

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**НАСИМОВ РАШИД ҲАМИД ЎҒЛИ**

**МИОКАРД ИНФАРКТИНИ МАСОФАДАН ТАШХИСЛАШНИНГ**  
**АЛГОРИТМЛАРИ ВА АППАРАТ-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**

**Насимов Рашид Хамид ўғли**

Миокард инфарктни масофадан ташхислашнинг алгоритмлари  
ва аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш ..... 3

**Насимов Рашид Хамид угли**

Разработка алгоритмов и аппаратно-программного комплекса  
для дистанционной диагностики инфаркта миокарда..... 21

**Nasimov Rashid Hamid ugli**

Development of algorithms and hardware-software complex for  
remote diagnosis of myocardial infarction..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works..... 42

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**НАСИМОВ РАШИД ҲАМИД ЎҒЛИ**

**МИОКАРД ИНФАРКТНИ МАСОФАДАН ТАШХИСЛАШНИНГ**  
**АЛГОРИТМЛАРИ ВА АППАРАТ-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 В2020.2.PhD/T1564 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](http://www.tuit.uz)) ва «Ziyonet» ахборот-таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Мўминов Баҳодир Болтаевич**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Зайнидинов Хаким Насридинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Хўжаев Отабек Қадамбаевич**  
PhD

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент давлат транспорт университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2019.T.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «\_\_\_» «\_\_\_\_\_»да соат \_\_\_\_\_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](mailto:tuit@tuit.uz)).

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

Диссертация автореферати 2021 йил «\_\_\_» «\_\_\_\_\_» куни тарқатилди. (2021 йил «\_\_\_» «\_\_\_\_\_» даги \_\_\_\_\_рақамли реестр баённомаси).

**Р.Х.Хамдамов**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Ф.М.Нуралиев**

Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент.

**М.А.Рахматуллаев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш ҳузуридаги илмий  
семинар раиси т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Тиббиёт соҳасида аппарат-дастурий махсулотларни ишлаб чиқариш саноатининг халқаро миқёсда ривожланиши шуни кўрсатмоқдаки, инсонларда содир бўладиган биологик ўзгаришларни мониторинг қилиш, ўзгариш кўрсаткичларини аниқлаш ва дастлабки ташхислаш жараёнлари, яқин йиллар ичида, нейрон тармоқларининг интеллектуал-таҳлилий алгоритмларига асосланган аппарат-дастурий воситалар орқали амалга оширилиши мумкин. Охириги ўн йилликларда, рақамли қурилмалар (хусусан, смартфонлар) орқали кўрсатиладиган тиббий хизматларга бўлган талаб ошиб бормоқда. Шу боис, ривожланган мамлакатларда смартфонларда тиббий хизматларни тақдим этишга йўналтирилган иловалар имкониятларини кенгайтириш ва фойдаланишни осонлаштириш борасида қатор ишлар олиб борилмоқда. Жумладан, миокард инфарктни нейрон тармоқларининг интеллектуал-таҳлилий алгоритмлари ва улар асосида ишловчи аппарат-дастурий воситалар билан ташхислаш ва мониторинг қилиш борасида АҚШ, Германия, Франция, Буюк Британия, Италия, Португалия, Япония, Австралия, Жанубий Корея, Хитой Халқ Республикаси, Ҳиндистон, Россия Федерацияси, Тожикистон, Ўзбекистонда жуда катта ишлар амалга оширилмоқда.

Тиббий хизматларни кўрсатувчи марказларда масофадан ташхис қўйиш амалиётини жорий этиш, бунинг учун улардаги сифатли аппарат-дастурий воситалар сонини кўпайтириш ва шу орқали ўлим хавфи юқори бўлган касалликларни эрта аниқлаш ва уларни мониторинг қилиш борасида кўплаб илмий изланишлар олиб борилмоқда. Жумладан, миокард инфарктни масофадан ташхислаш учун катта массивли маълумотлар базасини ташкил этиш, машинали ўқитиш алгоритмлари асосида тиббий маълумотларга интеллектуал ишлов бериш алгоритмларидан фойдаланиш ва шуларга асосланган аппарат-дастурий воситаларини ишлаб чиқиш муҳим илмий-амалий масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2018 йил 2 августдаги ПҚ-3894-сонли «Ўзбекистон Республикасида соғлиқни сақлашни бошқаришнинг инновацион моделини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, ва 2020 йил 7 октябрдаги ПФ-6079-сонли «Рақамли Ўзбекистон – 2030» фармонида ва Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 18 январдаги 48-сонли қарорида келтирилган масофадан ташхислаш, уй шароитида тиббиёт хизматларини тақдим этиш, тиббиёт бўйича билимлар базаси, шошилинич тиббиёт хизматини рақамлаштириш, телетиббиёт, био-тиббиёт ва биотехнологиялар йўналишларини комплекс ривожлантириш каби вазифалари амалга оширишда ушбу тадқиқот муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Миокард инфарктга ташхис қўювчи аппарат-дастурий воситаларнинг, маълумотлар базасини ишлаб чиқиш; белгиларни аниқлаш, математик моделлаштириш, маълумотларни интеллектуал-таҳлил қилиш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни амалиётда қўллаш бўйича дунёдаги кўплаб ихтисослаштирилган илмий муассасаларда олимлар илмий-амалий тадқиқотлар олиб боришмоқда. Жумладан, Р.Ачарья, Т.Реасат, Х.Луи, Б.Балоглу, Н.Стродтхоф, Л.Венханларнинг ишларида нейрон тармоқларидан фойдаланиб миокард инфаркт ва бошқа юрак касалликларини фарқлаш, ҳамда, ташхислаш бўйича моделлар ишлаб чиқилган.

Республикада маълумотларга интеллектуал ишлов бериш соҳасининг таниб олиш алгоритмлари йўналишида М.М.Камилов, хусусиятларни аниқлаш ва танлаш алгоритмлари йўналишида Ш.Х.Фозилов, нутқ сигналлари йўналишида М.М.Мусаев, тасвирларга ишлов бериш йўналишида Н.А.Игнатъев, тиббий тасвирларга ишлов бериш йўналишида Х.Н.Зайнидинов, эксперт тизимлари йўналишида М.А.Рахматуллаев, таснифлаш ва ташхислаш масалалари бўйича А.Х.Нишанов, интеллектуал қидирув тизимлари йўналишида Б.Б.Мўминов каби олимлар илмий тадқиқот олиб бориб, ушбу йўналишнинг ривожини учун ўз ҳиссаларини қўшиб келишмоқда.

Шунга қарамасдан, ҳозирги кунгача, электрокардиограмма маълумотлари асосида миокард инфарктни аниқлашга қаратилган нейрон тармоқлари архитектураси ва аппарат-дастурий воситасини ишлаб чиқиш ҳамда ҳаётга жорий қилиш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг 7/18-Ф «Қон босими ва юрак хуружи билан хасталанган беморларни масофадан мониторинг қилиш тизимини ишлаб чиқиш» (2018-2019); I-5-0519 «Юракнинг функционал ўзгаришларини мониторинг қилиш» (2019) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** миокард инфарктга масофадан ташхислаш жараёнининг нейрон тармоғига асосланган алгоритмлари ва аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

миокард инфарктга ташхис қўйишда фойдаланиб келинаётган аппарат-дастурий воситаларни, нейрон тармоқларига асосан тасвирларга ишлов бериш усул ва алгоритмларини таҳлил қилиш;

электрокардиография аппарат-дастурий таъминотининг функционал тузилмасини лойиҳалаш ва смартфон билан ўзаро маълумот алмашиш алгоритмини ишлаб чиқиш;

нейрон тармоғига кирувчи маълумотларни ҳосил қилиш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

миокард инфарктни ташхислаш ва жойлашув ўрнини аниқлашга қаратилган нейрон тармоғининг параметрлари ва архитектурасини куриш;

миокард инфарктни ташхислаш ва жойлашув ўрнини аниқлаш алгоритмини ишлаб чиқиш.

смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш;

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида электрокардиография сигналлари, тасвирлари ва ўқув танланмалари олинди.

**Тадқиқотнинг предмети** сифатида ўқув танланмаларни тўплаш усуллари, маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усуллари ва алгоритмлари, электрокардиография аппарат-дастурий воситаси ва смартфон иловасини ишлаб чиқиш технологиялари ва усуллари олинди.

**Тадқиқотнинг усуллари** сифатида рақамли тасвирларга ишлов бериш усуллари, кузатиш ва статистик таҳлил усуллари, тўпламлар назарияси ва математик статистика, маълумотларга интеллектуал ишлов бериш усуллари ва дастурлаш технологиялари олинди.

**Тадқиқотнинг илмий янгилigi** қуйидагилардан иборат:

ADS1298 аналог-рақамли ўзгартиргич қурилмаси ёрдамида электрокардиография аппарат-дастурий таъминоти лойиҳаланган ва смартфон қурилмаси билан маълумот алмашиш алгоритми ишлаб чиқилган;

электрокардиограмма сигналларини ҳисобга олган ҳолда нейрон тармоғига кирувчи 75x224 ўлчамли JPG форматида тасвирни ҳосил қилиш алгоритми ишлаб чиқилган;

нейрон тармоғи параметрлари ва математик таъминотини ҳисобга олган ҳолда миокард инфарктни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг CNN тармоғи архитектураси қурилган;

75x224 ўлчамли тасвир формати, нейрон тармоғи параметрлари ва математик таъминоти ёрдамида миокард инфарктни ташхислаш ва жойлашув ўрнини аниқлашнинг алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

электрокардиография аппарат-дастурий таъминотининг функционал тузилмаси лойиҳаланган;

миокард инфарктни ташхислаш мақсадида 19904 та ўқув танланмаларга асосланган маълумотлар базаси шакллантирилган;

смартфон электрокардиография аппарат-дастурий мажмуасида Bluetooth қурилмасининг ишлаш алгоритми таклиф этилган;

смартфон электрокардиография аппарат-дастурий мажмуасининг функционал тузилмаси, фойдаланувчи интерфейси, фойдаланиш учун техник талаблар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қўйилган муаммонинг математик жиҳатдан коррект ифодаланиши, хусусиятлар орасидаги боғлиқликларни аниқлашда маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усуллариининг тўғри қўлланилиши, шунингдек назарий ва амалий тадқиқотлардан олинган натижалар ва уларнинг мувофиқлиги орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти таклиф этилган нейрон тармоғи архитектураси, миокард инфарктни масофадан ташхислашнинг алгоритмлари ва аппарат дастурий мажмуаси турдош масалаларини ҳам ҳал этишда фойдаланиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кардиология марказларидан ташқарида яшовчи аҳоли ўртасида юзага келадиган миокард инфарктни барвақт аниқловчи аппарат-дастурий мажмуани ишлаб чиқиш орқали тиббий хизматларни масофадан такдим этиш ҳамда ташхислашнинг мобил иловаларини ишлаб чиқилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Миокард инфарктни масофадан ташхислаш учун электрокардиограмма тасвирларини ҳосил қилиш, миокард инфарктни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш алгоритми ҳамда смартфон электрокардиография аппарат-дастурий мажмуаси бўйича олинган натижалар асосида:

ADS1298 аналог-рақамли ўзгартириш қурилмаси асосида лойиҳаланган электрокардиография аппарат-дастурий воситасини смартфон иловаси билан интеграция қилиниши натижасида ишлаб чиқилган смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуаси «57-сон Оилавий поликлиникаси»да жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 24 ноябр 33-8/7052-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси тиббиёт марказларидан ташқарида, навбатчи шифокорлар смартфон электрокардиография аппарат-дастурий воситасидан фойдаланиши натижасида, электрокардиограмма маълумотларини олиш вақтини 1,8 мартага қисқартириш имконини берган;

электрокардиограмма тасвирини ҳосил қилиш алгоритми ва миокард инфарктни ташхислашнинг нейрон тармоғига асосланган интеллектуал ишлов бериш алгоритмлари асосида ишлаб чиқилган дастурий восита «Тиб келажаги» хусусий клиникасида жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2020 йил 24 ноябр 33-8/7052 маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаси миокард инфарктни ташхислаш ёки бор ёки йўқлигини шифокорнинг аралашувисиз аниқлаш имкони 1,7 марта ошириш, зарурий амалиётни ўз вақтида кўрсатишни 1,5 мартага ошириш имконини берган;

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертациянинг илмий ва амалий натижалари 4 та халқаро ва 13 республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.



**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича асосий натижалари 28 та илмий ишларда эълон қилинган, улардан 8 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини эълон қилиш учун тавсия қилинган журналларда, жумладан 2 таси хорижий журналларда ва 6 таси республика журналларида нашр қилинган ҳамда 3 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 112 бетни ташкил этади.

## **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 «**Миокард инфарктни масофадан ташхислашнинг алгоритмлари ва аппарат-дастурий воситалари**» деб номланган биринчи бобида миокард инфаркт (МИ)га масофадан ташхис қўйишнинг зарурати ва аппарат-дастурий воситалари ҳамда ташхислашнинг интеллектуал алгоритмлари таҳлил қилинган.

Компьютерлашган электрокардиограция (ЭКГ) ва холтер аппаратларидан фарқли, смартфонларда реал вақтда ва турли географик нуқталардан масофавий тиббий хизматлар учун фойдаланиш, кичик ҳажмли, портатив, кундалик фаолиятда тақиб юришга қулай, бир неча кун давомида тақиб юриш, гаджедлар билан ишлаш, маълумотларни хотирада сақлаш имконияти мавжуд, интерпретация қилиш учун махсус веб-броузерга узатиш ва бошқа қўшимча имкониятлари мавжуд ва шу билан бирга машинали ўқитиш (МЎ) алгоритмларидан фойдаланиб шифокорнинг аралашувисиз касалликларни ташхислаш имкониятини қўллаб қувватлайди.

