

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.T.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШОДИЕВ МАЪРУФЖОН КОБУЛЖОНОВИЧ

**УЗЛУКСИЗ ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШ
УЧУН ВИРТУАЛ АНАЛИЗАТОРЛАРНИ ҚУРИШ ВА ЯРАТИШ
КОНЦЕПЦИЯСИ**

05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент–2019

**Фалсафа доктори (Phd)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD)**

**Contents of dissertation abstract of
doctor of philosophy (PhD)**

Шодиев Маъруфжон Кобулжонович

Узлуксиз технологик жараёнларни назорат қилиш учун виртуал
анализаторларни куриш ва яратиш концепцияси.....3

Шодиев Маъруфжон Кобулжонович

Концепция построения и создания виртуальных анализаторов для контроля
непрерывных технологических процессов.....21

Shodiev Marufjon Kobuljonovich

The concept of building and creating virtual analyzers for monitoring continuous
technological processes39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ШОДИЕВ МАЪРУФЖОН КОБУЛЖОНОВИЧ

**УЗЛУКСИЗ ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИ НАЗОРAT ҚИЛИШ
УЧУН ВИРТУАЛ АНАЛИЗАТОРЛАРНИ ҚУРИШ ВА ЯРАТИШ
КОНЦЕПЦИЯСИ**

05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (техника фанлари)

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент–2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.4.PhD/Т342 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

| | |
|----------------------------|--|
| Илмий раҳбар: | Юсупбеков Азизбек Нодирбекович техника фанлари доктори, профессор |
| Расмий оппонентлар: | Матякубова Парахат Майлиевна техника фанлари доктори, профессор Юнусов Исмаи Инагамович техника фанлари номзоди, доцент |
| Етакчи ташкилот: | Навоий давлат кончилик институти |

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашининг 2019 йил «__» _____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел./факс: (99871) 246-46-00; (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz.)

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (____ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41.)

Диссертация автореферати 2019 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2019 йил «__» _____ даги ____ - рақамли реестр баённомаси)

Н.Р. Юсупбеков,
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш, раиси,
т.ф.д., профессор, академик

У.Ф.Мамиров,
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Х.З. Игамбердиев,
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги вақтларда маҳсулот сифатини назорат қилиш, жумладан, энг кам энергия, хомашё ва вақт сарфи билан юқори сифатли маҳсулот ишлаб чиқаришдаги сифатни назорат қилиш ва ўлчаш техникасини яратиш ҳамда такомиллаштиришга қилишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бугунги кунда кимё, нефт-кимё, озиқ-овқат саноатида маҳсулот сифатини виртуал таҳлил қилиш етакчи ўринга кўтарилмоқда. Бу борада, ривожланган мамлакатларда маҳсулот сифатини назорат қилишда математик аппаратлар асосида махсус дастурий таъминот орқали виртуал таҳлил тизимларини амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда технологик жараёнларни назорат қилиш тизимларини такомиллаштириш, талаб этилган энергиявий самарадорликни ва маҳсулотларнинг юқори сифатини таъминлашга йўналтирилган илмий тадқиқотлар амалга оширилмоқда. Бу борада, жумладан, маҳсулотларнинг сифат кўрсаткичларини тезкор таҳлил қилиш тизимларини яратиш, сифат кўрсаткичларини тавсифловчи моделларни олиш, маҳсулот сифатини назорат қилувчи виртуал анализаторларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Республикамизда бугунги кунда саноатга инновацион технологияларни жорий этиш, ярим тайёр ва тайёр маҳсулотлар сифатининг юқори самарали назорат тизимларини амалга оширишга катта эътибор қаратилиб, жумладан, якуний маҳсулот сифати виртуал анализаторларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «...сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, технологик жараёнлар ва улардаги маҳсулот сифатини назорат қилиш учун виртуал анализаторларни яратиш муаммоларининг самарали ечимларини берадиган концепцияни ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ҳамда 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «Қайта тикланадиган энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт ва ижтимоий соҳада энергия самарадорликни ошириш чоратадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чоратадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони

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. Жаҳон миқёсида илмий тадқиқотлар натижасида виртуал анализаторлар ишлаб чиқиш концепциясини ривожлантиришга: Emerson (АҚШ), Honeywell (АҚШ), Yokogawa (Япония) «ОПТИМУМ» илмий-ишлаб чиқариш компанияси (Россия), Н.Э.Бауман номидаги МДТУ, Губкин номидаги Россия давлат нефть ва газ университети (Россия), Киев автоматика институти (Украина) каби етакчи илмий марказлар ва олий таълим муассасалари ҳамда D.N.Saraf, N.Wolf, P.Angelov, L.Fortuna, P.Kadlec, M.Kano, O.C.Кожинский, P.A.Аузан, Г.М.Бакан, Т.И.Кописицкий, Н.Н.Бахтадзе, А.П.Веревкин, А.Г.Шумихин, А.А.Мусаев ва бошқа хорижий олимлар ҳисса қўшишган.

Мамлакатимизда технологик жараёнлар ҳамда маҳсулотлар сифатини назорат қилиш учун виртуал анализаторлар яратишнинг илмий муаммоларини ечишга мамлакатимиз олимларидан Н.Р.Юсупбеков, Т.Ф.Бекмуратов, Т.Д.Раджабов, О.Ш.Хакимов, Ш.М.Гулямов, Р.К.Азимов, Ю.Г.Шипулин, А.Н.Юсупбеков ва бошқалар ўзларининг ҳиссаларини қўшишган.

Мазкур диссертация тадқиқоти тақдим этилаётган соҳага оид адабиётлар шарҳи замонавий ахборот-коммуникация технологиялари ва сунъий интеллект усулларини қўллаган ҳолда саноатнинг якуний маҳсулотлари сифатининг виртуал анализаторларини яратиш ва қўлланилиш соҳасини кенгайтиришнинг асосланган истиқболли концепциясини яратишни зарурияти ва мақсадга мувофиқлигидан дарак беради.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг ОТ-Ф7-88 - «Тоза маҳсулотлар олишнинг мураккаб кимёвий технологик тизимлари энергия ва ресурстежамкор иссиқлик-масса алмашилиш жараёнларининг назарий асосларини такомиллаштириш» (2017-2020) мавзули фундаментал лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни назорат қилиш ва такомиллаштирилган бошқаришга мўлжалланган замонавий виртуал анализаторларни қўллашнинг муаммоли масалаларига самарали ечим берадиган концепцияни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ишончли ва адаптив виртуал анализаторлар яратиш концепциясини ишлаб чиқиш;

виртуал анализаторни ишлаб чиқиш ва амалга оширишнинг мавжуд усулларини танқидий таҳлил қилиш ва уларни такомиллаштириш ва ривожлантириш тенденцияларини аниқлаш;

виртуал таҳлил ва синтез учун маълумотлар ва билимларни моделлаштириш ва маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш, қайта ишлаш;

виртуал анализаторларни ишлаб чиқиш учун машинали ўқитиш усуллари ва инструментларини ишлаб чиқиш;

виртуал анализаторларни адаптивлаш усуллари таҳлил қилиш;

виртуал анализаторларни ўз-ўзини такомиллаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти технологик жараёнларни такомиллаштирилган бошқариш тизимлари таркибидаги маҳсулот сифатини назорат қилувчи виртуал анализаторлар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети узлуксиз технологик жараёнларнинг назорат қилинмайдиган ёки кам ўлчанадиган параметрларини, шунингдек ишлаб чиқарилаётган маҳсулотларнинг сифат кўрсаткичларини виртуал таҳлил қилиш усуллари ва виртуал анализаторларни яратиш концепциясини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, моделлаштириш назарияси, хусусан, нейро-ноаниқ моделлаштириш, башоратловчи моделларни олишда сунъий нейрон тармоқларини қўллаш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ўлчанмайдиган, қийин ёки паст частота билан ўлчанадиган параметрларни, жумладан маҳсулот сифатини баҳолаш учун таркибида виртуал анализаторлари бўлган такомиллаштирилган илғор бошқариш тизими синтезланган;

