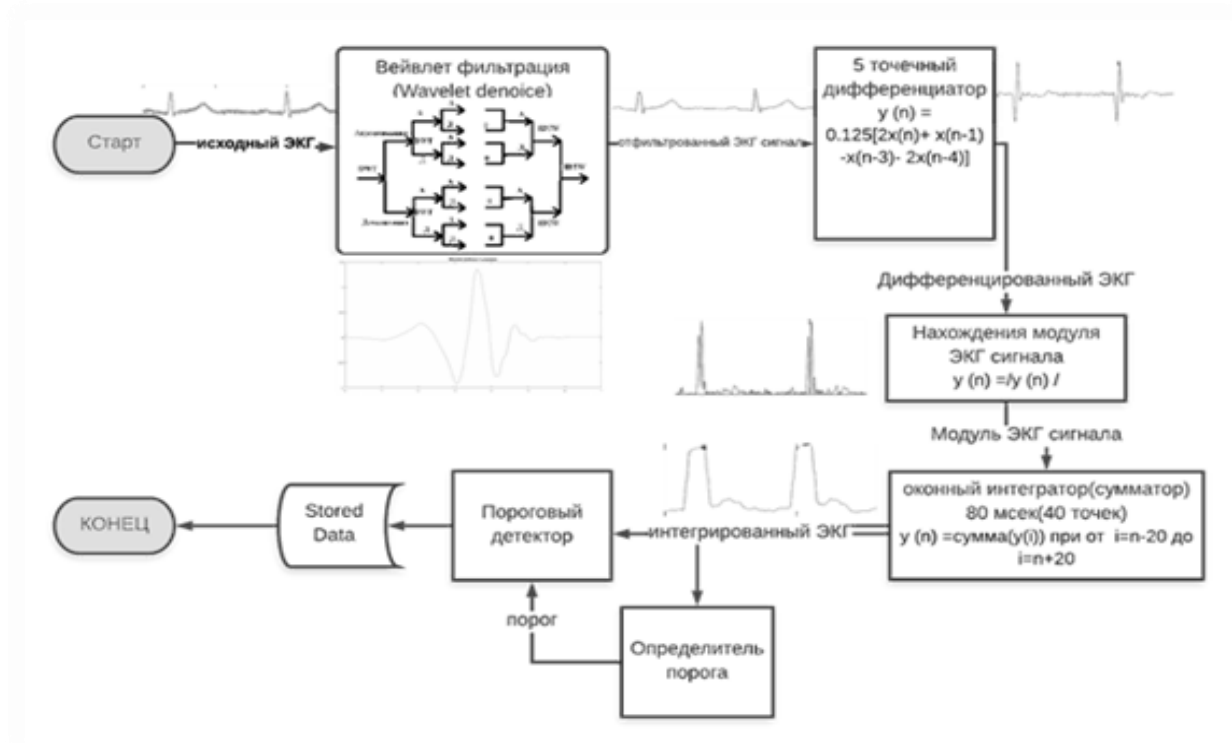


Рис. 5. Блок схема алгоритма автоматического (распознавания) нахождения R зубцов ЭКГ сигнала.

Алгоритм обнаружения QRS основан на вейвлет фильтрации, пятиточечной производной сигнала и адаптивного вычисления порогового значения выявления комплекса на II отведений ЭКГ. При этом QRS комплекс обнаруживаются последовательно три раза и ЧСС (частота сердечных сокращений) рассчитывается по среднему значению из трех интервалов RR.

После вейвлет фильтрации для определения R зубцов и расчета ЧСС(HR) используются следующие шаги:

1. Рассчитывается пятиточечная производная сигнала:

$$y(n) = [2x(n) + x(n-1) - x(n-3) - 2x(n-4)] / 8,$$

где $x(n)$ – текущая выборка сигнала,

$x(n+1)$ – следующая выборка $(n+1)$ -го сигнала,

$x(n-1)$ – предыдущая выборка $(n-1)$ -го сигнала.