Ҳозирги кунда машинали ўқитишнинг турлари ва алгоритмлари сони ортиб бормоқда. МЎ алгоритмлари ўқитиш жараёнида муайян қоидаларга асосан белгиларни ажратиб таснифлайди. Айнан белгиларни ажратиб олиш хусусияти сабаб, белгилар ошган сари алгоритм мураккаб кўринишга келади ва катта ҳажмли маълумотларни ўқитиш талаб этилганида машинали ўқитиш алгоритмларидан фойдаланиш ноқулай бўлиб қолади. ЭКГ тасвирларига асосан МИнинг белгиларига дастлабги ишлов беришларсиз, мураккаб қоидаларга асосланган алгоритмларни ишлаб чиқмасдан ва филтрлаш усулларидан фойдаланмасдан аниқлашнинг

самарали усули чуқур ўқитишнинг CNN (convolutional neural network) алгоритми ҳисобланади, 1-жадвалда уларнинг қиёсий таҳлили келтирилган.

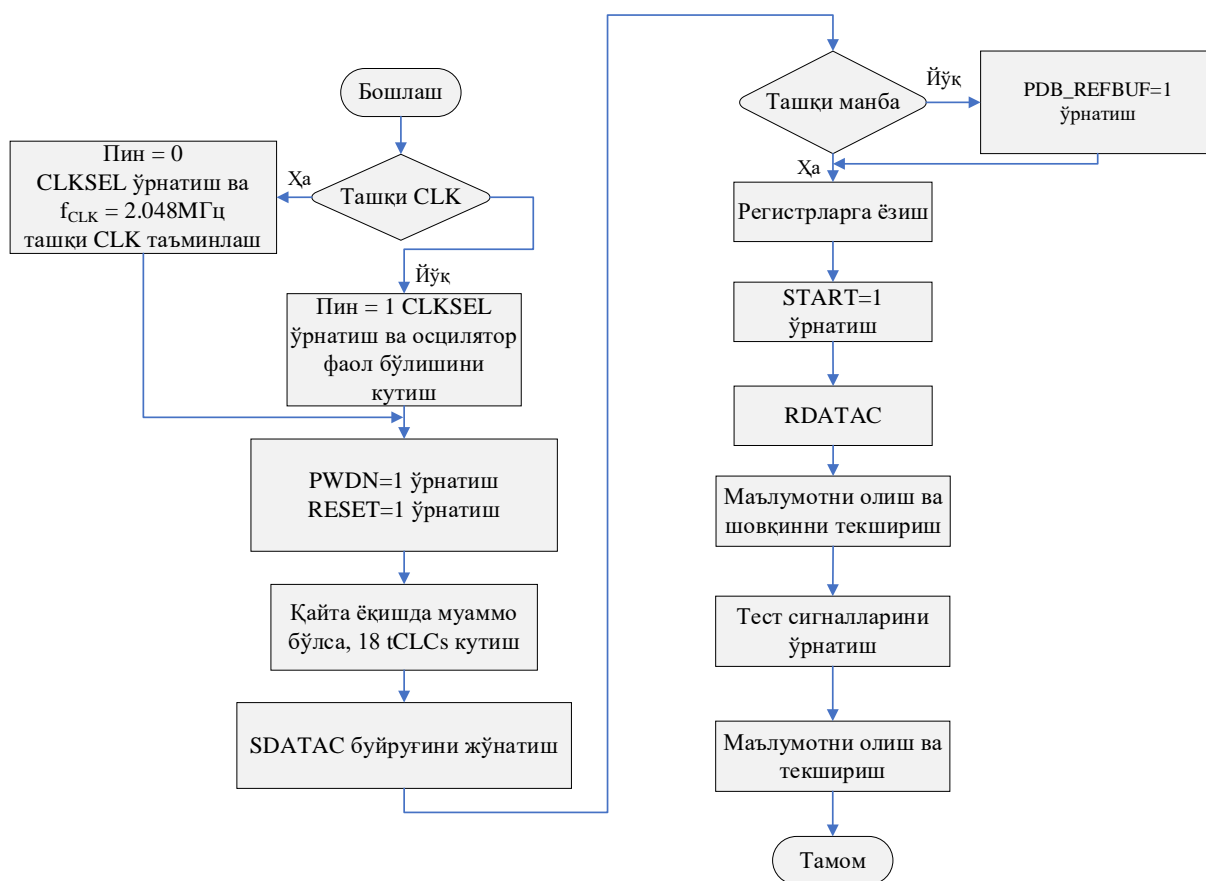
**1-жадвал.**

**МИни аниқлаш учун ишлатиладиган машинали ўқитиш ва чуқур ўқитиш алгоритмларининг қиёсий таҳлили**

Алгоритм номи	Кўп каналли ЭКГ маълумоти билан ишлаш тезлиги	Кўп ўлчамли тасвирлар билан ишлаши	Белгиларни ажратиб олишга бўлган талаб	Синфларга ажратиш аниқлиги (%)	Синфлар сони	Ўқитиш учун талаб қилинадиган маълумотлар сони
FNN	Паст	-	+	92,2	Чекланган	Кам
WT	Паст	-	+	96,56	Чекланган	Кам
SVM	Паст	-	+	99,1	Чекланган	Кам
k-NN	Паст	-	+	98.8	Чекланган	Кам
CNN	Юқори	+	-	98,47	Чекланмаган	Кўп

Диссертациянинг «ЭКГ аппарат-дастурий таъминотини функционал тузилмаси ва маълумот алмашиш жараёнини лойиҳалаш» деб номланган иккинчи бобида смартфон билан интеграцияланувчи кичик ўлчамли ва 24 бит резолуцияли делта-сигма аналог-рақамли ўзгартириш (АРЎ) қурилмаси асосида ЭКГ аппарат-дастурий таъминотини функционал тузилмаси лойиҳаланган. 12 каналли ЭКГ аппарат-дастурий таъминотида сигналларнинг ҳосил қилиниши, маълумот тузилмаси, буйруқлар билан ишлаши, хусусан, тизим, маълумотларни ўқиш ва регистрда ёзиш буйруқлари ишлаб чиқилган.

АРЎ қурилмаси – Texas Instrument томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, у кам қувватли (0,75 мВт/канал), кўп каналли, махсус тиббий аппарат-дастурий воситаларни ишлаб чиқиш учун махсус лойиҳаланган. АРЎ қурилмасида кирувчи барча аналог кўринишдаги сигналлар бир вақтда дискретланади. Ушбу қурилма орқали тана ҳароратини, сунъий юрак стимулятори кучланишини ўлчаш, сенсорларнинг танадан узилганлигини аниқлаш, RLD занжирдан фойдаланиш мумкин. Қурилманинг маълумот узатиши 250 Кб/с тезликка етади. Аналог-рақамли ўзгартириш қурилмаси ААМІ ЕС11, ЕС13, IEC60601-1, IEC60601-2-27, ва IEC60601-2-51 стандарти талабларига мос келади. Қурилмада осциллятор бўлиб, унинг ёрдамида 2048 МГц синхронизация сигнаolini ҳосил қилиш мумкин. ЭКГ аппарат-дастурий таъминоти билан смартфон иловаси ўртасидаги алоқа JSON форматида амалга оширилди. 1-расмда ЭКГ аппарат-таъминоти ва смартфон қурилмаси ўртасида маълумот алмашиш алгоритми келтирилган.



**1-расм. ЭКГ аппарат-таъминоти ва смартфон қурилмаси ўртасида маълумот алмашиш алгоритми**

**1-қадам.** Қувват манбаи ишга тушганидан кейин, ташқи синхронизация (ТС) мавжуд ёки мавжуд эмаслиги текширилади. Агар ТС мавжуд бўлса синхронизацияни танловчи мастер (CLKSEL) нолинчи пинга ўрнатилади ва ТС  $f_{clk} = 2,048$  МГц частотада ишлай бошлайди. Агар ТС бўлмаса CLKSEL биринчи пинга ўрнатилади ва ички осциляторнинг фаоллашиши кутилади. Бу жараён паст қувватли режим ҳисобланади ва маълумот узатиш тезлиги  $DR = f_{MOD} / 1024$  га тенг бўлади.

**2-қадам.** PWDN ва RESET 1 га тенг қилиб ўрнатилади. Бунда RESET нинг қайта ишга тушиши ва осциляторнинг иш бошлаши кечиктирилади.

**3-қадам.** RESET буйруғи берилгач регистрлар конфигурациясини стандарт ҳолатга ўрнатиш учун 18  $t_{clk}$  вақт ўтиши керак. Ундан кейин қурилма фаоллашади ва бунда у RDATAС режимда иш бошлайди. Бу эса фақат ўқиш режими ҳисобланади. Регистрда ёзиш имконини ишлаб чиқиш учун SDATAC буйруғи юборилади.

**4-қадам.** Ёзиш учун ташқи манба бор ёки йўқлиги текширилади. Мавжуд бўлмаса, PDB\_REFBUF =1 буйруғи юборилади ва ички манбанинг ёниши кутилади. Агар ташқи манба мавжуд бўлса, тўғридан тўғри кейинги босқичга ўтилади.

**5-қадам.** Баъзи регистрларга ёзиш жараёни бошланади. Бу босқичда қурилма катта тезликда ишлаш режимига ўтади.

**6-қадам.** START=1 буйруғи бериледи ва ўзаро алоқа бошланади. Агар ушбу буйруғ берилмаса, курилма DRDY (маълумот тайёр эканлигини кўрсатувчи) сигнални узатмайди ва алоқа бошланмайди. Ушбу босқичда DRDY сигнали  $f_{clk}/4096$  частота билан узатилиши керак.

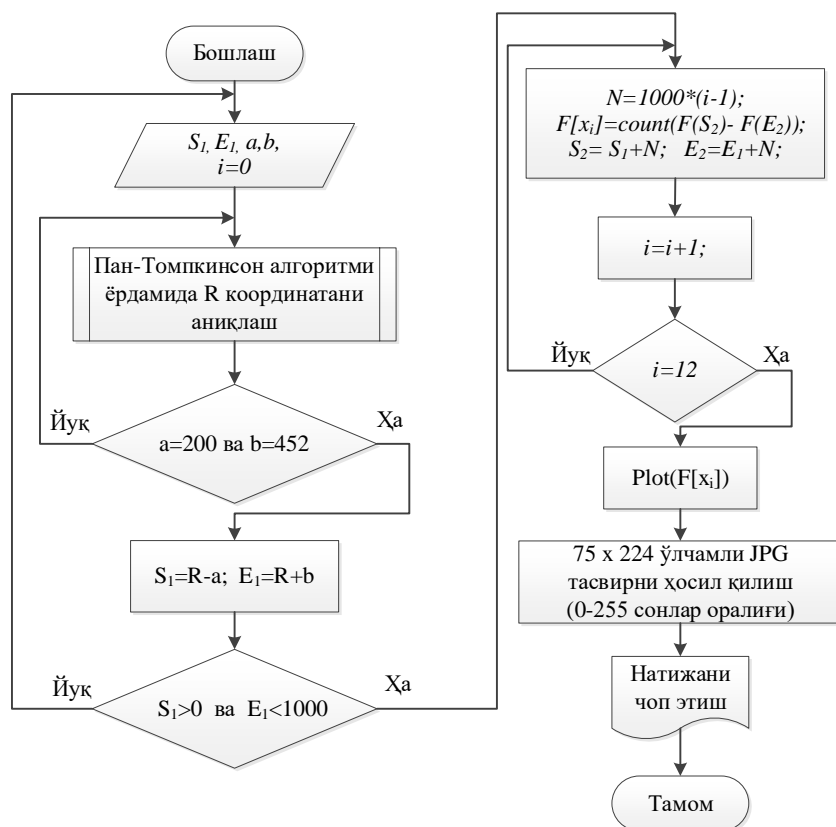
**7-қадам.** Курилма яна қайта RDATAС режимига ўтказилади.

**8-қадам.** Маълумотлар қабул қилиб олинади ва шовқинлар текширилади, яъни (DRDY) сигнали ва  $24+n*24$  SCLK маълумот мавжудлиги текширилади. Бу ерда ( $n$  – фаол каналлар сони).

**9-қадам.** Тест сигнали узатилади ва  $(1mV * V_{REF}/2,4)$  фаоллаштирилади.

**10-қадам.** Маълумот ва тест сигнали қабул қилинади ва жараён тугайди.

Диссертациянинг «ЭКГ маълумотларини интеллектуал таҳлил қилиш ва миокард инфарктни ташхислаш алгоритмлари» деб номланган учинчи бобида CNN тармоғига кирувчи тасвирни ҳосил қилиш алгоритмлари, нейрон тармоғи параметрлар ва архитектураси курилди ва МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашга қаратилган алгоритм ишлаб чиқилди. 2-расмда CNN тармоғига кирувчи тасвирни ҳосил қилиш алгоритми келтирилган.



**2-расм.** CNN тармоғига кирувчи тасвирни ҳосил қилиш алгоритми

**1-қадам.** Пан-Томпкинсон алгоритми орқали аниқланган ЭКГ тўлқинларидаги  $R$  координаталар ҳақидаги маълумот киради.

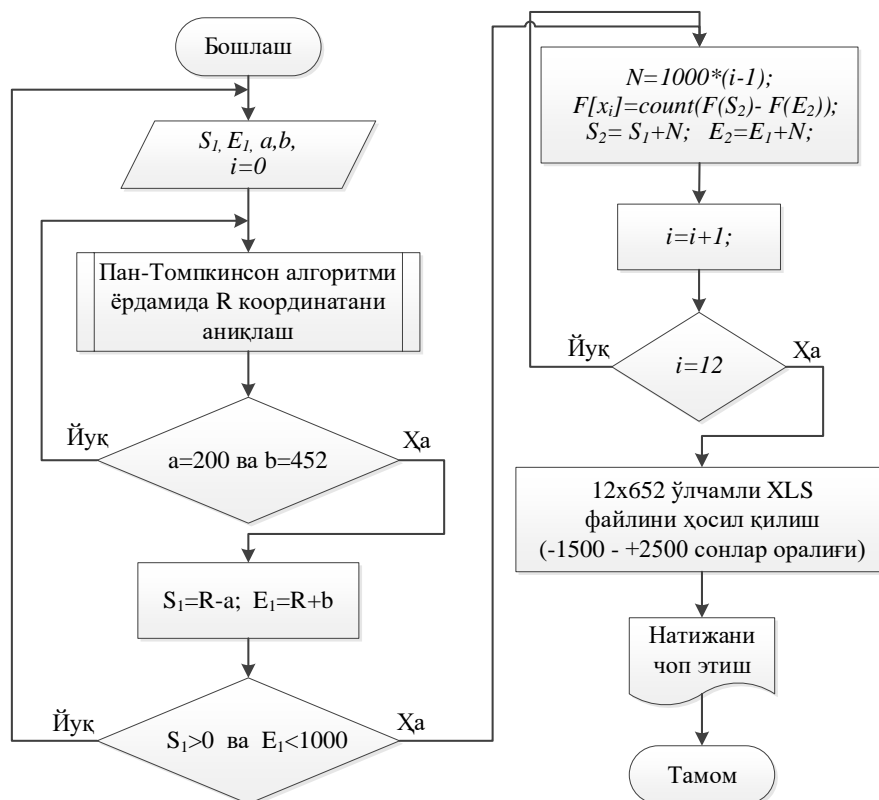
**2-қадам.** ЭКГ сигналнинг бошланиш ва охири нукталари берилган ораликдан чиқиб кетмаслиги  $S_i > 0$ ,  $E_i < 1000$  шарт ёрдамида текшириб олинади. Агар ушбу шарт бажарилмаса, бошқа сигнал берилиши учун сўров

юборилади ва алгоритм жараёни такрорлайди. Акс ҳолда кейинги қадамга ўтади.