юқори мослашувчанликка эга виртуал анализаторлар қуриш концепцияси ишлаб чиқилган;

сифатнинг виртуал анализаторларини қуриш ва яратишнинг ташқи ғалаёнлар ўзгаришига мослашувчанлигини таъминловчи концепция ишлаб чиқилган;

ташқи ғалаёнларга турғун бўлган виртуал анализаторларни қуриш концепцияси ишлаб чиқилган;

технологик жараёнларни назорат қилишнинг виртуал анализаторларини адаптациялаш алгоритми ишлаб чиқилган;

виртуал анализаторларнинг фаолият кўрсатиш муддатини узайтириш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

виртуал анализаторларни ишлаб чиқишда маълумотларга дастлабки ишлов бериш босқичида маълумотлардаги шовқин ва улоқишларни бартараф этиш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

маълумотларга дастлабки ишлов беришда намуналар олиш частоталаридаги ўзаро номосликни синхронлаш орқали бартараф этиш амалга оширилган;

виртуал анализаторнинг моделини идентификациялаш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги назарий асосланган концепциялар ва математик моделлаштиришнинг замонавий усулларидан фойдаланиб, ўтказилган имитацион моделлаштириш ва экспериментал тажриба натижаларининг мувофиқлиги, шунингдек ишлаб чиқилган виртуал анализаторлар ва лаборатория таҳлили натижаларининг ўзаро монандлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти виртуал анализаторларни ишлаб чиқишда технологик жараёнлар ҳақидаги априор билимлардан фойдаланган ҳолда ҳисоблаш техникаси ва сунъий нейрон тармоғини қўллаш орқали адаптив башорат қилувчи моделларнинг олиниши ва шу моделлар асосида ишлаб чиқилган виртуал анализаторларининг натижаларини оқим анализаторлари ва лаборатория натижаларига нисбатан тезкорлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кимё, нефткимё ва озиқ-овқат саноатларидаги узлуксиз технологик жараёнларни назорат қилиш учун виртуал анализаторларни қуришда ансамбл усулларини қўллаб, кўп модели виртуал анализаторларни қуриш, ансамблдаги моделлар башоратларини комбинациялаш ва бирлаштириш орқали виртуал анализатор башоратлари аниқлигини оширилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ишлаб чиқариш ва технологик жараёнларни такомиллаштирилган бошқариш тизими таркибидаги виртуал анализаторларни қуриш ва яратиш концепциясини ишлаб чиқишга бағишланган илмий тадқиқот ишлари натижалари асосида:

сифатнинг виртуал анализаторларини қуриш ва яратишнинг ташқи ғалаёнлар ўзгаришига мослашувчанлигини таъминловчи концепция «ОНИКС–Тошкент» МЧЖ да жорий қилинган («О‘zAvtosanoat» АЖнинг 2019 йил 6 ноябрдаги 09/03-25-2524-сон маълумотномаси). Натижада ишлаб чиқарилаётган тайёр маҳсулот сифатини ошириш имконини берган ва яроқсиз маҳсулот чиқиши камайган;

ташқи ғалаёнларга турғун бўлган виртуал анализаторларни қуриш концепцияси «ОНИКС–Тошкент» МЧЖ да жорий қилинган («О‘zAvtosanoat» АЖнинг 2019 йил 6 ноябрдаги 09/03-25-2524-сон маълумотномаси). Натижада тайёр маҳсулот сифатини башорат қилиш имкони яратилган;

технологик жараёнларни назорат қилишнинг виртуал анализаторларини адаптациялаш алгоритми «ОНИКС–Тошкент» МЧЖда шиша ишлаб чиқариш жараёнига жорий қилинган («О‘zAvtosanoat» АЖнинг 2019 йил 6 ноябрдаги 09/03-25-2524-сон маълумотномаси). Натижада тайёр маҳсулот сифатини таҳлил қилувчи виртуал анализаторни хизмат кўрсатиш муддатини узайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 1 та республика миқёсидаги илмий-техник анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 14 та илмий иш, жумладан, ЎЗР ОАК эътироф этган илмий журналларда 8 та мақола, шундан 2 таси хорижда чоп этилган, ЭХМ учун

дастурларни қайд этилганлиги тўғрисида 3 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 126 бетни ташкил этиб, унда 34 та расм ва 6 та жадваллар келтирилган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Виртуал анализаторларни ишлаб чиқариш sanoатида қўлланилиш истиқболлари ва муаммолари**» номли биринчи бобида виртуал анализаторларга бағишланган илмий-тадқиқот ишларининг қисқача шарҳи келтирилган.

Ишлаб чиқариш sanoатидаги корхоналарнинг катта ҳажмдаги ўлчаш воситалари ва бошқариш тизимини компьютерлаштирилиши жуда кўп маълумотларни ёзиб олиш ва сақлаш заруриятига олиб келмоқда. Ушбу маълумотлар ҳозирда корхоналарнинг бошқариш ва назорат қилиш тизимларини қуйи сатҳида эканлигига қарамай, маълумотларда мавжуд бўлган яширин ахборот дастурлардан ташқарида қолмоқда. Бироқ, бу яширин маълумотларга эришиш етарлича машаққатли ва унга эришиш учун илғор воситаларни талаб қилади, бундай воситалардан бири тадқиқотнинг марказий мавзуси бўлган виртуал анализаторлардир. Виртуал анализаторларни нисбатан кичик харажатлар билан яратиш ва улардан фойдаланишда уларнинг янги авлоди амалий устунликка эга, чунки уларни ишлаб чиқиш учун зарур бўлган маълумотлар ва усуллар бугунги кунга келиб мавжуддир.

Ишлаб чиқариш корхоналари одатда жуда кўп сонли датчиклар билан жиҳозланади. Датчикларнинг асосий мақсади жараёнларни назорат қилиш ва бошқариш учун маълумотларни етказиб беришдир. Аммо, йигирма йиллар мукаддам тадқиқотчилар ушбу маълумотларга асосланган башоратловчи моделларни яратиш орқали ишлаб чиқаришда ўлчанадиган ва сақланадиган катта ҳажмдаги маълумотлардан виртуал анализаторлар деб аталадиган башоратловчи моделларни яратиб, улардан фойдаланишни бошладилар. Виртуал анализаторларни оддий башоратловчи моделлар сифатида кўриш мумкин, улар мавжуд маълумотлар тўплами билан ўқитилиб, сўнгра кирувчи маълумотни башоратлаш учун фойдаланилади.

Бироқ, аслида уларни ишлаб чиқиш, ишчи ҳолатини таъминлаш ва такомиллаштириш ишлаб чиқариш жараёнининг ўзига хос томонларини ва

виртуал анализаторларни яратишга таъсирини ҳисобга олишни тақозо қиладиган мураккаб масаладир.

Ишлаб чиқариш корхоналари технологик жараёнлар ва ишлаб чиқариладиган якуний маҳсулотлар сифатини тавсифлайдиган параметрларни мужассамловчи катта ҳажмдаги маълумотлар билан боғлиқ. Жараённи тавсифловчи маълумотларнинг хусусиятларини аниқлаш алоҳида аҳамият касб этади, чунки маълумотларга асосланган эмпирик виртуал анализаторларнинг фаолияти шу маълумотларга асосланади. Ишда турли виртуал анализаторлар ва уларнинг қўлланилиш соҳалари тақдим қилинган.