2. Определяем модуль сигнала: $y^*(n) = |y(n)|$.

3. Вычислим оконный интеграл для 160 мсек по формуле:

$$y_s(n) = \frac{1}{80} \sum_{i=0}^{79} y^*(n-i)$$

Для вычисления интеграла применяем алгоритм быстрого вычисления суммы, основанный на сохранении предыдущих 80 выборок $y^*(n)$ в буфере.

При этом текущая итерация $y_s(n)$ вычисляется на основе предыдущего вычисления по формуле:

$$y_s(n) = y_s(n-1) + \frac{1}{80} (y^*(n) - y^*(n-79))$$

4. Начальные 2 секунды первых суммы $y_s(n)$ в буфере сохраняются и максимальное значение (P) в этом буфере определяется.

5. Рассчитываем порог как $N = 0,5 * P$ для детектирования R зубца.

6. Сравниваем каждую точку суммы значений $y_s(n)$ с рассчитанным порогом N.

7. Отмечается индекс выборки ЭКГ (n_j) для конкретной $y_s(n)$, когда суммы $y_s(n)$ пересекают порог и перерассчитываем новый порог $N = N + 0,5 * (P - N)$.

8. Определяется пик QRS комплекса, производится поиск в пределах, следующих 40 точек ($MAXIMA_SEARCH_WINDOW = 40$) исходного $x(n)$ сигнала и определяется максимум (M1) сигнала, который соответствует зубцу R. Это значение максимума (M1) и новый индекс n_j сохраняются в другом буфере.

9. Для поиска, следующего R зубца, пропускается ($SKIP_WINDOW=50$) 50 выборок, позаботиться о ненарушении допустимого минимального интервала RR, который может возникать в случае максимальной частоты сердечных сокращений (то есть 240 ударов в минуту) после обнаружения пика QRS.

10. Определите следующие пять пиков QRS, повторив шаги с 3 по 6.

11. Рассчитайте интервал RR как количество выборок между двумя последовательными пиками QRS.

12. Рассчитайте частоту сердечных сокращений по следующей формуле: ЧСС в минуту = $(60 * \text{частота выборки}) / (\text{средний интервал RR для пяти последовательных интервалов RR})$

13. Пересчитайте пороговое значение из обнаруженных пиковых значений QRS.

Пред применением разработанного алгоритма расшифровки ЭКГ сигнала в ПО «SuproDil-3» эффективность алгоритма проверена созданной программой математической среды GUI MATLAB (SymplesQRS). Эффективность алгоритма распознавания сигналов ЭКГ оценивалась относительным показателем, известным как чувствительность - $S_e = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \%$, а чувствительность предложенного алгоритма в результате экспериментов составила 98,6%, т.е. из 1000 ударов сердца не менее 986 правильно обнаружен и пропущен только 14 из них.

Таблица 1. Результаты сравнительного анализа алгоритмов реального времени распознавания QRS комплексов ЭКГ сигнала.

Сравниваемый алгоритм	Время выполнения, сек	TP	FN	FP	Se, %	Sp, %
Алгоритм, основанный на производной	1,67	340	0	10	100	97
Алгоритм Пана-Томпкинса	1,89	325	0	25	93	100
Алгоритм, основанный на подсчёте числа пересечений нуля	1,34	329	21	0	94	100
Корреляционный алгоритм	2,67	298	0	52	100	85
Предлагаемый алгоритм	0,62	344	6	0	98	100

Моделирование и расчёты проведены в программе MATLAB R2015b (8.6.0.267246) 64bit(win64). Время t вычислений указано для компьютера со следующими характеристиками: CPU Intel Core i3 2,53 GHz; оперативное запоминающее устройство 4 Гб; с видеоадаптером AMD Mobility Radeon HD 5000. Как показывают результаты сравнительного анализа (Таблица 1) предлагаемый алгоритм имеет наилучший показатель по времени исполнения (скорость $t=0,62$) и по точности распознавания (чувствительность 98%).