**3-қадам.**  $F(x)$  сигналларнинг  $S_i$  ва  $E_i$  ораликдаги қийматлари  $F[i]$  тўпламга киритилади.

**4-қадам.**  $i > 12$  шарт текширилади, агар шарт бажарилмаса 3-қадамга қайтарилади. Агар шарт бажарилса  $F[i]$  тўплам қадамга ўтказилади.

**5-қадам.**  $F[i]$  тўпламдаги қийматлар  $(x, i)$  координатасида чизилади ва нейрон тармоғига кирувчи 0-255 ораликқа келтирилган *JPG* форматида тасвир ҳосил бўлади.



### 3-расм. CNN тармоғига кирувчи XLS файлини ҳосил қилиш алгоритми

Тадқиқотда МИни ташхислашда, тасвирни ҳосил қилиш алгоритмидан фарқли, 12 каналли ЭКГ сигналларини бир сониядаги қийматининг 12x652 ўлчамли сонли матрица кўринишида ҳосил қилувчи алгоритм ишлаб чиқилди, 3-расмга қаранг.

**1-қадам.** Пан-Томпкинсон алгоритми орқали аниқланган ЭКГ тўлқинларидаги  $R$  координаталар ҳақидаги маълумот киради.

**2-қадам.** ЭКГ сигналининг бошланиш ва охири нукталари берилган ораликдан чиқиб кетмаслиги  $S_i > 0$ ,  $E_i < 1000$  шарт ёрдамида текшириб олинади. Агар ушбу шарт бажарилмаса, бошқа сигнал берилиши учун сўров юборилади ва алгоритм жараёни такрорлайди. Акс ҳолда кейинги қадамга ўтади.

**3-қадам.**  $F(x)$  сигналларнинг  $S_i$  ва  $E_i$  ораликдаги қийматлари  $F[i]$  тўпламга киритилади.

**4-қадам.**  $i > 12$  шарт текширилади, агар шарт бажарилмаса 3-қадамга қайтарилади. Агар шарт бажарилса  $F[i]$  тўплам қадамга ўтказилади.

**5-қадам.**  $F[i]$  тўпلامдаги қийматлар натижасида CNN тармоғининг киришида 12x652 ўлчамли XLS форматида матрица ҳосил қилинади ва -1500 ва +2500 оралиғидаги сонлар олинди.

Кириш қатлами нейронларининг сони тасвир ўлчами билан ўлчанади, бунда тасвирнинг матрицаси  $N=a_1 \times b_1 \times c_1$  кўринишда ифодаланди. Бу ерда  $a_1$  – матрицанинг эни,  $b_1$  – матрицанинг баландлиги ва  $c_1$  – ранг каналларининг сони. CNN тармоғининг конволужин қатламига  $[a_1, b_1]$  ўлчамли матрица кириш қатлаидан кирмоқда, бу қатламда қабул қилинган тасвирларга  $B[h, l]$  фильтри таъсир қилади. Фильтрининг матрицаси ўлчами  $B[h, l]$  га тенг ва умумий матрицанинг  $A[h, l]$  соҳасини қамраб олади. Кирувчи матрицанинг фильтрланиши жараёнини ифодалаш учун,  $A$  ва  $B$  соҳалар орасидаги дискрет конволужин амали қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$x[i, j, m] = \sum_{u=-h}^h \sum_{v=-l}^l A[i-u, j-v, k] B[u, v, m] + b_m$$

бунда,  $i, j$  - чиқувчи белги ҳаритаси ячейкаси координатаси,  $k$ -кирувчи қатлам чуқурлиги (ушбу ҳолатда 1 га тенг),  $m$ -фильтрнинг тартиб рақами,  $b_m$  - қийматларни силжитиш коэффициентини,  $h, l$ -фильтрнинг ўлчами.  $B$  фильтрни умумий матрица юзаси бўйлаб силжитиш, ҳар бир кичик  $A$  соҳага қўллаш натижасида  $x[a_2, b_2]$  матрица ҳосил бўлади ва у чиқувчи белги ҳаритасининг матрицаси деб номланади. Конволужин қатламида қанча фильтр ишлатилган бўлса, шунча марта белги ҳаритаси ҳосил бўлади, натижада ушбу қатламнинг чиқишида  $[a_2, b_2, c_2]$  кўринишидаги маълумот ҳосил бўлади.

CNN тармоғида биринчи конволужин қатлаидан кейин тармоқнинг тезлигини, ишлаш самарадорлигини ва барқарорлигини таъминлаш учун кичик давр (BN)дан фойдаланилди.

BN қатламида тармоқни ўқитиш давомида қуйидаги амаллар бажарилади. а) қатламлар киришидаги ўртача қиймат ва дисперсия ҳисобланади, яъни:

$$\mu_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_B)^2$$

Бунда,  $x_i$  – ушбу қатламга кирувчи маълумот,  $n$ -кичик тўпلامдаги жами маълумотлар сони.

б) аввал ҳисобланган кичик тўпلام статистикасига кўра, қатламлар кўриниши нормаллаштиради:

$$\bar{x}_l = \frac{x_i - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}}$$

с) нормаллаштирилган маълумотлар қуйидаги ифода ёрдамида сиқилади/катталаштирилади ва силжитилади, натижада BN қатламининг чиқиши ҳосил бўлади.

$$y_i = \gamma \bar{x}_i + \beta$$

Бу ерда  $\gamma$  ва  $\beta$  тармоқнинг ҳақиқий параметрлари билан бир қаторда ўрганиб борилади, яъни қийматлар ўқитиш давомида ўрнатилади.

Конволужин алгоритми чизикли бўлганлиги сабабли архитектурада ночизикли фаоллаштириш функцияси бўлган ReLU функциясидан фойдаланилди. ReLU кириш элементларининг ҳар бирига қуйидаги функция билан таъсир қилиб, чиқиш матричасини ҳосил қилади.

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Тўла уланган қатлам хусусий вазн коэффициентлари ва оғишга эга бўлган сигмоид функцияси билан кирувчи ҳар бир элементга таъсир қилиб, чиқишда  $|x|/x+1$  ўлчамли матрицани ҳосил қилади. Ушбу қатламга уланган нейронларнинг умумий сони ажратиладиган синфлар сонига тенг бўлади.

CNN тармоғининг охириги қатламида тасвирнинг белгиларига қараб таснифлаш амали бажарилади. Softmax функцияси барча синфлардан мумкин бўлган мақсадли синфнинг эҳтимоллигини ҳисоблаб чиқади, яъни тармоқда кўп синфларга ажратиш вазифаси қўйилганида ва нормаллаштирилмаган чиқиш натижасининг эҳтимоллигини тахмин қилинган чиқиш синфлари бўйича аниқлашда ушбу функциядан фойдаланилади:

$$y_r(x) = \frac{\exp(a_r(x))}{\sum_{j=1}^k \exp(a_j(x))}$$

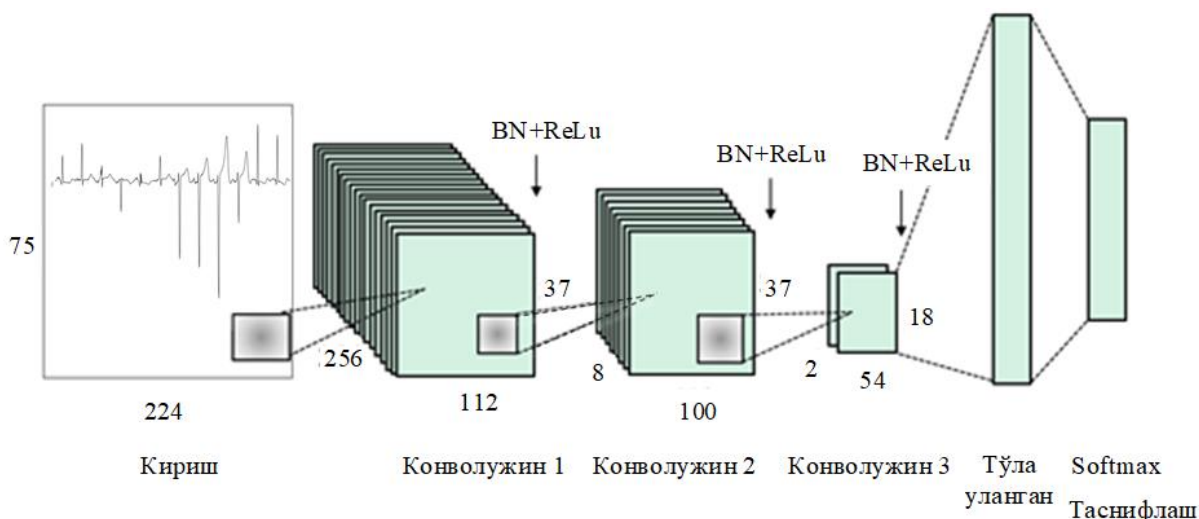
бунда,  $0 \leq y_r \leq 1$  ва  $\sum_{j=1}^k y_j = 1$ . Softmax функцияси  $k$  нинг тасодифий жуда катта қийматларини олади ва  $k$  нинг қийматлари векторини ҳосил қилади. Бу қийматлар 0 ва 1 сонлари орасида бўлади. Ҳосил қилинган қийматлар 1 сонига нормаллаштирилади. Softmax функциясининг чиқиши синфларнинг эҳтимоллиги сифатида олинади.

Ушбу қатламда қуйидаги функцияга асосан чиқиш ўлчами ва синф номи ажратилади.

$$E(\theta) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k t_{ij} \ln y_j(x_i, \theta)$$

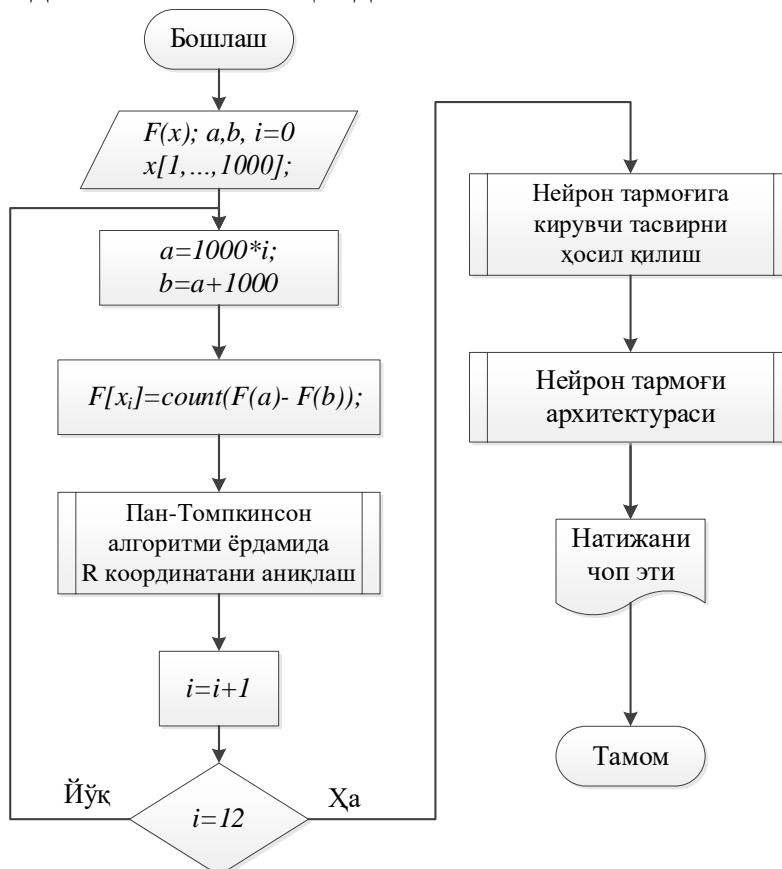
Бунда,  $\theta$  – параметр вектори,  $t_{ij}$  –  $i$ -намуна  $j$ -синфга тегишли эканлигини кўрсатувчи индикатор.  $y_j(x_i, \theta)$  –  $i$ -намуна учун чиқиш.

Нейрон тармоғини параметрлари ва ишлаб чиқилган математик таъминот асосида МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш жараёнининг CNN тармоғига асосланган параметрлари ва архитектураси қурилди, 4-расмга қаранг.



**4-расм. МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг CNN архитектураси**

CNN тармоғига ўқитиш учун кирувчи 75x224 ўлчамли тасвирни ўқитиш асосида МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг алгоритми қуйидагича ишлаб чиқилди:



**5-расм. МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг алгоритми**

**1-қадам.** Нейрон тармоғига кирувчи сигнал сониясига 1000 та дискрет қийматлар тўпламига тенг ва ҳар бир ҳосил қилинган тўплам кейинги босқичга ўтказилади. Тўпламлар сони 12 тага етгач жараён янги тўпламни кириши учун кутиш ҳолатига ўтади.