Ишлаб чиқариш саноатида ҳозирги кунда виртуал анализаторлар қуриш технологияларининг замонавий методологик асослари келтирилган. Замонавий виртуал таҳлилнинг энг кенг қўлланиладиган усуллари, янада ривожлантириш ва такомиллаштириш тенденциялари аниқланган.

Диссертациянинг «**Виртуал анализаторларнинг машинали ўқитиш истиқболлари**» номли иккинчи боби виртуал анализаторларни машинали ўқитиш нуқтаи-назаридан ишлаб чиқиш, шунингдек виртуал анализаторларни яратишда ноаниқ тўпламлар назариясини қўллашга бағишланган. Машинали ўқитиш виртуал анализаторларни ишлаб чиқиш ва уларга автоматлаштирилган хизмат кўрсатиш учун ишлатилиши мумкин бўлган инструментларни таъминлайди. Машинали ўқитиш усуллари ёрдамида ишлаб чиқиладиган виртуал анализаторлар тадқиқ қилинаётган технологик жараённинг ҳолати ва якуний маҳсулот сифатини тезкор башоратлашга хизмат қилади.

Назорат остига олинадиган ўқитишнинг зарурий шarti – $S^{\text{ўқит}}$ ўқитиш маълумотлари тўпламига эга бўлиш ҳисобланиб, одатда у ишлаб чиқариш саноатида технологик жараёнларни автоматлаштирилган бошқариш тизимларининг ахборот тизимидан олинади ва сақланган маълумотлардан иборат бўлади. Ушбу маълумотлар тўплами қуйидаги хусусиятларга эга:

$$S^{\text{ўқит}} = \left\{ \left(X^{\text{ўқит}}, Y^{\text{ўқит}} \right) \right\}; \quad (1)$$

бу ерда $X^{\text{ўқит}} = (x_1, \dots, x_n)^T$; $Y^{\text{ўқит}} = (y_1, \dots, y_n)^T$, $X^{\text{ўқит}} \in R^{m \times n}$ – матрицада ташкил этилган n кириш намуналари, ҳар бир сатр вектори x_i битта кириш намунасини акс эттиради, улар ўлчаш ўзгарувчиларидан иборат, яъни $x_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,m})$.

Ҳар бир x_i кириш намунаси m ўлчовли X кириш майдонида нуқта сифатида талқин қилинган. Умуман олганда, ҳар бир кириш намунаси учун $y_i \in R^q$ берилган q ўлчовли мақсадли қиймат мавжуд. Ушбу ишда виртуал таҳлилнинг мақсади санаот маҳсулоти сифатини назорат қилиш бўлганлиги сабабли, мақсад майдони битта ўлчамли чиқиш майдони билан чекланган, яъни $y_i \in R^1$.

Мақсад ўзгарувчиси кириш майдонини чиқиш майдонига жойлаштирадиган мақсад функцияси деб номланган яширин функция ϕ томонидан яратилган:

$$\phi: X \rightarrow Y. \quad (2)$$

L ўқитиш алгоритмининг вазифаси функцияга яқинлашишни топишдан иборат, бунда у сақланган маълумотлар тўплами $S^{ўқит}$ ва башорат функцияси $f_{бош.}$ ни ҳисобга олади:

$$f^{ўқит.} \leftarrow L(S^{ўқит.}, f^{бош.}). \quad (3)$$

Объект ҳолатини башорат қилувчи модель нейрон тўрининг оддий регрессия модели ёки белгиланган миқдордаги асосий компонентларга эга бўлган принципиал компонентли регрессия модели ёки белгиланган миқдордаги яширин блокларга ва тасодифий ўрнатилган вазнларга эга кўп қаватли перцептрондир. Ўқитиш натижасида ўқитилган башоратловчи модель $f^{ўқит.}$ ҳосил қилинган. Ҳосил қилинган модель кириш намуналарини чиқиш майдонида акс эттиради, бошқача айтганда $y_i^{баш.} = f^{ўқит.}(x_i)$ ва мақсад функцияси ϕ ни аппроксимациялайди.

Ўқитиш жараёнининг натижаларини баҳолаш ва тартиблаш $e(f,y)$ хатолик функцияси ёрдамида амалга оширилган, бунда функция кириш намунаси x берилган ҳолда мақсадли қиймат y ва башорат қилинган қиймат ўртасидаги фарқни ҳисоблаш имконини беради. Шовқинлар мавжуд бўлган ҳолатда:

$$y = \phi(x) + e. \quad (4)$$

Ўзгарувчини ўртача ноль қиймати билан нормал тақсимланган тасодифий ўзгарувчи эканлигидан келиб чиқиб, тасодифий шовқиннинг таъсирини бартараф этувчи оптимал хатолик функцияси (максимал эҳтимоллик билан) ўртача квадратик хатолик эканлиги келтириб чиқарилган:

$$e(f(X), y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f(x_i) - y_i)^2; \quad (5)$$

бу ерда n – маълумотлар намуналарининг сони.

Хатолик функциясига эга бўлган ҳолда ўқитиш жараёнини $e(f(X), y)$ хатолик функциясини минималлаштирувчи f^{opt} функцияси қуйидагича олинган:

$$f^{opt} = \underset{f}{\operatorname{arg\,min}} e(f(X), y). \quad (6)$$

Виртуал анализаторлар ишлаб чиқиш амалиётида намуналар билан оптимал ишлайдиган моделни олиш орқали яхши натижаларга эришилади. Бироқ, виртуал анализатор моделини ишлаб чиқиш босқичида, намуналар мавжуд бўлмайди ва улар кейинчалик олинади. Келгусидаги маълумотларнинг намуналари бўйича моделнинг иш фаолиятини ҳисоблашни имкони бўлмаганлиги сабабли, ишда мавжуд маълумотлардан фойдаланилган. Бунда кутилгани баҳолаш амалга оширилиб, бу ерда ўқитиш маълумотлари $S^{ўқит}$ ҳақиқий ўқитиш ва текшириш қисмларига бўлинган. Башоратловчи модель аввал янги ўқув маълумотлари бўйича ўқитилади, сўнгра у умумлаштириш кўрсаткичини баҳоловчи текшириш маълумотлари бўйича синовдан ўтказилади. Бундай ёндашувнинг ўқитиш маълумотлари тўпламидан ўқитиш учун фойдаланиб бўлмаганлиги сабабли, унинг тўплами ҳажми кўпинча бир неча омиллар билан чекланиши ва текшириш маълумотларини йўқотилиши муаммоларини бартараф этиш усуллари таклиф этилди.

Ишда юқорида келтирилган муаммоларни ечишга бағишланган иккита усул келтирилган:

- *K-карра ўзаро тасдиқлаш усули*: ушбу усул ўқитиш маълумотлари $S^{\dot{y}kum}$ ни даврий равишда ўқитиш маълумотлари ва текшириш маълумотларига ажратади, бунда бўлиниш ҳажми K сонига боғлиқ. K -каррали ўзаро тасдиқлаш учун ҳар бир текшириш тўпламининг катталиги $S^{\dot{y}kum}$ ни ҳажми $n \frac{1}{k}$ га тенг, қолган $n \left(1 - \frac{1}{k}\right)$ намуналар ўқитиш маълумотлари сифатида қабул қилинган. Натижа эса k марта турли ўқитиш ва текшириш ҳамда k та моделлардан иборат бўлди. Ушбу усулнинг асосий афзаллиги шундаки, у мавжуд бўлган барча намуналарни намунавий ўқитиш ҳамда моделни текшириш учун ишлатилишини кафолатлайди;

- *ўз-ўзини сошлаш усули*: ўз-ўзини сошлашда $S^{\dot{y}kum}$ намуналарнинг бошланғич ўзагидан маълумотлар тасодифий танлаб олинади ва моделни ўқитишда фойдаланиладиган маълумотлар бошланғич маълумотлардан ҳосил қилинади. Муайян моделнинг ишлаши, уларни кўринмайдиган намуналарда тасдиқлаш орқали баҳоланади. Башоратловчи модель фаолиятининг кўрсаткичи моделнинг умумий фаолиятини ўртача кўрсаткичидир.