Для тестирующих сигналов ЭКГ принят банк данных электрокардиограмм PhysioBank, потому что, он довольно популярен и находится в открытом доступе. В новой версии ПО «SuproDil-3», для улучшения качества диагностики, при вариабельности сердечного ритма и при наличии атипичного сердцебиения, применяется вейвлет преобразование ЭКГ сигнала. Научные исследования велись на основе системы графического программирования LABVIEW или Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, предлагаемая компанией National Instruments (NI) (США), кардинально отличается от обычных языков программирования тем, что,

позволяет создавать программу, на основе построения блок-схемы алгоритма, без написания ни одной строки текста.

Это среда разработки имеет много “виртуальных приборов” для исследования цифрового потока данных – ЭКГ. В том числе имеется расширенный инструментарий обработки (Advanced Signal Processing Toolkit) сигналов в состав которого входит инструмент Wavelet Denoise (вейвлет очистка от помех) и многомасштабный вейвлет определитель пиков и ям (WA Multiscale Instrument Detection).

Рекомендуется выбирать вейвлет функции, внешний вид которых в качестве родительского вейвлета близок к стандартному представлению ЭКГ, поскольку важна корреляция (сходство) функции с сигналом. В этом случае известны следующие вейвлет-функции с близким сходством: db04 (Daubechies - Добеши), симплет (Symlets) sym4... sym7. Эксперименты показали, что выбор вейвлет-функции sym5 целесообразен с точки зрения качества. Если уровни разветвления (Levels) ниже 3, степень подавления помех сигнала ЭКГ будет слишком низкой, но если она больше 5, то подавляется зубец Т, существенно изменяя форму ЭКГ сигнала. Поэтому рекомендуется выбрать sym5 в качестве вейвлет-функции для вейвлет-фильтрации, а уровень разложения установлен равной 4.

Исследование вейвлет преобразования для определения R зубцов при правильном выборе порога и окна принятия решения дает очень высокий уровень правильного определения зубцов и поэтому является перспективным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования по теме «Разработка способа, алгоритма и комплекса прикладных программ для цифровой обработки электрокардиографических сигналов» сделаны следующие выводы:

1. На основе обзора и анализа существующих методов регистрации и съема ЭКГ биосигнала разработан ВМУ контроллер многоканального цифрового ЭКГ сигнала, соответствующий современным требованиям цифрового биоизмерителя, это позволило сформулировать основные направления в совершенствовании алгоритмов распознавания ЭКГ сигналов и ускорение в задачах цифровой обработки биосигналов

2. Результатом, исследования по созданию прикладного программного обеспечением является: разработанное прикладное программное обеспечение (ППО) «SuproDil-3» для компьютера, работающий под многозадачной ОС MS Windows. На основе изучения современных требований по созданию человеко-машинного интерфейса с учетом масштабируемости, переносимости и правил создания, вида, расположения и размеров графических элементов интерфейса создан человеко-машинный интерфейс в виде виртуальной приборной формы что, обеспечивает язык независимости и понятность процесса работы с комплексом врачу кардиологу.

3. Создана структура и интерфейс кардиологическая СУБД для работы с ЭКГ базой данных пациентов на основе технологии BDE. В разработке

учтены все сущности и связи для ввода, хранения, поиска ЭКГ сигналов пациента, что сделал процесс обращения в БД пользователем удобным, понятным и быстрым.

4. Разработаны алгоритмы фильтрации сигналов и сглаживания выделенных компонент входного сигнала. Предложен метод ускорения вычислений, за счет цифровой не рекурсивный ФВЧ с переключаемой частотой среза (по уровню -3 дБ): 0.05, 0.5 Гц. Это позволило сократить время обработки сигнала и увеличить производительность программ.