**2-қадам.** ЭКГ тўлкинидаги  $R$  координатани аниқлашда Пан-Томкинсон алгоритмидан фойдаланилади.

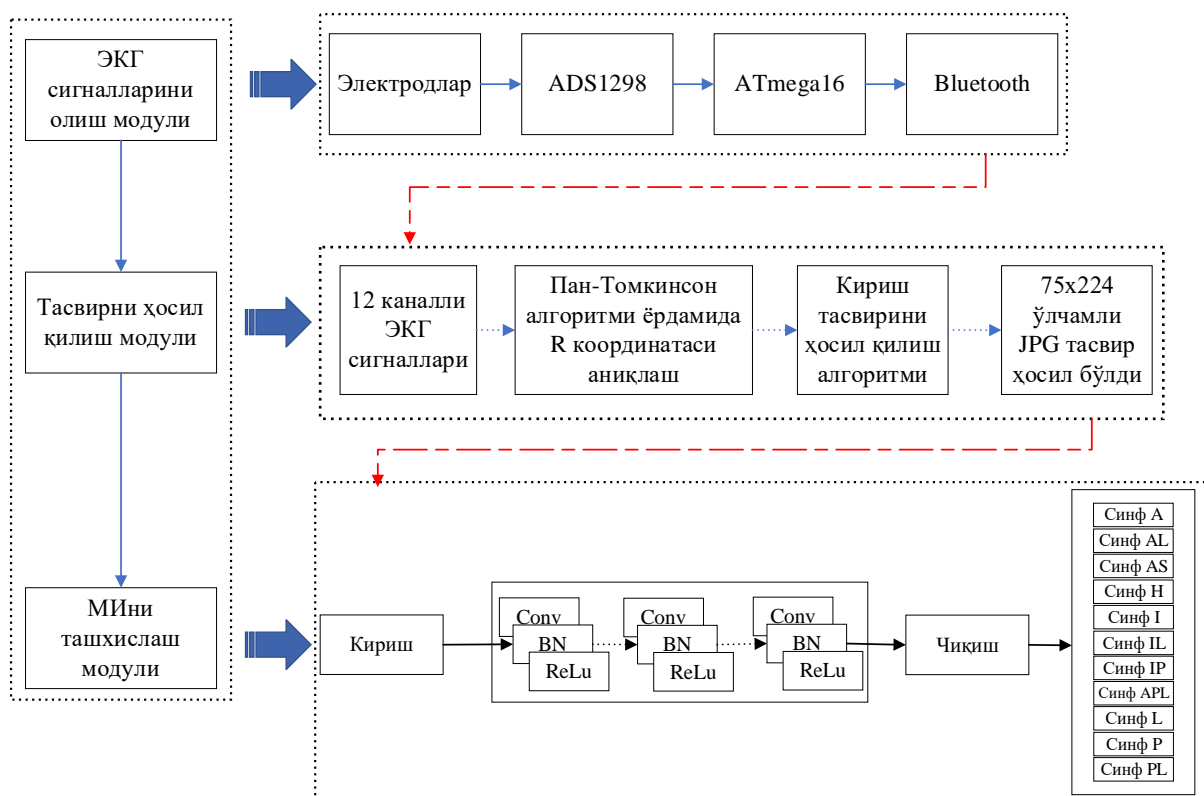


**3-қадам.** Пан-Томкинсон алгоритми натижасида аниқланган жами 12 та  $R$  координаталар ёрдамида  $F(x)$  сигналидан 12 та 652 узунликдаги дискрет қиймат олиниб, битта қаторга бирлаштирилади ва  $I(x)$  ўқида тасвирланади.

**4-қадам.** Ҳосил бўлган ЭКГ тасвири CNN тармоғида ўқитилади ва МИ ташхисланади.

Ишлаб чиқилган алгоритмнинг МИни аниқлай олиш қобилиятини баҳолаш учун хатолик матрицаси, аниқлик даражаси, сезгирлик, ўзига хослик, J-stat каби статистик параметрлар ҳисобланди. Ҳисоблаш натижаларига кўра ишлаб чиқилган алгоритм натижаси CNN тармоғи МИни 98,47 % аниқлик билан ташхислади.

Диссертациянинг тўртинчи бобида «Смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасидан олинган натижалар ва уларнинг тадбиқи» келтирилган.



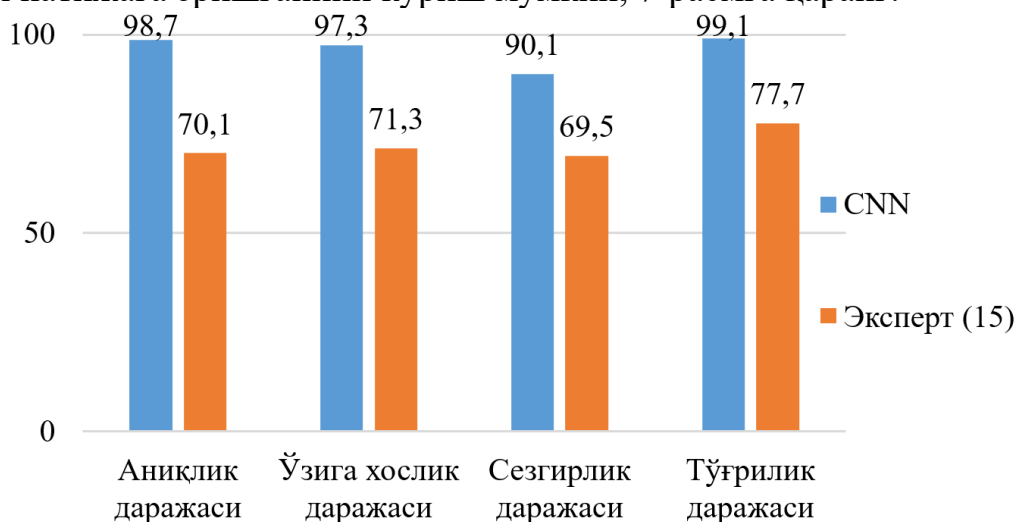
**6-расм.** Смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасининг модуллари

**ЭКГ сигналларини олиш модули.** Ушбу модули APЎ (ADS1298), Atmega16 микроконтроллери ва Bluetooth HC-05 модуллари ўз ичига олади ва ушбу модулда сигналларга дастлабги ишлов бериш жараёнлари амалга оширилади.

**Тасвирни ҳосил қилиш модули.** Ушбу модул ЭКГ иловасида тасвирларини чизиш,  $R$  координатани аниқлаш ва CNN тармоғига кирувчи тасвирни ҳосил қилиш жаранларни ўз ичига олади. Бир сониядаги ЭКГ сигналнинг 652 қисмини қирқиб олиш ва қирқиб олинган 12 та ЭКГ тасвирлари асосида 75x224 ўлчамдаги тасвир ҳосил қилишни таъминлайди.

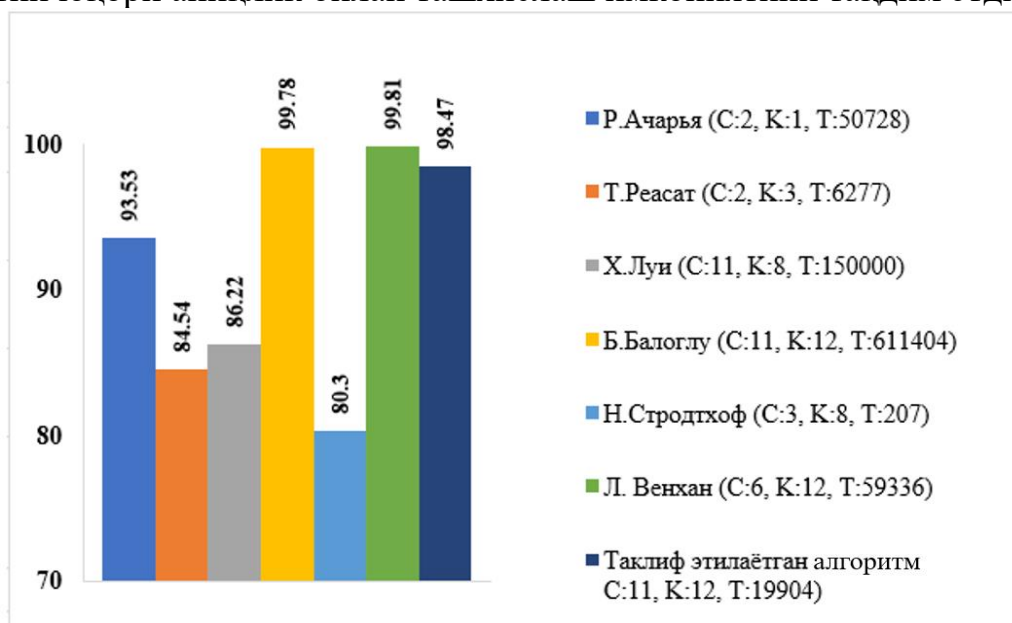
**МИни ташхислаш модули.** Ушбу модул асосида 75x224 ўлчамли тасвирни нейрон тармоғида ўқитиб, МИни ташхислаш ва жойлашув ўрнини аниқлаш жараёнини амалга оширади.

Таклиф этилаётган CNN архитектураси асосида МИни тахислаш ва жойлашувини аниқлашда олинган натижалар билан экспертлар томонидан МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш натижалари 4 та хусусият бўйича қиёсий таҳлил этилди. Таҳлилда CNN архитектураси асосида МИга ташхис қўйиш аниқлиги экспертлар томонидан ташхисланган натижадан юқори натижага эришганини кўриш мумкин, 7-расмга қаранг.



**7-расм. Таклиф этилаётган алгоритм ва экспертлар томонидан МИга ташхис қўйиш аниқлигининг қиёсий таҳлили**

Олинган натижаларни халқаро миқёсдаги аҳамиятини баҳолаш учун шу соҳада бажарилган илмий тадқиқот ишлари натижалари билан солиштириб кўрилди. 8-расмда ишлаб чиқилган нейрон тармоқ нисбатан кам маълумот билан 12 та каналли маълумотларга асосан миокард инфарктни юқори аниқлик билан ташхислаш имкониятини тақдим этди.



**8-расм. Алгоритмларнинг солиштирма таҳлили**

## ХУЛОСА

«Миокард инфарктни масофадан ташхислашнинг алгоритмлари ва аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш» мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар олинди:

1. МИни масофадан аниқлаш алгоритмлари ва аппарат-дастурий воситалари, МИни масофадан аниқлашнинг долзарб масалалари, МИни аниқлаш ва даволашнинг ёндашувлари ва МИни аниқлаш усуллари қиёсий таҳлил қилинди. МИни аниқлаш воситаларини солиштирма таҳлил қилиш натижасида тиббиёт марказларидан ташқарида МИни аниқлаш имкониятини берувчи аппарат-дастурий мажмуасини ривожлантириш мақсадга мувофиқлиги асосланган.

2. МИни масофадан ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг аппарат-дастурий воситалари, тиббиётда ўрнатилган тизимларнинг таснифи ва аналог интерфейсли ЭКГ интеграл чиплари қиёсий таҳлил қилинди. ЭКГ аппарат-таъминотини лойиҳалаш жараёнида АРЎ қурилмаларининг хусусиятлари солиштирма таҳлил қилинди. Таклиф этилаётган ЭКГ аппаратининг кичик ўлчамда ва арзон нархларда лойиҳалаш имкониятлари ҳисобга олинди. Таҳлил натижасида стандарт ҳолатдаги кичик ўлчамли ва ташиб юриш қулай ва смартфон қурилмаси билан интеграцияланиш имкониятини тақдим этувчи ЭКГ аппарат-дастурий таъминотини лойиҳалаш имкони яратилди.

3. Тасвир асосида МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш мақсадида таклиф этилаётган нейрон тармоғида ўқитиш учун ЭКГ тасвирларининг хусусиятлари ўрганилди ва сонли матрица орқали ўқитиш имконияти кўриб чиқилди. Бунинг натижасида нейрон тармоғининг кириш қатлами учун мос ва ташхислаш натижасининг аниқлик даражасини юқори бўлишини таъминловчи кириш тасвирини ҳосил қилиш алгоритмини ишлаб чиқиш имконияти ҳосил бўлди.

4. Ўқув танланмаларига асосланган маълумотлар базасидан фойдаланиб нейрон тармоғи учун кирувчи тасвирни ҳосил қилиш алгоритми ишлаб чиқилди ҳамда МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашнинг интеллектуал алгоритми ишлаб чиқилди.

5. Ўқув танламалари ва интеллектуал алгоритмлар асосида МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш имконини тақдим этувчи машинали ўқитиш алгоритмлари солиштирма таҳлил қилинди. Қўйилаётган вазифани ечиш имконини берувчи чуқур ўқитишнинг CNN алгоритми аниқланди. Таҳлил натижасида ЭКГ тасвирлари асосида МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлашга қаратилган CNN архитектураси ишлаб чиқиш имкони ҳосил қилинди.

6. Смартфон ЭКГ иловасини ишлаб чиқиш ва ЭКГ аппарат-дастурий таъминоти билан интеграция қилиш имконини таҳлил қилишда смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасининг модуллари, унинг таркибий қисмлари ва унда амалга ошириладиган амалларни аниқлаш имкони яратилди.

7. Смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасининг модуллари, таркибий қисмлари ва ундан фойдаланиш жараёни тадқиқ этилди ва ЭКГ апарати билан смартфон иловаси ўртасида маълумот алмашиш алгоритми ишлаб чиқилди. Смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасини ишлаб чиқиш натижасида масофадан туриб ЭКГ тасвирларига асосан МИни ташхислаш ва жойлашувини аниқлаш имкони пайдо бўлди.

8. Ишлаб чиқилган смартфон ЭКГ аппарат-дастурий мажмуасидан фойдаланиш учун аппарат ва дастурий жиҳатдан зарурий талаблар ишлаб чиқилди. Тизим икки қисмдан иборат эканлигини эътиборга олган ҳолда, ҳам фойдаланувчи, ҳам смартфон ЭКГ иловасидан фойдаланиш бўйича аппарат ва дастурий таъминотларга бўлган талаблар ишлаб чиқилди. Бу талабларнинг ишлаб чиқилиши дастурий воситадан фойдаланиш жараёнида келиб чиқиши мумкин бўлган хатолик ва муаммоларни бартараф этиш имконини берди.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**НАСИМОВ РАШИД ХАМИД УГЛИ**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО  
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ИНФАРКТА МИОКАРДА**

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

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

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2020.2.PhD/T1564.**

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyounet» ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)).

**Научный руководитель:** **Муминов Баходир Болтаевич**  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:** **Зайнидинов Хаким Насридинович**  
доктор технических наук, профессор

**Хужаев Отабек Кадамбаевич**  
PhD

**Ведущая организация:** **Ташкентский государственный транспортный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г. в \_\_ 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](mailto:tuit@tuit.uz)).