Ишда башоратловчи модель томонидан умумлаштирилган хатолик иккита таркибий қисм: квадратик оғиш ва дисперсияга ажратилди. Квадратик хатолик функцияси учун ажратилган шаклнинг белгиланган шакли ҳар хил ўқитиш тўпламларига нисбатан қуйидагича ёзилди:

$$\begin{aligned} E_S \left[\left(y^{mecm} - f_{(k)}(X^{mecm}) \right)^2 \right] &= \left(E_S \left[y^{mecm} - f_{(k)}(X^{mecm}) \right] \right)^2 + E_S \left[\left(y^{mecm} - E_S \left[f_{(k)}(X^{mecm}) \right] \right)^2 \right] = \\ &= bias(f_{(k)})^2 + variance(f_{(k)}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$f_{(k)} \leftarrow L(S_i \in S^{\dot{y}kum}, f^{bou})$$

(7) тенгламадаги E_S кутилма қиймати доимий ўлчамга эга тасодифий ўқитиш маълумотлари тўпламлари S_i асосида қурилади, $f(X^{mecm}) - X^{mecm}$ ва y^{mecm} кириш маълумотлари квадратик хатоликни ҳисоблаш маълумотлари учун тўғри мақсад қийматлари бўлган тақдирда башоратловчи модель томонидан амалга оширилган деб ҳисобланади.

Хатоликни ажратиш умумлаштирилган хатоликни бир-бирини мувозанатлаштирадиган иккита таркибий қисмга бўлинишидан келиб чиқиб амалга оширилган. Силжиш компоненти барча ўқитилган $f_{(k)}$ башоратловчи моделлар учун кутилган хатоликни тавсифлайди. Оптимал башоратловчи моделни топиш оғиш ва дисперсия хатолиги ўртасида мувозанатни топишни англатади.

Ишда виртуал анализатор моделини олиш учун сунъий нейрон тармоқлари жумладан, кўп қатламли перцептрон, радиал базис функциялар тармоғи, таянч векторли машиналарга мурожаат қилинган.

Шунингдек, виртуал анализаторнинг моделини қуришда моделлар тўпламини ўзида мужассамлаштирувчи моделлар ансамбли усуллари таклиф этилган. Ансамблни қуриш учун модель қуришнинг иккита муҳим вазифаси аниқланган. Биринчиси ансамблнинг турли аъзоларининг тўпламларини,

иккинчиси ансамблнинг якуний башоратини олиш учун моделлар ёки уларнинг башоратларини ўзида бирлаштиришдан иборат.

Ансамбллар усули p моделлар тўпламидан иборат:

$$F = \{f_{(k)}\}_{k=1}^p. \quad (8)$$

Бунда башоратлаш даражасида комбинация билан чекланган ва у модель даражасидаги комбинацияларни назарда тутмайди. Башоратлаш даражасидаги комбинация учун бир нечта ёндашувлар мавжуд. $X^{куи}$ кириш маълумотлари ва $y^{куи}$ мақсадли ўзгарувчидан ташкил топган текшириш маълумотлари тўплами мавжуд бўлганлиги сабабли:

$$S^{куи} = \{X^{куи}, y^{куи}\} = \{(x_j, y_j)\}_{j=1}^{n^{куи}}; \quad (9)$$

бу ерда $n^{куи}$ – текшириш намуналарининг сони.

Моделларни саралашда қуйидаги ёндашувлар қўлланилган:

- энг яхши моделни танлаш: $f = \operatorname{argmin}_i e(f_{(i)}(X^{куи}), y^{куи});$

- моделни башорат қилишнинг ўртача даражаси: $f = \frac{1}{p} \sum_i f_{(i)};$

- вазнли солиштириш: $f = \sum_i \omega_i f_{(i)}$ билан $\sum_i \omega_i = 1, \forall i: \omega_i > 0;$

- $S^{куи} : f = g(F)$ бўлганда оптимал ўқитилаётган g функция орқали саралаш, бунда $g : F \rightarrow y.$

Таҳлиллар энг яхши моделни танлаш усулидан кўра ўртача қиймат усули афзал эканлигини кўрсатди. Бундай ёндашув асосида ансамблнинг квадратик хатолиги $(f(x) - y)^2$ ансамбл ҳажмининг катталашиши билан камайиб бориши аниқланган:

$$(f(x) - y)^2 = \frac{1}{p} \left(\frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (y - f_{(k)}(x))^2 \right) \right). \quad (10)$$

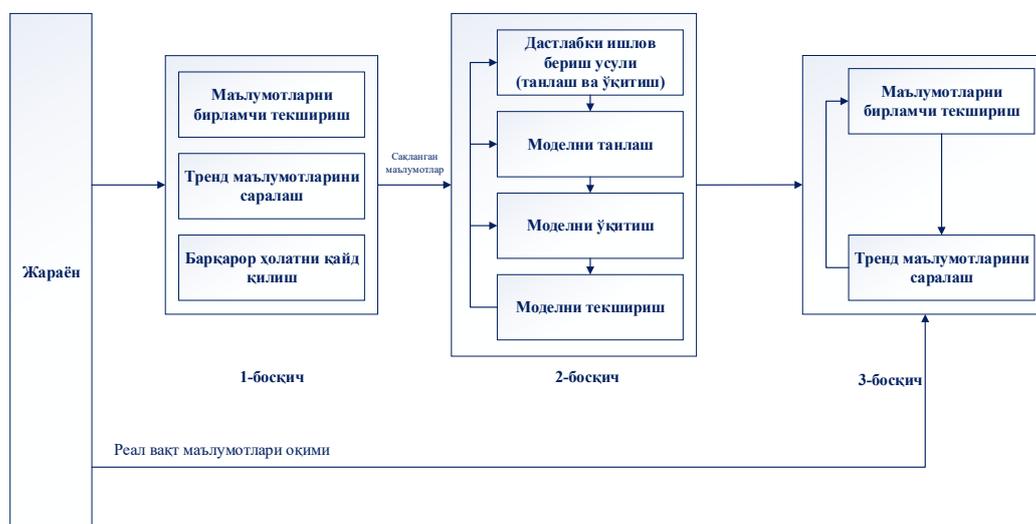
Диссертация ишида ансамбллар усули билан бир қаторда ансамбллар тўплами ва уни «булутли тизимлар»га юклаш таклиф этилган. Бунда ишлаб чиқилган моделлар тегишли ансамблга жамланади, шунингдек ансамбллар глобал тармоққа юкланади ва ансамбллар тўплами ҳосил бўлади. Тармоққа уланган корхоналар ушбу тўпладан керакли моделлар тўпламини юклайди ва уларни ўз маълумотлари асосида ўқитади.