5. Предложен алгоритм для автоматического определения места нахождения R зубцов в потоке ЭКГ сигналов, что увеличит точность распознавания ЭКГ сигнала до 98,6%. Доказано, что при реализации вышеуказанного алгоритма с использованием вейвлет фильтрации и преобразованием за счет нахождения модуля сигнала, достигается высокая производительность при высокой точности.

6. Исследованы цифровое вейвлет-преобразование (DWT) для фильтрации ЭКГ сигнала, на основе Wavelet Denoise расширенный инструментарий обработки сигналов, графической среды программирования LabView. Экспериментальные исследования показали, что для нахождения R пиков ЭКГ сигнала перспективным является использование вейвлет преобразование при правильном выборе порога определения пиков и окна, в пределах которого находятся эти пики.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

RAJABOV FARKHAT FARMANOVICH

**DEVELOPMENT OF A WAY, ALGORITHM AND COMPLEX
APPLICATION PROGRAMS FOR DIGITAL PROCESSING OF
ELECTROCARDIOGRAPHIC SIGNALS**

**05.01.04 – Mathematical and software support of computers, complexes and computer
networks**

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
DISSERTATION ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2019.4.PhD/T1422.

The dissertation has been prepared at Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz.)

Scientific adviser: **Djumanov Jamoljon Xudaykulovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Rakhmatullaev Marat Alimovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Rakhimov Bakhtiyor Saidovich
Candidate of Technical Sciences


Leading organization: **Tashkent State Technical University**


The defense will take place «15» april 2021 at 14⁰⁰ at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).


The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 2/186). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on «02» april 2021 y.
(Dispatching protocol No. 02 on «14» January 2021 y.).




R.Kh.Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor


F.M.Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent


M.A. Rakhmatullaev
Chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research work is to to develop a method, an algorithm, and a complex of applied programs for automatic recognition of electrocardiographic signals to improve the efficiency of diagnostics of cardiovascular diseases.

The object of the research work is electrocardiographic signals.

The scientific novelty of the research work is as follows:

established structure of a non-recursive filter with finite impulse response was and developed a purification of electrocardiographic signals from an algorithm tremor myographic noise in the stress test mode;

an algorithm for organizing the interaction of programs of a control computer for receiving electrocardiographic signals from an analog-to-digital converter and displaying data on a screen has been developed, and a functional diagram of a multichannel biomedical meter has been created;

developed an automatic recognition algorithm teeth electrocardiographic signals with variable morphology wavelet-based filtering is created complex application programs;

created graphics, language-independent human-machine interface application electrocardiograph complex programs on the basis of a virtual interface and developed data exchange algorithm with the control computer.

Implementation of the research results. Based on the dissertation research, the developed methods, algorithms, and software and hardware for digital processing of electrocardiogram biosignals for the effective collection, processing, and diagnostics of computer medical systems implemented by the following:

the developed automatic recognition algorithms, the organization of the interaction of the software of the control computer and the methods of processing electrocardiographic signals have been introduced in the PRPE "SUPROMED" (reference from the Ministry of Information Technologies and Development of Communications dated October 12, 2020, No. 33-8 / 5956). As a result of scientific research, a serially produced computer ECG "SuproDIL-3" was developed, which increased the efficiency of diagnostics of a computer medical complex;

the structure, procedure and interface of the databases for storing, searching and modifying the received information of the ECG signals, the created human-machine interface of the complex in the form of a virtual dashboard, as well as the complexes of applied programs have been introduced in Axis-Atlant LLC and in the Karima private clinic (reference from the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan on November 30, 2020 8n-d / 208). As a result of the use of a convenient interface of the complex of applied programs, the time spent was reduced by 10-15%, the quality and speed were increased, and the process of diagnosing cardiovascular diseases was simplified.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I бўлим (I часть; I part)

1. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Типовые решения при построении современных электрокардиографов (ЭКГ). –Т. Вестник ТУИТ. 2018, №2(46). С. 42-55. (05.00.00; № 31)