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

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года.  
(протокол рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.).

**Р.Х.Хамдамов**  
Председатель научного совета по присуждению  
учёных степеней, д.т.н., профессор

**Ф.М.Нуралиев**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёных степеней, д.т.н., доцент.

**М.А.Рахматуллаев**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире развитие индустрии производства аппаратно-программных продуктов в сфере медицины показывает, что мониторинг биологических изменений в человеке, процессы определения показателей этих изменений и их первичной диагностики возможно реализовать с помощью аппаратно-программных средств на основе интеллектуально-аналитических алгоритмов нейронных сетей. В последние десятилетия увеличивается потребность в оказании медицинских услуг посредством цифровых устройств (в частности, смартфонов). В этом плане, в развитых странах ведется работа по расширению и адаптации возможностей приложений для смартфонов, предназначенных для оказания медицинских услуг. В частности, в США, Германии, Франции, Великобритании, Японии, Португалии, Австралии, Южной Кореи, Китайской Народной Республике, Индии, Российской Федерации, Таджикистане и Узбекистане осуществляется огромные работы по мониторингу и диагностике инфаркта миокарда с помощью интеллектуально-аналитических алгоритмов нейронных сетей и аппаратно-программных средств, функционирующих на их основе.

Ведется множество научных исследований в центрах медицинских услуг по внедрению практики дистанционной диагностики, увеличения качественных аппаратно-программных средств, позволяющих проводить мониторинг и выявлять смертельно опасных заболеваний на ранних стадиях. В частности, важнейшими научно-практическими задачами являются организация больших массивов база данных для диагностики инфаркта миокарда, использование алгоритмов интеллектуальной обработки медицинских данных на основе алгоритмов машинного обучения, а также на их базе разработать аппаратно-программные средства.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 августа 2018 года №ПП-3894 «О мерах по внедрению инновационной модели управления здравоохранением в Республике Узбекистан», Указом Президента Республики Узбекистан от 7 октября 2020 года №УП-6079 «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан от 18 января 2019 года №48, включающего комплексное развитие таких направлений как дистанционная диагностика, медицинская помощь на дому, единые платформы биомедицинских данных пациентов, цифровизация экстренных медицинских услуг, телемедицина, биомедицина и биотехнологии, 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 IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** В специализированных научных учреждениях мира многие ученые ведут научно-прикладные исследования по разработке базы данных и аппаратно-программных средств, диагностирующих инфаркта миокарда; разработка и внедрение в практике алгоритмов выявления признаков, математического моделирования, интеллектуального анализа данных по инфаркту миокарду. В частности, в работах Р.Ачарьи, Т.Реасата, Х.Луи, Б.Балоглу, Н.Стродтхофа, Л.Венхана разработаны модели диагностики инфаркта миокарда и отличия его от других сердечно-сосудистых заболеваний с использованием нейронных сетей.

В нашей Республике ряд отечественных ученых вносят свой вклад в развитие науки в этом направлении, в частности, научные исследования по разработки алгоритмов распознавания в сфере интеллектуальной обработки вел М.М.Камилов, в области алгоритмов определения признаков и данных обучения Ш.Х.Фозилов, работы по описанию речевых сигналов проводил М.М.Мусаев, практические работы по обработке изображений осуществлял Н.А.Игнатъев, по обработке медицинских изображений вел исследования Х.Н.Зайнидинов, в сфере экспертных систем изыскания проводил М.А.Рахматуллаев, по задачам классификации и диагностики А.Х.Нишанов, в области систем интеллектуального поиска важное значение имеют работы Б.Б.Муминова.

Несмотря на это, до настоящего времени вопросы разработки и внедрения в практику аппаратно-программных средств и архитектуры нейронных сетей по выявлению и диагностике инфаркта миокарда на основе данных электрокардиограммы недостаточно изучены.

**Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов №7/18-Ф «Разработка системы дистанционного мониторинга больных с гипертонией и инсультом» (2018-2019) и № I-5-0519 «Мониторинг функциональных изменений сердца» (2019) в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий.

**Целью исследования** является разработка алгоритмов и программно-аппаратного комплекса для дистанционной диагностики инфаркта миокарда на основе нейронных сетей.

**Задачи исследования:**

анализ методов и алгоритмов обработки изображений на основе нейронных сетей, использование аппаратно-программных средств при



диагностике инфаркта миокарда;

разработка алгоритма обмена данных смартфона и проектирование функциональной структуры аппаратно-программного обеспечения;

разработка алгоритмов получения данных, входящих в нейронную сеть;

построение архитектуры и параметров нейронных сетей, ориентированной на диагностику и локализацию инфаркта миокарда;

разработка алгоритма диагностики и локализации инфаркта миокарда;

разработка ЭКГ смартфона для аппаратно-программного комплекса.

**Объектом исследования** являются сигналы, изображения и данные обучения электрокардиографии.

**Предмет исследования** – методы формирования данных обучения, методы и алгоритмы интеллектуального анализа данных, методы и технологии разработки аппаратно-программного средства электрокардиографии и соответствующего приложения для смартфонов.

**Методы исследования.** Использованы методы цифровой обработки качественной изображения, наблюдения и статистического анализа, теории множеств и математическая статистика, интеллектуальная обработка данных и технологии программирования.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработано аппаратно-программное обеспечение электрокардиографии с использованием аналого-цифрового преобразователя ADS1298 и алгоритм обмена данными со смартфоном;

разработан алгоритм генерации изображения в формате JPG размером 75x224, которое вводится в нейронную сеть с учетом сигналов электрокардиограммы;

построена сетевая архитектура CNN для диагностики и локализации инфаркта миокарда с учетом параметров нейросети и математического обеспечения;

разработан алгоритм диагностики и локализации инфаркта миокарда с использованием формата изображения 75x224, параметров нейронной сети и математического обеспечения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

проектирован аппаратно-программное обеспечение электрокардиографии для дистанционной диагностики инфаркта миокарда;

сформирована база данных на основе 19904 ед. данных обучения для дистанционной диагностики инфаркта миокарда;

предложен алгоритм работы устройства Bluetooth в аппаратно-программном комплексе электрокардиографии для смартфонов;

разработаны функциональная структура электрокардиографии для смартфона аппаратно-программного комплекса, пользовательский интерфейс и технические требования.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается на корректным выражением поставленной проблемы в математическом аспекте, правильным применением методов интеллектуального анализа данных при определении связи между признаками, а также результатами теоретических и практических исследований и их соответствием.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования обоснована использованием предложенных аппаратно-программного комплекса и алгоритмов дистанционной диагностики инфаркта миокарда, архитектуры нейронной сети в однородных вопросах.

Практическая значимость результатов исследования обосновывается разработкой мобильных приложений и предоставлением дистанционной диагностики и медицинских услуг путем разработки аппаратно-программного комплекса раннего выявления инфаркта миокарда среди населения, живущего за пределами деятельности кардиологических центров.

**Внедрение результатов исследования.** На основе алгоритма формирования изображений электрокардиографии для дистанционной диагностики инфаркта миокарда, алгоритма интеллектуальной обработки диагностики и локализации инфаркта миокарда на основе архитектуры нейронных сетей, а также результатов по аппаратно-программному комплексу электрокардиографии для смартфонов:

аппаратно-программное средство смартфона электрокардиографии, разработанное в результате интеграции аппаратно-программных средств электрокардиографии, которое было спроектировано на основе ADS1298, с приложением для смартфонов, внедрено в деятельность медицинского объединения «Семейная поликлиника №57» Министерства здравоохранения Республики Узбекистан (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 24 ноября 2020 года №33-8/7052). Результаты научного исследования, полученные в ходе использования за пределами медицинских центров дежурными кардиологами аппаратно-программного средства электрокардиографии для смартфонов, позволили сократить в 1,8 раза время получения данных электрокардиограммы.

алгоритм формирования изображения ЭКГ и программное средство на основе алгоритма интеллектуальной обработки данных на базе нейронных сетей диагностики инфаркта миокарда внедрены в деятельность частной клиники «Гиб келажаги» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций от 24 ноября 2020 года №33-8/7052). Результаты научного исследования позволили сократить в 1,7 раза время определения признаков инфаркта миокарда и точной диагностики инфаркта миокарда без участия медиков, повысить в 1,5 раза эффективность оказания необходимой терапии.

**Апробация результатов исследования.** Результаты настоящего исследования обсуждены на 4 международных и 13 Республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования опубликовано всего 28 научные работы, из них 8 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией к публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе в 2 зарубежных журналах и 6 Республиканских журналах, а также получено 3 свидетельства о регистрации программного продукта для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 112 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна, практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Алгоритмы и аппаратно-программные средства дистанционной диагностики**» осуществлен анализ необходимости дистанционной диагностики инфаркта миокарда интеллектуальных алгоритмов диагностики и аппаратно-программных средств.

В отличие от компьютерной электрокардиографии (ЭКГ) и холтер-аппаратов мобильные приложения для смартфонов предоставляют возможность пользования дистанционными медицинскими услугами в режиме реального времени и из различных географических локаций, компактны, портативны, удобны в каждодневной деятельности, могут работать с гаджетами, хранить данные в памяти, передавать данных на специальный веб-браузер для интерпретации и другие возможности, а также поддерживают возможности диагностики заболеваний без участия медиков с использованием алгоритмов машинного обучения (МО).

На сегодняшний день увеличивается количество алгоритмов и видов машинного обучения. Алгоритмы МО классифицируют признаки на основании соответствующих правил в процессе обучения. Именно из-за возможности выделения признаков, увеличения количества признаков алгоритм усложняется и при возникновении потребности в обучении больших массивов данных использование алгоритмов машинного обучения становится затруднительным. Поэтому эффективным способом является

алгоритм CNN (convolutional neural network) глубокого обучения без первичной обработки признаков ИМ (инфаркта миокарда) на основе изображений ЭКГ, без разработки алгоритмов на основе сложных правил и без применения методов фильтрации, их сравнительный анализ приводится в таблице 1.

**Таблица 1.**

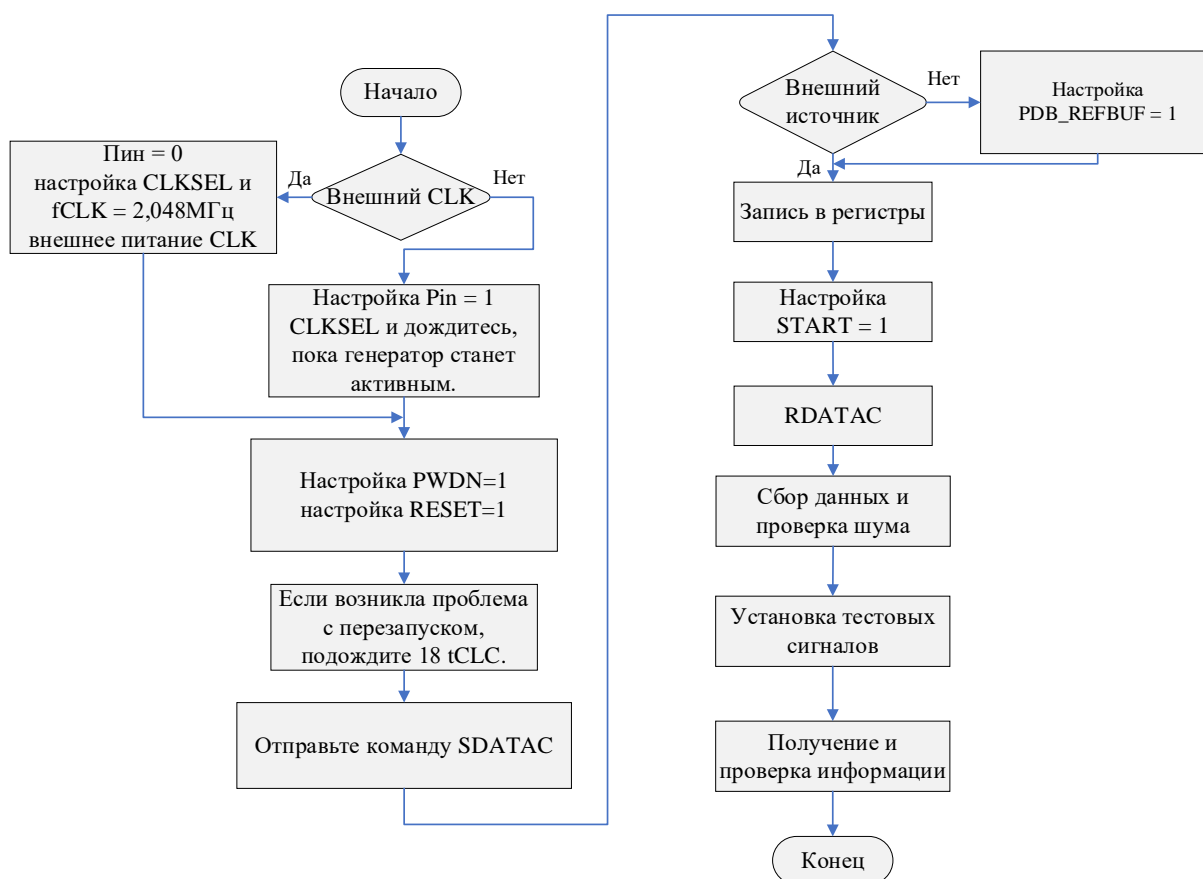
**Сравнительный анализ алгоритмов глубокого обучения и машинного обучения, применяемых для определения ИМ**

Наименование алгоритма	Скорость работы с многоканальной ЭКГ	Работа с многомерными изображениями	Потребности в выделении признаков	Точность классифицирования (%)	Количество классов	Объем информации, которой следует обучить
FNN	низкая	-	+	92,2	ограничено	мало
WT	низкая	-	+	96,56	ограничено	мало
SVM	низкая	-	+	99,1	ограничено	мало
k-NN	низкая	-	+	98,8	ограничено	мало
CNN	высокая	+	-	98,47	не ограничено	много

Вторая глава диссертации «**Проектирование функциональной структуры аппаратно-программного обеспечения и процесса обмена данными ЭКГ**» посвящена проектированию и этапам работы аппаратно-программного обеспечения ЭКГ, которое интегрировано со смартфоном на основе аналого-цифровой преобразователя, компактного и удобного для использования. В данной главе рассмотрены вопросы формирования сигналов в 12-канальном аппаратно-программном обеспечении ЭКГ, структуры данных, работы с командами, в частности, системных команд, процессов чтения данных и записи в регистре.