Диссертациянинг “**Адаптив виртуал таҳлил алгоритми**” номли учинчи боби ишончли ва адаптив виртуал анализаторлар яратиш концепциясини ишлаб чиқишга бағишланган. Онлайн режимда виртуал таҳлил қилиш учун виртуал анализаторларнинг нейрон тармоғини маҳаллий ўқитиш алгоритми таклиф этилган. Маҳаллий ўқитиш назарий жиҳатдан истиқболли усул ҳисобланади, чунки жараён маълумотлари асосий жараённинг турли ишчи ҳолатларига кўра алоҳида таркибий қисмлардан иборат бўлади. Турли ҳолатлар аниқланиб, маълумотларнинг қисмлари учун мос моделлар яратилади. Онлайн босқичда энг монанд моделларни аниқлаш машаққатли вазифадир. Диссертация ишида моделни адаптивлашни амалга ошириш учун мазкур усул жуда яхши имконият бериши кўрсатилган. Алгоритмни киритишдан олдин виртуал анализатор адаптив бўлиши учун

виртуал анализаторни яратишнинг модификацияланган варианты келтирилган.

Виртуал анализатор ишлаб чиқишнинг янгиланган методологияси келтирилган бўлиб, янгиланган методология виртуал анализаторни ишлаб чиқишнинг катта қисмини, айниқса маълумотларни дастлабки қайта ишлаш, моделни танлаш ва текшириш, техник хизмат кўрсатиш босқичларини автоматлаштирилишини таъминлайди ва инсон аралашувини минималлаштиради. Бунинг учун моделнинг ҳаётий цикли қуйидаги уч босқичга бўлинган: 1) маълумотларга инсон томонидан ишлов бериш; 2) моделни қуриш; 3) реал вақтда ишлаш.

Виртуал анализаторни ишлаб чиқиш, ишлатиш ва унга техник хизмат кўрсатиш босқичлари 1-расмда келтирилган.



1-расм. Виртуал анализаторни ишлаб чиқиш ва унга техник хизмат кўрсатиш босқичлари

Биринчи босқичда маълумотларни дастлаб қўлда қайта ишлаш ва баъзи аниқ бузилган ўзгарувчиларни олиб ташлаш минимал даражада сақланиб қолади. Иккинчи босқичда тўлиқ белгиланиб, сақланган маълумотлардан фойдаланилади. Ушбу маълумотлар виртуал анализатор моделини дастлабки ўқитилиши ва иш фаолиятини баҳолаш учун ишлатилади. Ўқитиш тугагандан сўнг, учинчи босқичда виртуал анализатор мақсад ўзгарувчиларини онлайн башорат қилиш учун реал вақтдаги маълумот оқимидан фойдаланади. Мақсад ўзгарувчиларининг ўлчанган қийматлари мавжуд бўлганда улардан виртуал анализаторни мослаштириш учун фойдаланилади.

Виртуал анализаторни ишлаб чиқиш ва фойдаланиш қуйидаги босқичларга бўлинган:

- қабул зоналарини қуриш;
- маҳаллий моделлар/экспертларни ўқитиш;
- қабул зонаси дескрипторларини қуриш;
- маҳаллий мутахассисларни комбинациялаш;
- онлайн ишлаш ва моделни адаптивлаш.

Қабул зонасини яратишдан мақсад – сақланган маълумотларни турли хил маълумотлар концепциясини ифодаловчи қисмларга бўлиш. Концепция гоёси модель йўналтирувчи деб номланадиган соҳа билан боғлиқ ва доимий унумдорликни таъминлайди. Йўналтирувчининг унумдорлиги пасайиши янги қабул зонасини яратишга олиб келадиган янги маълумотлар концепцияси сифатида изоҳланган.

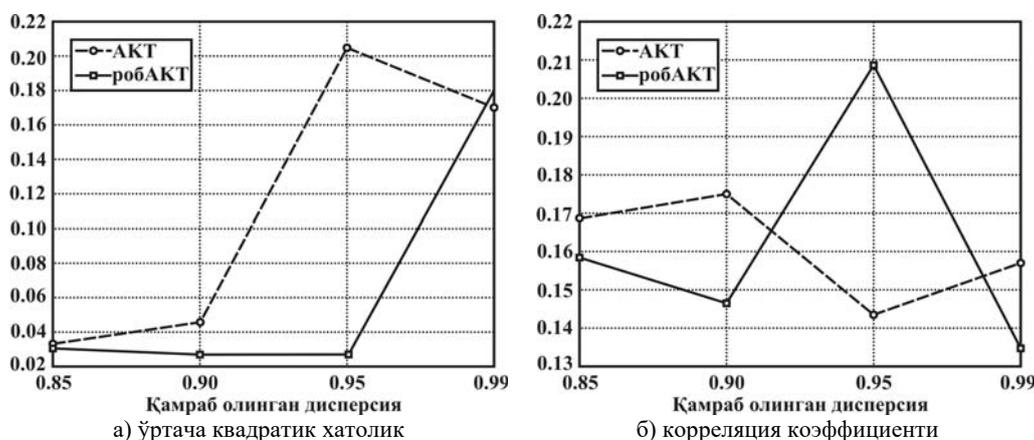
Қабул зоналари аниқлангандан сўнг, маҳаллий эксперт $f^{MЭ}$ деб номланган битта модель ҳар бир қабул зонаси учун ўқитилади.

Якуний моделни олишнинг навбатдаги қадами – бу маҳаллий экспертлар учун дескрипторни тузишдир, сўнг улардан ушбу кириш намунаси учун маҳаллий экспертларнинг башоратлари аниқлигини баҳолашда фойдаланилади.

Ишлаб чиқилган ёндашувнинг афзаллиги у адаптация механизмларини амалга ошириш учун бир нечта имкониятларни тақдим этишидан иборат. Учинчи бобда v вазнларини мослаштирадиган оддий, аммо кучли адаптация механизми келтирилган. Бу мақсадга маҳаллий эксперт-дескрипторларни мослаштириш орқали эришилган. Мазкур усул аввалги намуналарни сақлашни талаб қилмайди ва шу тариқа танлаб олиш асосида тўлиқ ишлайди.

Шиша эритиш жараёни учун таклиф этилган концептуаль схема бўйича виртуал анализатор ишлаб чиқишда қуйидаги эксперимент ўтказилган. Бунда асосий компонентлар таҳлили ва кўп қатламли персептрон (АКТ + КҚП); маҳаллий вазнли проекцион регрессия (МВПР); маҳаллий адаптив виртуал таҳлил алгоритми каби виртуал таҳлил усуллари натижалари таҳлил қилинган.

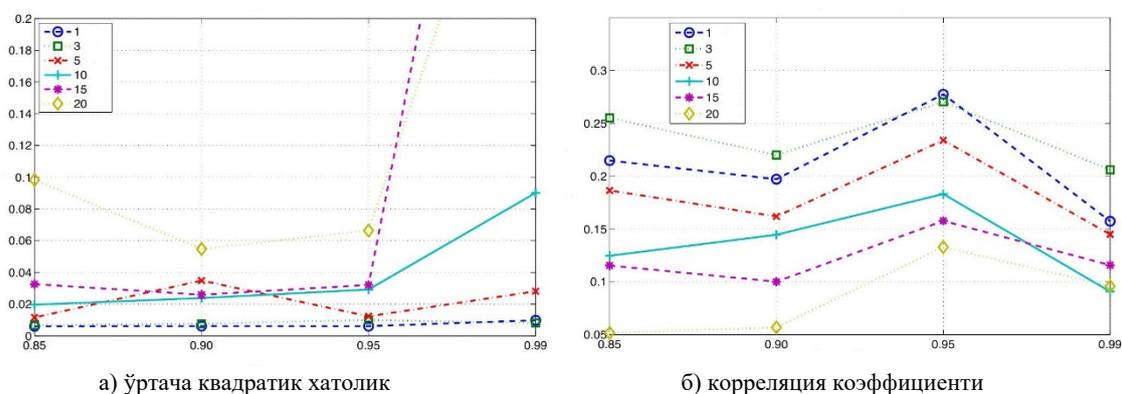
Натижалар, башоратларнинг ўртача квадратик хатоликлари ва тўғри мақсадли қиймат билан башорат ўртасидаги корреляция коэффициенти кўринишидаги сон шаклида берилган. 2-3-расмларда ҳар бири ўртача квадратик хатолик ва башоратларнинг корреляцион коэффициентини қийматлари келтирилган. 5-6-расмдаги графиклар виртуал анализаторлар башоратлари ёнидаги тўғри мақсадли ўзгарувчан қийматларни кўрсатади.