2. Rajabov F.F., Djumanov J.X., Abdurashidova K.T. To the Questions of the Creation of a Modern Non-Invasive Biopotential Meter. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET). India. Vol. 7, Issue 2 , 2020. (05.00.00; № 8)

3. Ражабов Ф.Ф., Джуманов Ж.Х., Ким Е.А., Яхшибоев Р. Разработка модели и расчета потока биосигналов на основе микроконтроллеров. “Вестник ТМА”. Спец выпуск, -Ташкент. 2020 г. - С.187-188. (14.00.00; №13)

4. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т., Салимова Х.Р. Вопросы создания компьютерного биоизмерителя и методы подавление помех. Потомки Мухаммеда аль-Хорезми -научно-практический и информационно-аналитический журнал. –Т., № 1(3), 2019. (05.00.00; № 10)

5. Ражабов Ф.Ф., Кенжабаева У.Е. Портативный электрокардиограф для экспресса – анализа состояния сердечной системы в полевых условиях. –Ташкент. Вестник ТашГТУ, - 2003. №3. - С. 65-71. (05.00.00; № 16)

6. Ражабов Ф.Ф. Генерация различных сигналов для аудиометрии с помощью компьютера. “Проблемы энергетики и информатики” №5, -Ташкент. 2000. - С.38-40. (05.00.00; № 5).

7. Ражабов Ф.Ф., Арифов С.С., Хасанов А.А. Аудиометрия с применением компьютерной технологии. Вестник оториноларингологии. -Москва.2001. №1. -С.30-32. (14.00.00; №18).

II бўлим (II часть; II part)

8. Ражабов Ф.Ф., Зайнидинов Х.Н., Ходжиматов Г.М. Мобильная компьютерная система для диагностики состояния органов желудочно-кишечного тракта на основе Bluetooth технологий. Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия». 2019, №1(27), Новосибирск, Россия. -С. 54-63.

9. Ражабов Ф.Ф., Зайнидинов Х.Н. Методы и алгоритмы предварительной обработки биомедицинских сигналов. Научно-технический журнал «Автоматика и программная инженерия». 2018, №4(26), Новосибирск, Россия. -С. 56-60.

10. Ражабов Ф.Ф., Мукимов К.М., Васидов А., Каримов И.А., Бедиллов М.Р., Асиллов Т., Шакиров У.А., Сиранов Ж.Ш., Ходжаев В.Д. Стробоскопическая установка для исследования динамики цилиндрических магнитных доменов/ Приборы и техника эксперимента. №1, АнСССР, Москва, 1989 г. -С. 245.

11. Djumanov J.X., Rajabov F.F., Abdurashidova K.T, Tadjibaeva D.A, Atadjanova N.S. Development Of The Method, Algorithm And Software Of A Modern Non-Invasive Biopotential Meter System/ 12th International Conference, IHCI 2020 Daegu, South Korea, November 24–26, 2020 Proceedings, Part I. P.95-103 (Scopus)

12. Rajabov F.F., Abdurashidova K.T., Муस्ताкил электр энергиясини куешдан ишловчи панеллар ёрдамида таминлашнинг варианты. TECHNICAL SCIENCES VOLUME 3, ISSUE 3 (2020) DOI <http://dx.doi.org/10.26739/2181-9696-020-3>

13. Zaynidinov H, Rajabov F., Makhmudjanov S. Wearable mobile technique for biomedical signals processing based on IoT 2020 12th International Conference, IHCI 2020 Daegu, South Korea, November 24–26, 2020 Proceedings, Part II. P.346-356 (Scopus)

14. Ражабов Ф.Ф. Управление мультимедиа устройствами под ОС Windows 98(95). Вопросы программирования звукового миксера. Тезисы докладов международной научной технической конференции. “Обучение фундаментальным дисциплинам в высших технических учебных заведениях Республики Узбекистан и состояние научных исследований”. Ташкент – 1999 г.-С.52-53.

15. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Улучшение качество преподавания применением компьютерной интерактивной технологии Олий таълим сифати иктисодий диагностикаси: жаҳон амалиёти ва миллий хусусиятилар. Республика илмий-амалий конференцияси материаллари. - Наманган. 2019. - 156-160 б.

16. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Ўқиш жараёнига инновацион интерфаол компьютер технологияларини қўллаш Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясини амалга оширишда кадрлар тайёрлаш тизимини такомиллаштириш. ТАТУ профессор-ўқитувчиларининг илмий-услубий конф. маърузалар тўплами. 1-том. Тошкент 2019. 49-51 б.

17. Ражабов Ф.Ф. Компьютерная аудиометрия. «Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук». Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 3. Ташкент - 1998. - С.69-75

18. Ражабов Ф.Ф., Абдукаюмов А. Малогабаритный портативный реограф для экспресс-анализа центральной гемодинамики. “Исследования научно-технических достижений высшей школы.” Сборник научных трудов докторантов, аспирантов, соискателей, научных сотрудников. Ташкент - 1997 г.- С.3-5.

19. Ражабов Ф.Ф., Абдукаюмов.А. РСAD тизимида радиоэлектрон воситаларини тузишни автоматлаштириш. “Исследования научно-технических достижений высшей школы.” Сб. науч. трудов док-тов, аспирантов, научных сотрудников. Ташкент - 1997 г. -С.67-70.

20. Ражабов Ф.Ф., Муминов К.П. Усманов Р.Р. Организация межмашинной связи. Научные труды физиков. Сборник ИЯФ, Ташкент - 1989г. -С.16-17.

21. Ражабов Ф.Ф., Убайдуллаев С.А., Мухамеджанов Н.З. Разработка и производство многофункционального медицинского диагностического комплекса на основе современной элементной базы. Международная научно-практическая конференция “Частно – государственное партнерство в сфере медико-технического обеспечения образовательных учреждений в рамках реализации национального проекта «Здоровье»”. Москва - 2009 г. -С. 54-55.

22. Ражабов Ф.Ф. Интерактив компьютер доскаси. Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги. ЭХМ учун дастурни расмий рўйхатдан ўтказиш ҳақида қарор. Талабнома DGU 20160034. 02.02.2016.

23. Ражабов Ф.Ф. “DIL” уч каналли компьютер электрокардиографи учун дастур. Ўзбекистон Республикаси Давлат патент идорасининг ЭХМ учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги ҳақида ГУВОҲНОМА № DGU 00611 27.02.2003.

24. Ражабов Ф.Ф., Арифов С.С., Хасанов А.А. Эшитиш тизимини ташҳислаш учун дастур. Ўзбекистон Республикаси Фан ва техника давлат комитети. Давлат патент идорасининг ЭХМ учун дастурларни расмий рўйхатдан ўтказилганлиги ҳақида ГУВОҲНОМА № 181 24.12.1998.

25. Ражабов Ф.Ф., Арифов С.С., Хасанов А.А. Шакамалов А.Ш. Икки каналли аудиометри. Ўзбекистон Республикаси Фан ва техника давлат комитети. Давлат патент идорасининг даслабки патенти (19) Uz (11) IDP 04648 В. Ихтиро тавсифи (51) 7A 61B 5/12.

26. Ражабов Ф.Ф., Очилов О.О. Способ получения компьютерного рентгеновского изображения. Ўзбекистон Республикаси Фан ва техника давлат комитети Давлат патент идорасининг даслабки патенти (19) Uz (11) IDP 04954 В. Ихтиро тавсифи (51) 7H 05G 1/64.

27. Ражабов Ф.Ф., Кориёв Ш.М., Холбоев А. Устройство для определения слуховой чувствительности к высоким тонам слышимого диапазона частот по воздушной и костной проводимости при сотрясении головного мозга. Удостоверение на рационалистское предложение № 825 от 23.09.87.

Автореферат «ТАТУ Хабарлари» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий
журнали таҳририяти таҳриридан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги
матнларини мослиги текширилди.