В исследовании использован 24-битный дельта-сигма аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Данное АЦП разработано с помощью Texas Instrument, специально спроектированного для разработки маломощных (0,75 мВт/канал), недорогих, многоканальных, специализированных медицинских аппаратно-программных комплексов. На этом АЦП происходит одновременная дискретизация всех входящих сигналов аналогового типа.

С помощью данного устройства можно измерить температуры тела, напряжения искусственного кардиостимулятора, определить отрыв электродов от тела, пользоваться цепью RLD. Скорость передачи данных достигает 250Кб/с. Аналого-цифровой преобразователь соответствует требованиям стандартов АAMI EC11, EC13, IEC60601-1, IEC60601-2-27 и IEC60601-2-51. Устройство имеет осциллятор, посредством которого можно формировать сигнал синхронизации 2048МГц. Сопряжение аппаратно-программного обеспечения ЭКГ с приложением смартфона осуществляется в формате JSON. На рис. 1 приводится алгоритм последовательной работы основной программы.



**Рис. 1. Алгоритм обмена данными между аппаратным обеспечением ЭКГ и смартфоном**

**Шаг 1.** После подключения к источнику питания, проверяется наличие или отсутствие внешней синхронизации (BC). При наличии BC мастер выбора (CLKSEL) данной синхронизации устанавливается на нулевой пин и начинает свою работу на частоте TC  $f_{clk} = 2,048$  МГц. Если же BC отсутствует CLKSEL устанавливается на первый пин и происходит деактивация внутреннего осцилятора. Данный процесс является маломощным и скорость передачи данных равна  $DR = f_{MOD} / 1024$ .

**Шаг 2.** (PWDN) и (RESET) устанавливаются как равные 1. При этом перезапуск RESET и начало работы осцилятора осуществляются с задержками.

**Шаг 3.** После запуска команды RESET для установки стандартной конфигурации регистров необходимо перейти к времени  $18 t_{clk}$ . Затем устройство активируется и начинает работу в режиме RDATAС. Это является только режимом чтения. Для возможности записи в регистр подается команда SDATAC.

**Шаг 4.** Для записи проверяется наличие или отсутствие внешнего источника. При отсутствии подается команда  $PDB\_REFBUF = 1$  и ожидается подключение внутреннего источника. При наличии внешнего источника осуществляется непосредственный переход к следующему шагу.

**Шаг 5.** Начинается процесс записи в некоторые регистры. На данном этапе устройство переходит в режим работы на высокой скорости.

**Шаг 6.** Подается команда  $START=1$  и запускается сопряжение. При отсутствии данной команды устройство не передает сигнал (DRDY) (показывающий готовность информации) и сопряжение не запускается. На этом этапе сигнал DRDY должен передаваться на частоте  $f_{clk}/4096$ .

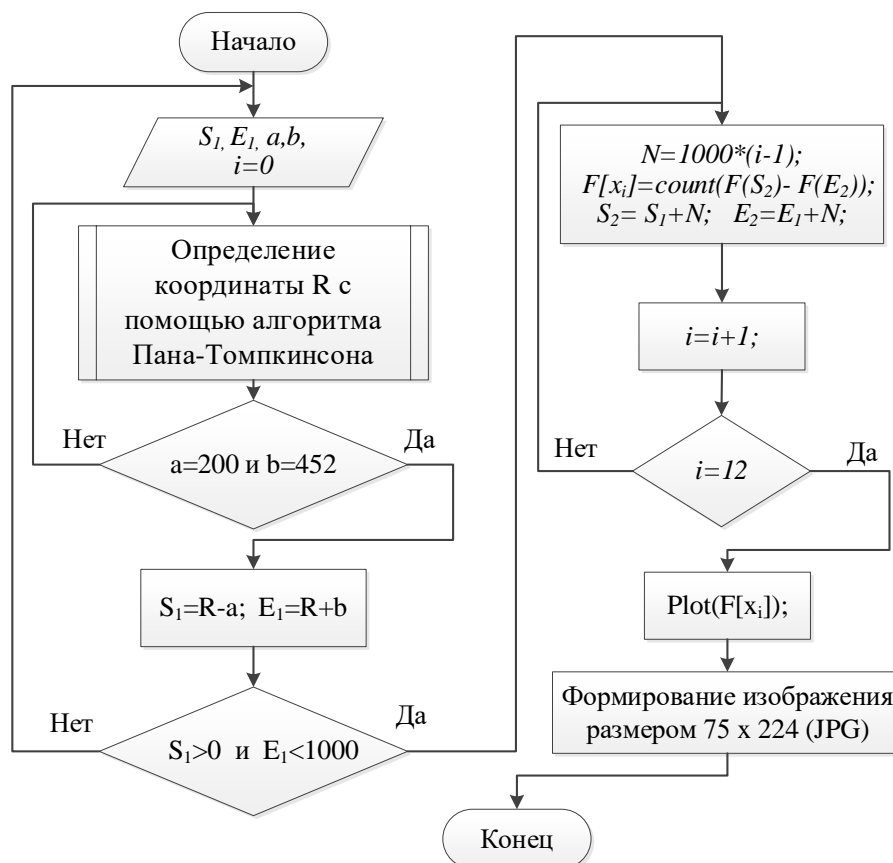
**Шаг 7.** Устройство повторно переводится в режим RDATAС.

**Шаг 8.** Осуществляется прием данных и проверяются шумы, т.е. проверяется наличие сигнала (DRDY) и данных  $24+n*24$  SCLK. Здесь  $n$  – количество активных каналов).

**Шаг 9.** Передается тестовый сигнал и активируется ( $1mV*VREF/2,4$ ).

**Шаг 10.** Осуществляется прием данных и тестового сигнала и процесс заканчивается.

В третьей главе диссертации «Алгоритмы интеллектуального анализа данных ЭКГ и диагностики инфаркта миокарда» описана разработка алгоритма диагностики и локализации ИМ на основе данных ЭКГ. В приведенном ниже рисунке 2 описан алгоритм формирования изображения, входящего в сеть CNN в составе основного алгоритма. Разработан алгоритм захвата 652 точек из 1000 дискретных значений в секунду и их сохранения в виде изображения (рис. 2). Алгоритм формирования изображения приводится на рис. 2.



**Рис. 2.** Алгоритм формирования изображения, входящего в сеть CNN

**Шаг 1.** На входе данного алгоритма вносятся сведения о  $R$ -координатах волн ЭКГ, определяемых с помощью алгоритма Пана-Томкинсона.

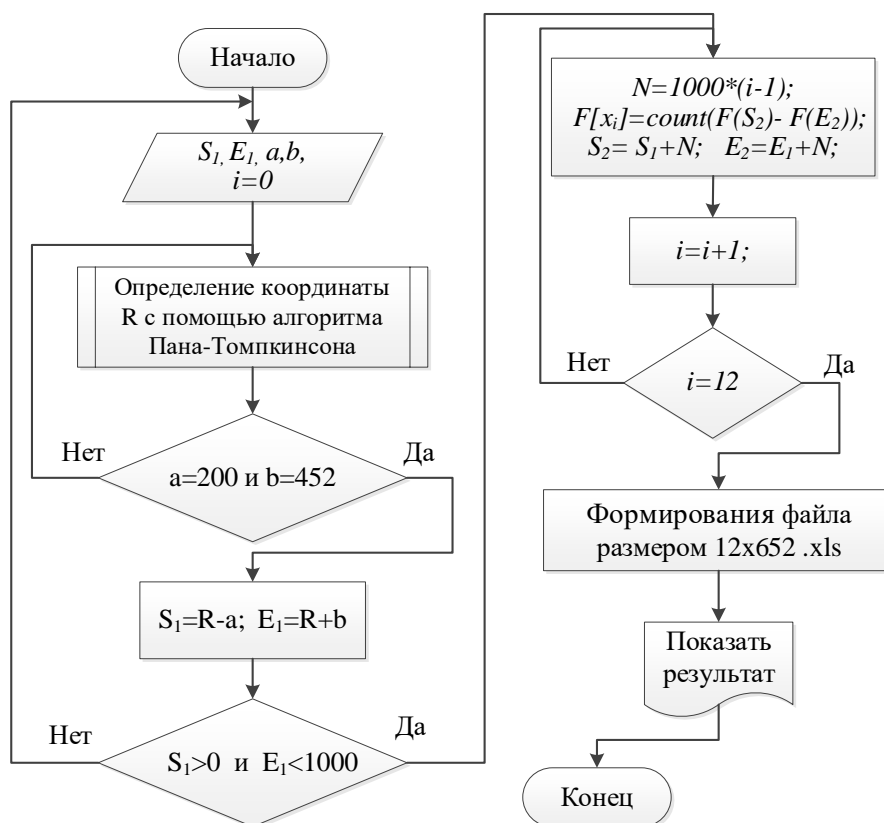
**Шаг 2.** Нахождение сигнала в промежутке между точками начала и окончания проверяется с помощью условия  $S_i > 0$ ,  $E_i < 1000$ . Если данное условие не выполняется, то для того чтобы дать другой сигнал направляется запрос и алгоритм повторяется. Если же данное условие выполняется, то осуществляется переход к следующему шагу.

**Шаг 3.** На данном этапе значения сигналов  $F(x)$  в промежутке  $S_i$  и  $E_i$  вносятся во множество  $F[i]$  и переносятся на следующий шаг алгоритма.

**Шаг 4.** Проверяется соответствие условию  $i > 12$ , если условие не выполняется процесс возвращается к предыдущему шагу.

**Шаг 5.** Значения множества  $F[i]$  отмечаются на координате  $(x, i)$ , формируется изображение формата *JPG*, процесс на этом заканчивается.

В исследовании при определении ИМ в отличие от изобразительного алгоритма значения данных 12-канальной ЭКГ в секунду сформированы в виде числовой матрицы размером 12x652. Общий алгоритм данного процесса приводится на рис. 3.



**Рис. 3. Алгоритм формирования файла .xls, входящего в сеть CNN**

**Шаг 1.** На входе данного алгоритма вносятся сведения о  $R$ -координатах волн ЭКГ, определяемых с помощью алгоритма Пана-Томпкинсона.

**Шаг 2.** Нахождение сигнала в промежутке между точками начала и окончания проверяется с помощью условия  $S_i > 0$ ,  $E_i < 1000$ . Если данное условие не выполняется, то для того чтобы дать другой сигнал направляется запрос и алгоритм повторяется. Если же данное условие выполняется, то осуществляется переход к следующему шагу.

**Шаг 3.** На данном этапе значения сигналов  $F(x)$  в промежутке  $S_i$  и  $E_i$  вносятся во множество  $F[i]$  и переносятся на следующий шаг алгоритма.

**Шаг 4.** Проверяется соответствие условию  $i > 12$ , если условие не выполняется процесс возвращается к предыдущему шагу.

**Шаг 5.** По результатам значений множества  $F[i]$  на входе в сеть CNN образуется числовая матрица формата .xls размером 12x652, процесс на этом заканчивается.

Количество нейронов вводного слоя измеряется размерами изображения, при этом матрица изображения выражается в виде  $N = a_1 \times b_1 \times c_1$ . Здесь  $a_1$  – ширина матрицы,  $b_1$  – высота матрицы и  $c_1$  – количество цветных каналов. Матрица размером  $[a_1, b_1]$  входит из вводного слоя в сверточный слой сети CNN (поскольку  $c_1 = 1$ , вводный слой мы будем считать двухмерным), в данном слое на принятые изображения влияет фильтр  $B[h, l]$ . Размеры матрицы фильтра равны  $B[h, l]$  и охватывают область  $A[h, l]$  общей матрицы.

Операция дискретной свертки между областями  $A$  и  $B$  для выражения процесса фильтрации входящей матрицы представляется следующим образом:

$$x[i, j, m] = \sum_{u=-h}^h \sum_{v=-l}^l A[i-u, j-v, k] B[u, v, m] + b_m$$

где,  $i, j$  – координата ячейки входящей карты признака,  $k$  – глубина вводного слоя (в этом случае равна 1),  $m$  – порядковый номер фильтра,  $b_m$  – коэффициент сдвига значений,  $h, l$  – размеры фильтра. В результате сдвига фильтра  $B$  по поверхности общей матрицы, применения его к каждой области  $A$  образуем матрицу  $x[a_2, b_2]$ , которая получила название матрицы карт исходных признаков. Сколько фильтров использовано в сверточном слое, столько формируется карт признаков, в результате на выходе данного слоя образуются данные в виде  $[a_2, b_2, c_2]$ .

Для обеспечения скорости, эффективности и стабильности сетей, следующей за первым сверточным слоем в сети CNN использован BN (Batch Normalization).

В слое BN в ходе обучения сети выполняются следующие операции.

а) вычисляется среднее значение и дисперсию на входе слоев, т.е.:

$$\mu_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_B)^2$$

где,  $x_i$  – данные, входящие в данный слой,  $n$  – объем данных подмножества.

б) в соответствии с ранее вычисленной статистикой подмножества вид слоев приводится в норму выражением:



$$\bar{x}_i = \frac{x_i - \mu_B}{\sqrt{\sigma_B^2 + \epsilon}}$$

с) нормализованные данные сжимаются/увеличиваются с помощью выражения (5), в результате образуется выход слоя BN.

$$y_i = \gamma \bar{x}_i + \beta$$

Здесь наряду с действительными параметрами сети изучаются  $\gamma$  и  $\beta$ , т.е. значения устанавливаются в ходе обучения.

Поскольку сверточный алгоритм является линейным, в архитектуре используется функция ReLU, которая является функцией нелинейной активизации. ReLU воздействует на все входящие элементы с помощью приведенной ниже функции и образуется выходную матрицу, т.е. все значения ниже нуля становятся нулями. Данный слой является нелинейным слоем, активизирующим параметры архитектуры CNN, не изменяет общий вид входящей матрицы, т.е.  $(a_2, b_2)$  на входе не изменяется и на выходе.