2-расм. АКТ ва робаст АКТнинг натижаларини таққослаш

Сақланган ва онлайн маълумотларни акс эттириш учун мавжуд маълумотлар тўплами икки қисмга бўлинган. Маълумотлар тўпланининг ҳар

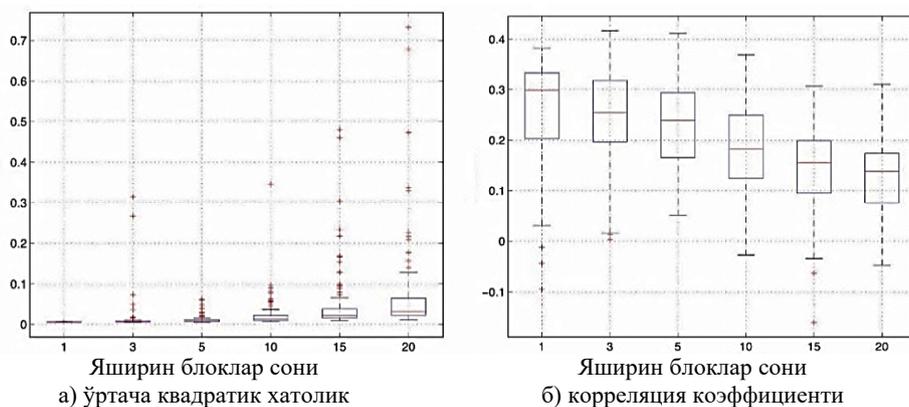
бирини дастлабки 30 %и моделларни ўқитиш учун фойдаланиладиган сақланган маълумотларни ташкил қилиб, қолган 70 %и онлайн маълумотларни имитация қилади ва намуналар оқими сифатида узатилади.



а) ўртача квадратик хатолик

б) корреляция коэффициенти

3-расм. АКТ + КҚП асосидаги виртуал анализаторлар ишлашига робаст АКТни дастлабки ишлов бериш ва яширин блоклар сонининг таъсири



а) ўртача квадратик хатолик

б) корреляция коэффициенти

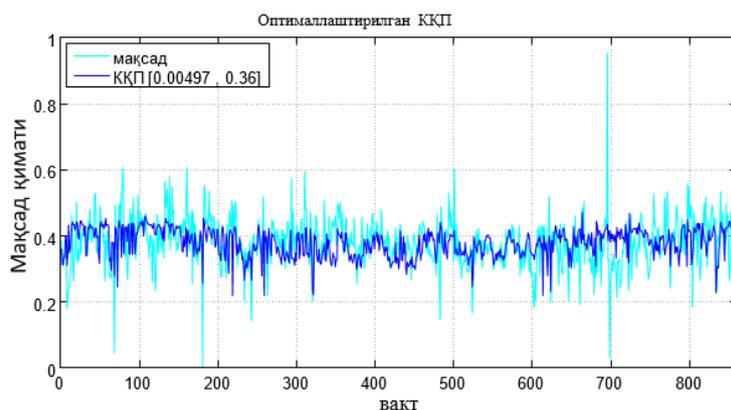
4-расм. АКТ + КҚП асосидаги виртуал анализаторларнинг унумдорлигини яширин блоклар сони турлича бўлганда таққослаш натижалари

Шунингдек, ушбу бобда моделларни комбинациялаш самараси таҳлил қилинган. Қўлланилган комбинация усули – ўнлаб тасодифий киритилган дастлабки моделларнинг ўртача қурилиши эканлиги кўрсатилган. Башорат қуйидаги шаклга эга:

$$F(x) = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} f_k(x). \quad (11)$$

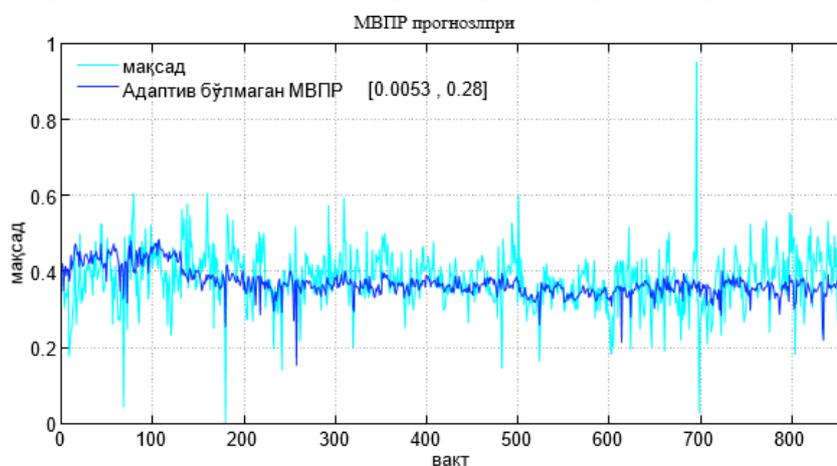
6-расмда МВПРга асосланган виртуал анализаторлар сезгирлиги графиги кўрсатилган.

КҚПга асосланган виртуал анализаторларнинг юқори ўзгарувчанлиги билан таққослаганда, МВПРга асосланган виртуал анализаторларни иш унумдорлигини жуда паст даражадалиги кўринади. Бундан ташқари, маҳаллий минимумлар муаммоси йўқлиги сабабли МВПРни параметрларини КҚП асосидаги виртуал анализаторларникига қараганда оптималлаштириш анча осон.



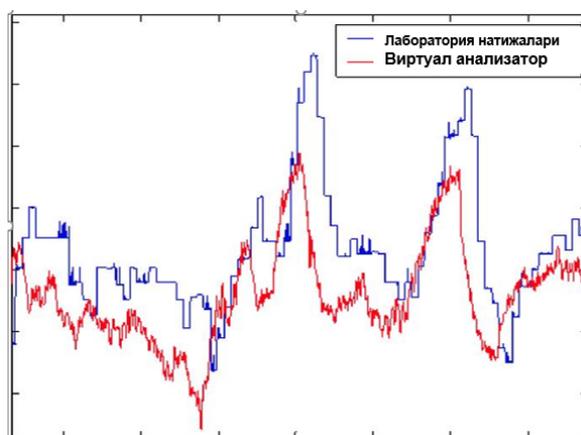
5-расм. Адаптив бўлмаган АКТ + КҚП асосидаги виртуал анализаторнинг башоратлари

Ўқитиш маълумотлари асосида яратилган модель битта қабул қилувчи майдондан иборат. Моделнинг башоратлари 6-7-расмларда келтирилган.



6-расм. Мослаштирилмаган МВПР асосидаги виртуал анализаторнинг башоратлари

Таҳлиллар натижасида, виртуал анализатор параметрлар қийматларининг барча комбинацияларини яхши бажариши аниқланган.