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Полностью присоединенный слой вместе с сигмоидной функцией, имеющей весовые коэффициенты и отклонения, воздействует на каждый элемент входа, на выходе получаем матрицу с размерами  $l \times l$ . Общее количество нейронов, присоединенных к данному слою равно количеству выделенных классов.

После выполнения операции по выделению изображения по его изображению в последнем слое сети CNN осуществляется классификация, которая является основной операцией. Функция Softmax вычисляет вероятность и определяет целевой класс из всех классов, т.е. при постановке задачи по выделению в сети множества классов и при определении выходных классов, в которых предполагаются выход ненормализованных результатов, используется данная функция:

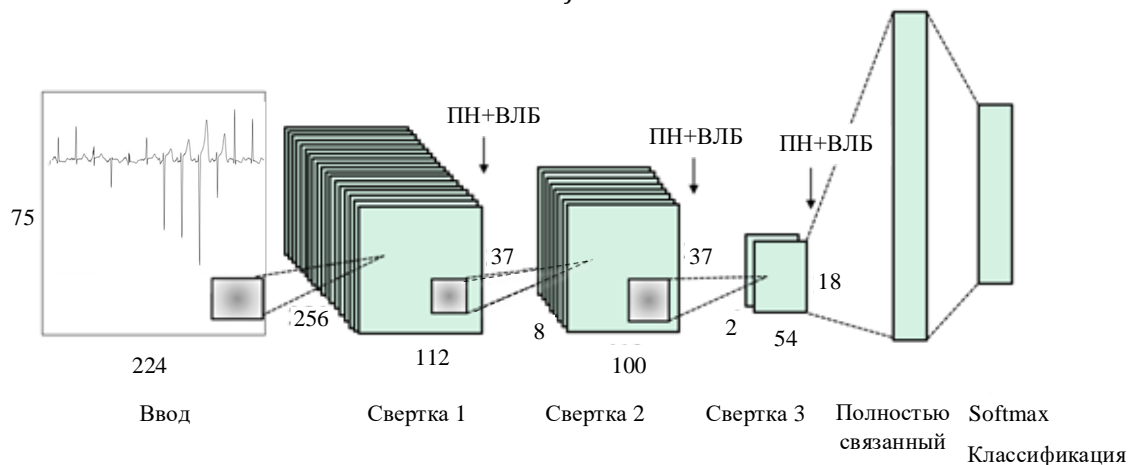
$$y_r(x) = \frac{\exp(a_r(x))}{\sum_{j=1}^k \exp(a_j(x))}$$

где,  $0 \leq y_r \leq 1$  и  $\sum_{j=1}^k y_j = 1$ . Функция Softmax берет произвольные наибольшие значения  $k$  и образует вектор значений  $k$ . Эти значения находятся в промежутке между 0 и 1. Полученные значения нормализуются по отношению к 1. Выход функции Softmax может восприниматься как вероятность классов.

В этом слое на основе функции выделяются размер и название класса, например, наряду с названием класса изображения на входе определяется вероятность принадлежности его к некоторому классу.

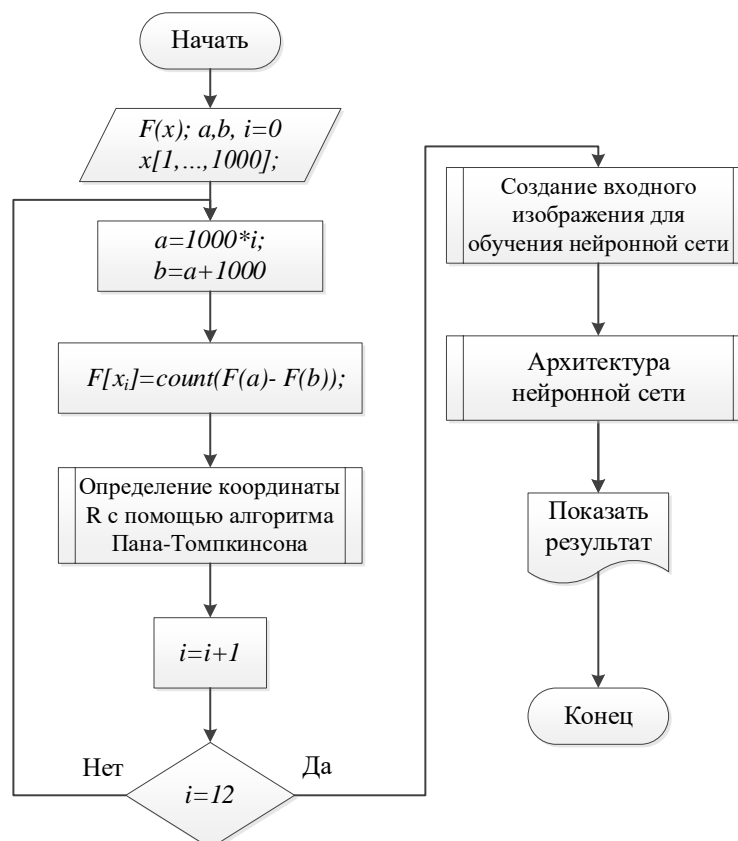
$$E(\theta) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k t_{ij} \ln y_j(x_i, \theta)$$

Здесь,  $\theta$  – вектор параметра,  $t_{ij}$  – индикатор, представляющий соотнесенность  $i$ -образца с  $j$ -классом.  $y_j(x_i, \theta)$  – выход для  $i$ -образца.



**Рис. 4. Архитектура CNN диагностирования и локализации ИМ**

На основе параметров нейронной сети и разработанного математического программного обеспечения были построены параметры и архитектура сети CNN на основе процесса диагностики и локализации ИМ, см. рис. 4.



**Рис. 5. Алгоритм диагностики и локализации ИМ**

Алгоритм диагностики и локализации ИМ был разработан на основе обучения входящего изображения размером 75x224 для обучения на CNN следующим образом:

**Шаг 1.** Данные, входящие в алгоритм, равные множеству 1000 дискретных значений и каждое сформированное множество переносится в следующий этап. Когда количество множеств достигает 12, осуществляется переход к ожиданию нового множества.

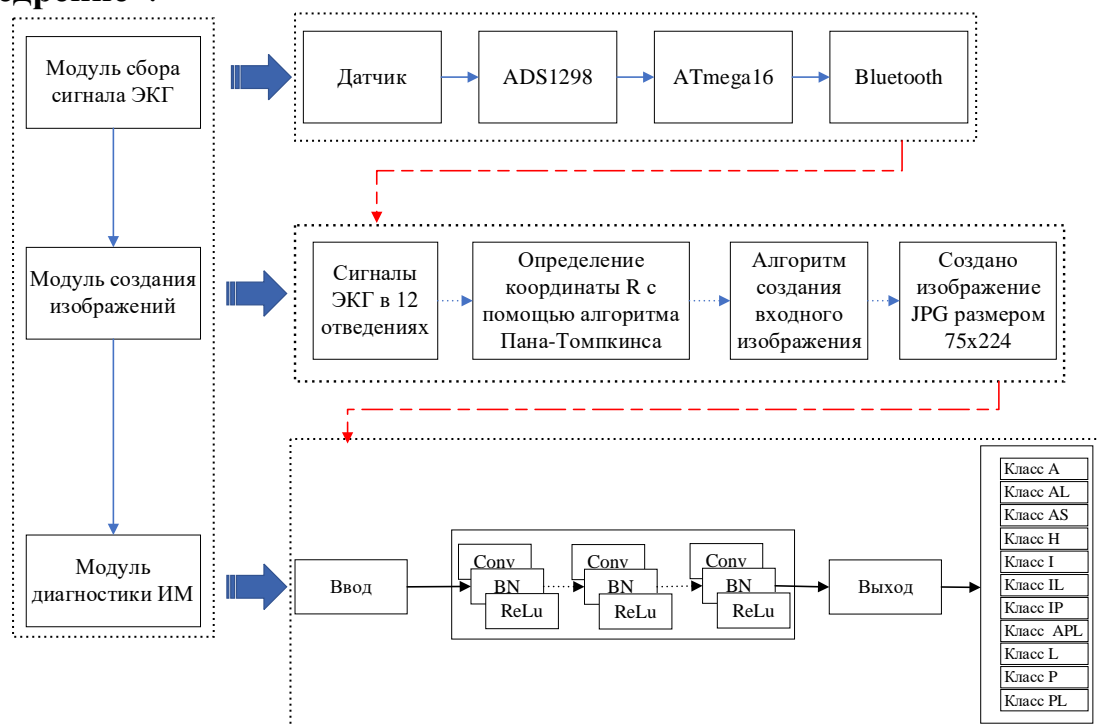
**Шаг 2.** На данном этапе для нахождения координаты  $R$  на волне ЭКГ используется алгоритм Пана-Томкинсона.

**Шаг 3.** На данном этапе посредством 12 координат  $R$ , определенных в результате алгоритма Пана-Томкинсона, из сигнала  $F(x)$  выделяются 12 строк длиной 652, которые объединяются в одну строку и отображаются на оси  $I(x)$ .

**Шаг 4.** Сформированное изображение ЭКГ обучается в разработанной сети CNN и диагностируется ИМ.

Для оценки способности разработанного алгоритма по определению ИМ вычисляются такие статистические параметры как матрица отклонений, уровень точности, чувствительности, специфичности, J-stat. В соответствии с результатами алгоритма, разработанного по итогам вычисления, точность диагностики ИМ сетью CNN составляет 98,47%.

Четвертая глава диссертации получила название «**Результаты аппаратно-программного комплекса ЭКГ для смартфона ЭКГ и их внедрение**».



**Рис. 6. Модули аппаратно-программного комплекса ЭКГ для смартфона**

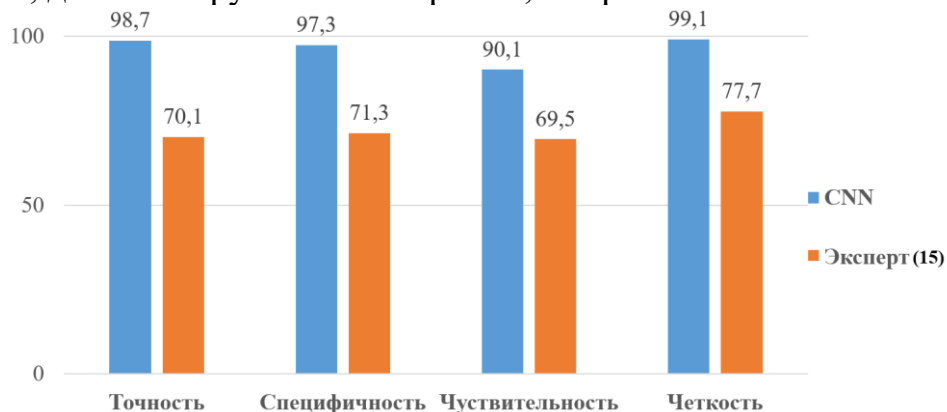
**Модуль получения сигналов ЭКГ.** Для контроля и управления аппаратным обеспечением и пакетной передачи сигналов используются микроконтроллер Atmega16 и модуль Bluetooth HC-05 соответственно.

**Модуль формирования изображения.** На основе полученных 12-канальных изображений ЭКГ (формируется 12 каналов в секунду) создается изображение, входящее в сеть CNN. При формировании

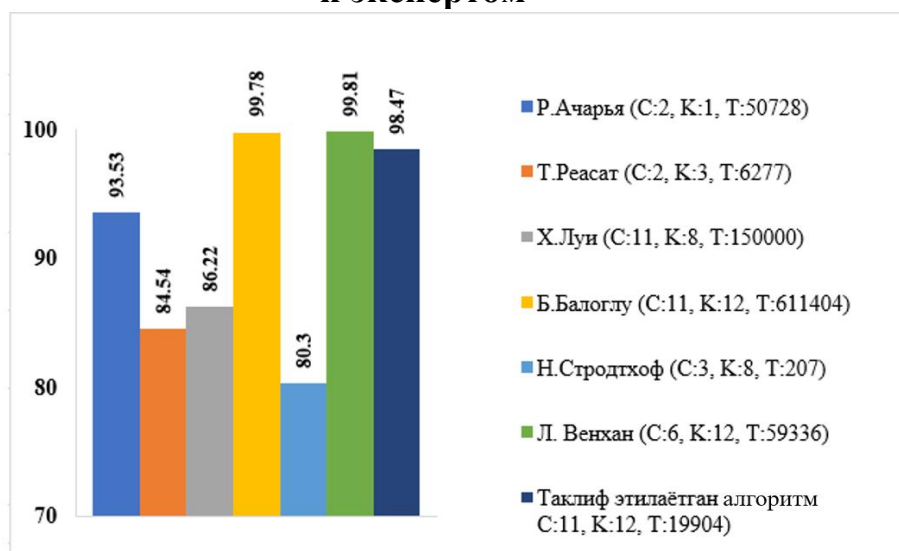
изображения, входящего в сеть CNN, в течение одной секунды определяются каждая конкретная координата  $R$  12 каналов с помощью алгоритма Пана-Томкинсона. После определения координаты  $R$ , используя алгоритм формирования изображения, входящего в сеть CNN, в одну секунду вырезается 0,652 части каждого сигнала ЭКГ и на основе 12 вырезанных изображений формируется изображение размером 75x224.

**Модуль диагностики ИМ.** На основе этого модуля изображение размером 75x224 обучается в нейронной сети и выполняет процесс диагностики и локализации ИМ.

На основе предложенной архитектуры CNN, результаты, полученные в диагностике и локализации инфаркта миокарда были проанализированы специалистами по 4-знакам с результатами предлагаемого алгоритма в обнаружении и локализации инфаркта миокарда. Анализ показывает, что точность диагностики ИМ на основе архитектуры CNN выше, чем результат, диагностируемый экспертами, см. рис. 7.