7-расм. Виртуал анализатор башоратлари ва лаборатория таҳлили натижалари

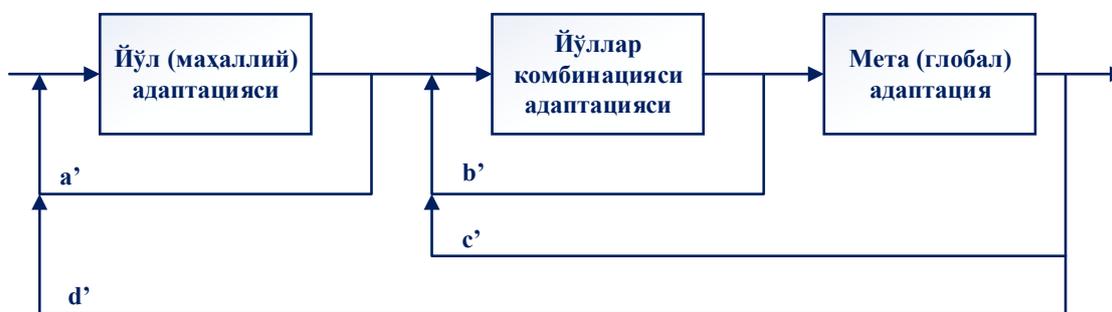
Сульфат кислотаси сифатини назорат қилиш учун ишлаб чиқилган

виртуал анализатор учун сульфат кислотасини ишлаб чиқаришдаги технологик жараёнларни автоматлаштирилган бошқариш тизими виртуал таҳлилининг бирламчи маълумотлар манбаи ҳисобланадиган ўлчаш асбоблари билан жиҳозланганлиги кўрсатилган. Анализатор моделини олишда тадқиқ қилинаётган технологик жараён ҳақидаги эксперт билимларидан фойдаланилган. Виртуал анализатор башоратлари ва лаборатория таҳлили натижалари таққосланганда виртуал анализаторнинг натижалари лаборатория таҳлили натижаларига жуда яқинлигини аниқланган (7-расм).

Диссертациянинг “**Виртуал анализаторларни ишлаб чиқиш архитектураси**” номли тўртинчи бобида диссертациядаги ишланмаларнинг синовлари ва апробацияси натижалари муҳокама қилинган.

Виртуал анализаторларни амалга оширишда, архитектуравий нуқтаи-назаридан маълумотларни қайта ишлаш учта сатҳ (маҳаллий, ўрта ва глобал)га ажратилган, уларнинг ҳар бири ўзларининг адаптация механизмлари билан таъминланган. Виртуал анализатор моделининг архитектураси иерархиясига мос келади ва моделнинг уч хил мураккаблик сатҳини шакллантиришда иштирок этади.

Адаптация цикли ва мураккабликнинг учта сатҳи ўртасидаги ўзаро таъсирлар орасидаги боғлиқлик схематик равишда 8-расмда келтирилган. Бу ерда маҳаллий ва оралиқ сатҳларнинг ўз-ўзидан адаптацияланиш қобилияти батафсил кўрсатилмаган, шунчаки мета-сатҳдан қуйи сатҳларга алоқалар борлиги кўрсатилган.



8 - расм. Виртуал анализаторлар ишлаб чиқиш архитектурасидаги адаптация цикллари

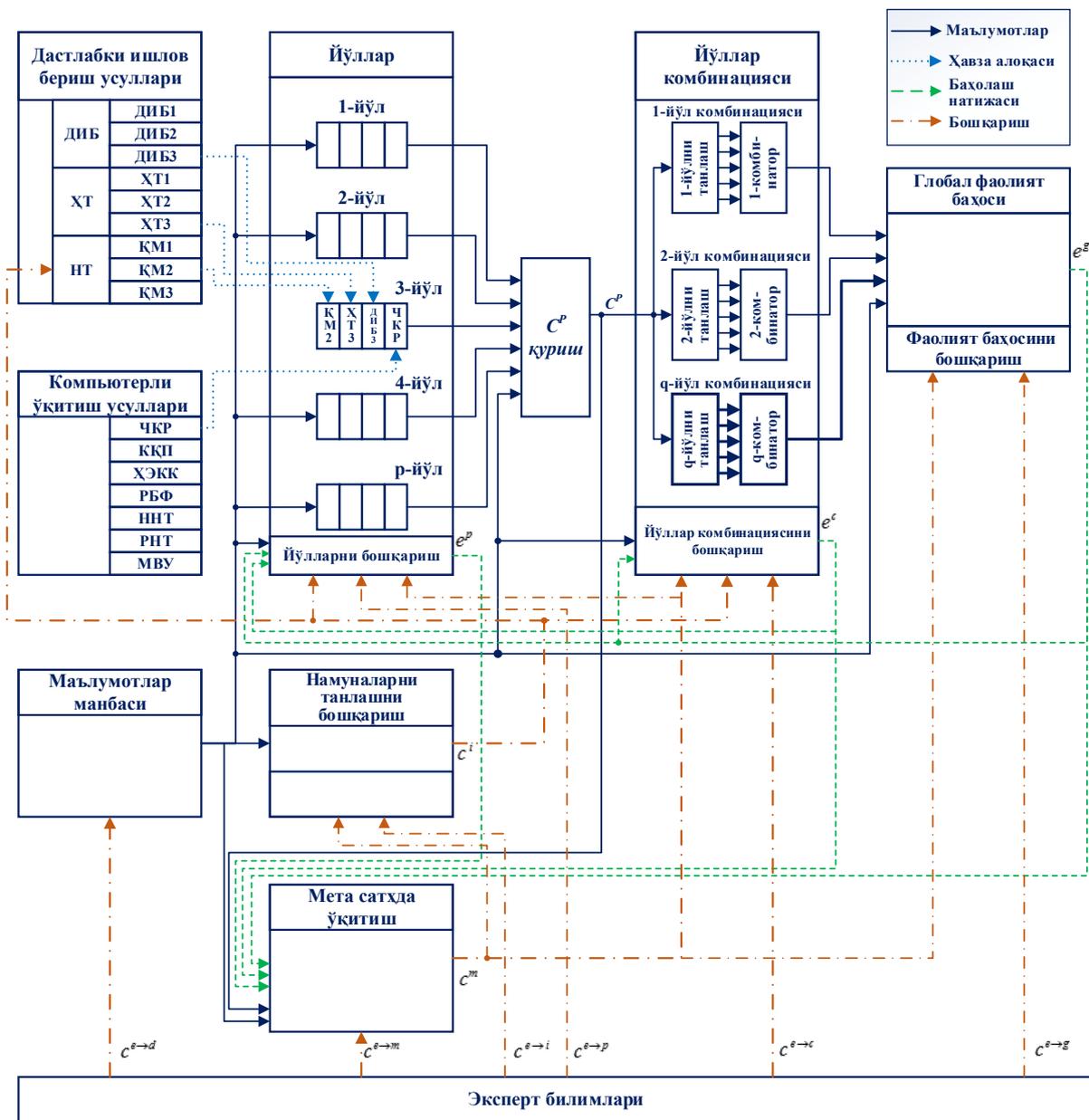
Виртуал анализаторнинг умумий архитектураси 9-расмда кўрсатилган.

Мазкур архитектура умумлаштирилган ва уни амалга ошириш виртуал анализаторлар ишлаб чиқишда жуда кўп эркинликларни бериши, бу эса ўз навбатида, белгиланган вазифани ечиш учун конкрет функционалликка эътибор қаратиш имконини бериши кўрсатилган.

Архитектуранинг асосий хусусиятларидан бири – маълумотларнинг ўзгариши билан ифодаланадиган динамик муҳитда ишлаш қобилиятидир. Архитектуранинг адаптация имкониятларидан фойдаланиш учун муайян модуллар инструментал режимга ўтказилади. Адаптациянинг учта: йўл; йўллар комбинацияси ва мета сатҳлари ажратиб кўрсатилган.