**Рис. 7. Сравнительный анализ точности диагностики ИМ сетью CNN и экспертом**



**Рис. 8. Сравнительный анализ предложенных алгоритмов по диагностике ИМ**

Для оценки значимости полученных результатов на международном уровне выполнен сравнительный анализ результатов научно-исследовательских работ (рис. 8). Как видно из графика, разработанная сеть

с относительно минимальным объемом информации позволила осуществить диагностику инфаркта миокарда с высокой точностью на основе 12-канальных данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по докторской диссертационной работе на тему «Разработка алгоритмов и аппаратно-программного комплекса для дистанционной диагностики инфаркта миокарда» приведены следующие выводы:

1. Осуществлен сравнительный анализ алгоритмов и аппаратно-программных средств дистанционного определения ИМ, актуальных вопросов дистанционной диагностики ИМ, подходов к диагностике и лечению ИМ, а также методов выявления ИМ. В результате сравнительного анализа средств определения ИМ обоснована целесообразность развития аппаратно-программного комплекса, позволяющего осуществить дистанционную диагностику ИМ за пределами медицинских центров.

2. Осуществлены классификация аппаратно-программных средств и систем, интегрированных в медицину, по дистанционной диагностике и локализации ИМ, а также сравнительный анализ интегральных чипов ЭКГ с аналоговым интерфейсом. Выполнен сравнительный анализ особенностей АЦП в процессе проектирования аппаратного обеспечения ЭКГ. Учитывались возможности проектирования предложенного компактного и недорогого аппарата ЭКГ. В результате анализа появилась возможность проектирования аппаратно-программного обеспечения стандартного ЭКГ, интегрированной смартфоном, обладающего компактностью и мобильностью.

3. Изучены особенности изображений ЭКГ для обучения в нейронных сетях, предложенной для диагностики и локализации ИМ на основе изображения, и рассмотрены обучения с помощью числовой матрицы. В результате этого появилась возможность разработки алгоритма формирования вводного изображения, соответствующего вводному слою нейронной сети и обеспечивающего высокий уровень точности диагностики.

4. Разработан алгоритм формирования данных, входящих в нейронные сети, с использованием базы данных на основе сформированных данных обучения. Разработан интеллектуальный алгоритм корректного определения классов в зависимости от локализации ИМ и выявления наличия ИМ на основе полученных данных.

5. В результате разработанных данных обучения и интеллектуальных алгоритмов осуществлен сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения, предоставляющих возможность диагностики и локализации ИМ на основе данных ЭКГ. Определен алгоритм CNN глубокого обучения, позволяющего решить поставленные задачи. В результате анализа

появилась возможность разработки архитектуры CNN по диагностике и локализации ИМ на основе изображений ЭКГ.

6. При анализе возможностей разработки приложения ЭКГ для смартфона и интеграции с аппаратно-программным обеспечением появились возможности определения аппаратно-программных модулей, их составных частей, осуществляемых операций аппаратно-программных комплексов ЭКГ для смартфонов.

7. Исследованы модули, составные части аппаратно-программного комплекса ЭКГ для смартфонов, и процессы их использования, а также разработан алгоритм обмена информацией между аппаратом ЭКГ и приложением для смартфонов. В результате разработки аппаратно-программного комплекса ЭКГ для смартфона появилась возможность дистанционной диагностики и локализации ИМ на основе изображений ЭКГ.

8. Разработаны аппаратные и программные требования к использованию разработанного аппаратно-программного комплекса ЭКГ для смартфонов. Учитывая, что система состоит из двух частей, разработаны требования к аппаратному и программному обеспечению, как для пользователя, так и для пользования приложения ЭКГ для смартфонов. Разработка этих требований позволила устранить проблемы и погрешности, возникновение которых возможны в результате использования программного средства.

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

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**NASIMOV RASHID HAMID OGLI**

**DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND HARDWARE-SOFTWARE  
COMPLEX FOR REMOTE DIAGNOSIS OF MYOCARDIAL  
INFARCTION**

05.01.04 – Mathematical and software 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 B2020.2.PhD/T1564.**

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:** **Muminov Bakhodir Boltaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Docent

**Official opponents:** **Zaynidinov Khakim Nasridinovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Khujaev Otabek Kadambaevich**  
PhD

**Leading organization:** **Tashkent State Transport University**

The defense will take place “\_\_\_\_\_” “\_\_\_\_\_” 2021y. at \_\_\_\_\_ in 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. \_\_\_\_\_). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2021 y.  
(Dispatching protocol No. \_\_\_\_\_ on “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 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  
Scientific Council Awarding Scientific Degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor



## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research** is to develop algorithms and software-hardware complex for remote diagnosis of myocardial infarction based on neural networks.

**The object of the research** is signals, images and training data of electrocardiography.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

developed hardware and software for electrocardiography using analog-to-digital converter ADS1298 and data exchange algorithm with a smartphone;

an algorithm for generating an image in JPG format with a size of 75x224 has been developed, which can be inputted into the neural network, taking into account the electrocardiogram signals;

the network architecture of CNN was built for diagnostics and localization of myocardial infarction taking into account the parameters of the neural network and software;

an algorithm for the diagnosis and localization of myocardial infarction was developed using the image format 75x224, neural network parameters and mathematical software.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on the generating of electrocardiogram images for remote diagnosis of myocardial infarction, the algorithm for diagnosing and localization of myocardial infarction and the hardware-software complex of smartphone electrocardiography:

hardware-software of smartphone electrocardiography, developed as a result of the integration of hardware and software electrocardiography, which was designed on the basis of ADS1298, with a smartphone application, introduced into the activities of the medical association «Family Polyclinic No. 57» of the medical association of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan (reference from the Ministry on the development of information technology and communications dated November 24, 2020 No. 33-8 / 7052). The results of a scientific study obtained during the use of the hardware and software electrocardiography for a smartphone by cardiologists on duty outside of medical centers made it possible to reduce the time of obtaining electrocardiogram data by 1.8 times, as well as 0.6 times spent by organizing remote work;

an ECG image formation algorithm and a software tool based on an data mining algorithm based on neural networks for diagnosing myocardial infarction have been introduced into the activities of the private clinic «Tib Kelajagi» (reference of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications dated November 24, 2020, No. 33-8 / 7052). The results of the scientific study made it possible to reduce by 1.7 times the time for determining the signs of myocardial infarction and accurate diagnosis of myocardial infarction without the participation of doctors, and to increase the effectiveness of providing the necessary therapy by 1.5 times.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, bibliography and appendices. The volume of the thesis is 112 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Насимов Р.Ҳ., Насимова Н.М., Жўраева Г.А. Кардиограммани масофадан мониторинг қилиш тизимини ишлаб чиқиш // «ТАТУ Хабарлари» илмий-техник журнали. –Тошкент, 2018. №3 (47). –Б. 14-29. (05.00.00; №31).

2. Насимов Р.Ҳ., Шукуров К.Э., Жўраева Г.А. Кардио-мониторинг тизими учун аппарат-дастурий таъминотни ишлаб чиқиш // «Муҳаммад Ал-хоразмий авлодлари» илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. –Тошкент, 2019. №1(7). –Б.27-29. (05.00.00; №10).

3. Мўминов Б.Б., Насимов Р.Ҳ., Насимова Н.М., Гадойбоева Н.С. Нейрон тармоғида ЭКГ сигналларини таснифлашда тасвир форматининг таъсири // «ТАТУ Хабарлари» илмий-техник журнали. –Тошкент, 2019. №3 (51). –Б. 2-18. (05.00.00; №31)

4. Мўминов Б.Б., Насимов Р.Ҳ., Хужаяров И.Ш., Гадойбоева Н.С. Сўний нейрон тармоқлари асосида миокард инфарктни таснифлаш ва жойлашув ўрнини аниқлаш // «ТАТУ Хабарлари» илмий-техник журнали. – Тошкент, 2019. №4 (52). –Б. 13-29. (05.00.00; №31).

5. Muminov B., Nasimov R., Gadoybayerova N., Mirzahalilov S. Estimation effects of formats and resizing process to the accuracy of convolutional neural network // International Conference on «Information Science and Communications Technologies (ICISCT)». –Tashkent, 2019. –P. 1-5. (ОАК раёсатининг қарори 30.09.2019, №269/8).

6. Мўминов Б.Б., Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С., Мирзахалилов С.С. Электрокардиограммага асосан кардиомиопатиядан миокард инфарктни автоматик фарқлаш алгоритми // «ТАТУ Хабарлари» илмий-техник журнали. –Тошкент, 2020. №1(53). –Б. 26-39. (05.00.00; №31).

7. Насимов Р.Ҳ. 12-каналли электрокардиография курилма таъминоти // «Муҳаммад Ал-Хоразмий авлодлари» илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал. –Тошкент, 2020. –Б.19-23 (05.00.00; №10).

8. Nasimov R., Muminov B., Mirzahalilov S., Nasimova N. A New approach to classifying myocardial infarction and cardiomyopathy using deep learning // «International Conference on Information Science and Communications Technologies ICISCT 2020 Applications, Trends and Opportunities». –Tashkent, 2020. 5p. (ОАК раёсатининг қарори 30.10.2020, №287/9).

**II бўлим (II часть; II part)**

9. Насимов Р.Ҳ., Жўраева Г.А. Интеллектуал уй муҳитида узоқлаштирилган медицина хизматларига қўйиладиган талаблар // «Ёш

олимлар тадқиқотларида инновацион ғоялар ва технологияларнинг ўрни». – Тошкент, 2018. –Б. 41-44.

10. Насимов Р.Ҳ., Абдурашидова К.А. Мониторинг функциональных изменений сердечно сосудистой системы в режиме реального времени // «Интернаука научный» журнал. –Москва, 2019. Часть 1, №9(91). 2019, –С. 9-12.

11. Nasimov R.H., Nasimova N.M., Jo'rayeva G.A. Yurakni doimiy nazorat qilish qurilmalari uchun yangi algoritmni ishlab chiqish // «Таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграциясида инновацион технологияларни қўллаш - мамлакат тараққиётининг муҳим омили» мавзусидаги XV Республика илмий амалий конференция материаллари, VI қисм. –Самарқанд, 2018. –Б. 95-97.

12. Nasimov R.H., Gadoyboyeva N.S. Abduqodirov Sh.A. Zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanib yurak funksional o'zgarishlarini monitoring qiluvchi mobil EKG qurilmasini O'zbekistonda qo'llash masalalari // «Фаол инвестицион муҳитини шакллантиришда таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграциясининг долзарб муаммолари» мавзусидаги XVI Республика илмий амалий конференция материаллари, III қисм. –Самарқанд, 2018. –Б. 90-91.

13. Насимов Р.Ҳ., Урозметов Х.Р. Мобил ЭКГ тизимларининг таҳлили // «Иқтисодийнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. –Тошкент, 2019. –Б. 421-423.

14. Мўминов Б.Б., Насимов Р.Ҳ. Билимлар базасини куриш моделлари // «Иқтисодийнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, 1-қисм. –Тошкент, 2019. –Б. 394-397.

15. Nasimov R.H., Shukurov K.E., Zohirov Q.R., Gadoyboyeva N.S. Effects of ECG image preprocessing on the classification accuracy of convolution neural network // «Science-Technology-Education-Mathematics-Medicine». – Tashkent, 2019. –P. 175-177.

16. Насимов Р.Ҳ. ЭКГ сигналларининг классификация қилишда маълумотлар базасидаги расм форматларининг таҳлили // «Ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш шароитида инновациялар» Республика илмий-амалий анжуман маърузалар тўплами. –Қарши, 2019. – Б. 554-555.

17. Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С. Смартфонга асосланган ЭКГ ва билимлар базасининг архитектурасини ишлаб чиқишни таҳлил қилиш // «Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами, III қисм. –Фарғона, 2019. –Б.47-49.

18. Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С. Тиббиётда ўрнатилган тизимларнинг аҳамияти // «Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида

ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. –Нукус, 2019. –Б. 107-109.

19. Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С., Абдуқодиров Ш.А. Миокард инфарктни аниқлаш учун CNN архитектураси // «XXI асрда илм-фан тараққиётининг ривожланиш истиқболлари ва уларда инновацияларнинг тутган ўрни» мавзусидаги Республика илмий 8-онлайн конференцияси материаллари. –Тошкент, 2019. –Б. 39-40.

20. Мўминов Б.Б., Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С. Электрокардиограммага асосан миокард инфарктни ва кардиомиопатияни автоматик фарқлаш // «Иқтисодийнинг тармоқларини инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти» Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами. –Тошкент, 2020. –Б. 4-6

21. Насимов Р.Ҳ., Мирзахалилов С.С., Гадойбоева Н.С. Миокард инфаркт ва кардиомиопатияни фарқловчи сунъий онг архитектураси // «Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратиш» мавзусидаги профессор-ўқитувчилар ва талабаларнинг XV илмий амалий конференцияси. –Самарқанд, 2020. –Б. 137-140.

22. Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С. Қўп каналли ЭКГ қурилмаси учун аналог-рақамли ўзгартиргич қурилмасига қўйиладиган талаблар // «Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги – озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами. –Тошкент, 2020. –Б. 421-422.

23. Насимов Р.Ҳ., Гадойбоева Н.С. Миокард инфарктнинг жойлашув ўрнини аниқлашнинг интеллектуал алгоритмлари // «Ўзбекистонда илмий-амалий татқиқотлар» мавзусидаги Республика конференцияси материаллари. –Тошкент, 2020. –Б.181-182.

24. Muminov B., Nasimov R. and others Localization and classification of myocardial infarction based on artificial neural network // «2020 Information Communication Technologies Conference (ICTC)». –Nanjing, 2020. –P. 245-249.

25. Nasimov R., Muminov B., Mirzahalilov S., Nasimova N. Algorithm of Automatic Differentiation of Myocardial Infarction from Cardiomyopathy based on Electrocardiogram // «14th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT2020» –Tashkent, 2020. 5p.

26. Шукуров К.Э., Насимов Р.Ҳ., Зоҳиров Қ.Р., Усманходжаева А.А. Реал вақт режимида юрак-қон тизимининг функционал кўрсаткичларини мониторинг қилувчи дастур // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 06433. 01.04.2019.

27. Насимов Р.Ҳ., Шукуров К.Э., Хасанов У.К., Зоҳиров Қ.Р., Усманходжаева А.А., Гадоӣбоева Н.С., Раҳматов Ф.А. Юракнинг уриши ритми ва беморнинг фотоплетизмографиясини рўйхатга олувчи дастур // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 07279. 23.10.2019.

28. Насимов Р.Ҳ., Мирзахалилов С.С., Сайфуллаева Н.А., Мухаммадиев М.М., Гадоӣбоева Н.С. Кўпканалли симсиз ЭКГ қурилмаси // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'rkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 08866. 24.08.2020.

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