Мета сатҳда адаптация бутун архитектуранинг динамикасига таъсир

қилади. Мета сатҳда ўқитиш модули архитектуранинг барча сатҳлари, яъни ҳисоблаш йўллари ва йўллар комбинациясидан глобал ишлаш кўрсаткичлари тўғрисидаги маълумотларни тўплайди. Мазкур маълумотлар нафақат архитектуранинг турли даражаларида эришилган натижаларни таҳлил қилиш, балки моделдаги турли позицияларда бўлаётган ўзгаришларнинг таъсирини баҳолаш имконини беради.



9-расм. Мустақам ва мослашувчан виртуал таҳлил алгоритмларини ишлаб чиқиш учун таклиф этилган архитектуранинг умумий кўриниши

ХУЛОСА

1. Ўлчанмайдиган, қийин ёки паст частота билан ўлчанадиган параметрларни, маҳсулотлар сифатини баҳолаш учун таркибда виртуал анализаторлари бўлган такомиллаштирилган бошқариш тизими таклиф

этилган бўлиб, ушбу тизим узлуксиз технологик жараёнларда ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатини юқори самарадорлик билан назорат қилиш имконини беради.

2. Ансамбл усуллари кўллаш, маҳаллий ўқитиш, мета ўқитиш, адаптив башоратлаш, маълумотларга дастлабки ишлов бериш ва интеллектуал таҳлилни амалга оширувчи виртуал анализаторларни қуриш концепцияси ишлаб чиқилган. Мазкур концепция виртуал анализаторларни ташқи ғалаёнларнинг ўзгаришига мослашувчанлигини таъминлайди.

3. Виртуал анализаторларнинг башоратлари аниқлигини оширувчи ансамбл усуллари таклиф этилган. Ушбу ансамбл усуллари маълумотларни таҳлил қилиш асосида маҳсулот сифатини самарали башоратлаш учун оптимал моделни танлаш имконини беради.

4. Технологик жараёнларни назорат қилишнинг виртуал анализаторларини адаптациялаш алгоритми ишлаб чиқилган. Ушбу алгоритм ишлаш шароитлари вақт ўтиши билан ўзгарадиган жараёнларда маҳсулот сифатини назорат қилувчи виртуал анализаторларни янги иш шароитларига тезроқ мослашишига имкон беради.

5. Виртуал анализаторларнинг фаолият кўрсатиш муддатини узайтириш усули ишлаб чиқилган. Ушбу усул таҳлил маълумотларини қайта ишлашдаги ҳисоблаш йўллари комбинациялаш орқали виртуал анализаторнинг моделини такомиллаштириш ҳисобига унинг хизмат кўрсатиш аниқлигини сақлаган ҳолда муддатини узайтириш имконини беради.

6. Адаптив виртуал анализаторларни қуришнинг модулли архитектураси таклиф этилган. Архитектуранинг модулли тузилиши виртуал анализаторларга маълумотлар тезкор ўзгарувчан бўлган динамик режимларда ишлаш имконини беради.

7. Технологик параметрлар қийматлари асосида тайёр ва ярим тайёр маҳсулотлар сифатини аниқловчи алгоритм ишлаб чиқилган. Ушбу алгоритм мураккаб узлуксиз технологик жараёнларни назорат қилишда маҳсулотларнинг сифатини технологик параметрлар қийматларига кўра баҳолаш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.03.02
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШОДИЕВ МАЪРУФЖОН КОБУЛЖОНОВИЧ

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛНЫХ
АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НЕПРЕРЫВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

05.03.01 – Приборы. Методы измерения и контроля (технические науки)

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2019.4.PhD/Т342

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу: www.tdtu.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.

Научный руководитель: **Юсупбеков Азизбек Нодирбекович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Матякубова Парахат Майлиевна**
доктор технических наук, профессор

Юнусов Исмат Инагамович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Навоийский государственный горный институт**

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2019 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано за № ____). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2019 года.
(протокол рассылки № ____ от « ____ » _____ 2019 г.)

Н.Р.Юсупбеков
председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., проф., академик

У.Ф.Мамиров
Учений секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Х.З.Игамбердиев
председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., проф., академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В современном мире особое внимание уделяется созданию и модернизации измерительной техники и контролю качества с целью производства высококачественной продукции с наименьшими энергетическими, сырьевыми и временными затратами. В настоящее время одна из ведущих ролей отводится виртуальному анализу качества продукции в химической, нефтехимической и пищевой промышленности. В развитых странах для контроля управления качеством производимой продукции всё более широкое распространение получают виртуальные аналитические системы с использованием специального программного обеспечения на основе математического аппарата.

В мире ведутся научные исследования и разработки направленные на реализацию систем усовершенствованного управления с виртуальными анализаторами обеспечивающими требуемую энергоэффективность производства и высокое качества продукции. Особое внимание уделяется разработке высокоскоростных систем анализа качества выпускаемой продукции, моделей определения качественных показателей и характеристик конечной продукции и синтезу виртуальных анализаторов качества конечной продукции.

Сегодня в Республике Узбекистан особое внимание уделяется внедрению инновационных технологий в промышленность, реализации высокоэффективных систем контроля качества полуфабрикатов и готовой продукции, в том числе созданию виртуальных анализаторов конечной продукции. В Стратегии развития Республики Узбекистан на 2017–2021 годы намечены задачи «...модернизация и диверсификация промышленности путем перевода её на качественно новый уровень»¹. Для достижения этих ответственных задач одним из ключевых вопросов является разработка концепции, которая будет эффективно решать задачи по реализации виртуальных анализаторов для технологических процессов контроля качества выпускаемой продукции.

Данная диссертационная работа в определенной степени обеспечивает реализацию задач, предусмотренных указами Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, Постановлениями №ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сферы на 2017-2021 годы» от 26 мая 2017 года, №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной

¹ Указ президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» УП-4947 от 07 февраля 2017 года.

сфере.

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

Степень изученности проблемы. В рамках мировых исследований по научно-проблемным воплощениям концепции создания виртуальных анализаторов существенный вклад внесли и вносят ведущие научные центры и высшие образовательные учреждения мира: Emerson (США), Honeywell (США), Yokogawa (Япония), научно-производственная компания ОПТИМУМ (Россия), МГТУ им. Н.Э. Баумана, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина (Россия), Институт автоматики (Украина). Весомый вклад в решение этой востребованной проблемы внесли и вносят такие зарубежные ученые, как D.N.Saraf, N.Bolf, P.Angelov, L.Fortuna, P.Kadlec, M.Kano, O.C.Кожинский, P.A.Аузан, Г.М.Бакан, Т.И.Копысицкий, Н.Н.Бахтадзе, А.П.Веревкин, А.Г.Шумихин, А.А.Мусаев и др.

Достойный вклад в положительное решение проблемы разработки виртуальных анализаторов качества продуктов и технологических процессов вносят отечественные ученые Н.Р.Юсупбеков, Т.Ф.Бекмуратов, Т.Д.Раджабов, О.Ш.Хакимов, Ш.М.Гулямов, Р.К.Азимов, Ю.Г.Шипулин А.Н.Юсупбеков и др.

Литературный обзор представленной области настоящего диссертационного исследования свидетельствует о востребованной необходимости и целесообразности обоснования перспективной концепции создания и расширения сферы применения виртуальных анализаторов качества конечной промышленной продукции с применением современных информационно-коммуникационных технологий и методов искусственного интеллекта.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках фундаментального научно-исследовательского гранта Ташкентского государственного технического университета ОТ-Ф7-88 – «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих тепло и массообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017–2020).

Цель работы. Цель данного исследования заключается в разработке концепции эффективного решения проблемных задач применения современных виртуальных анализаторов, предназначенных для контроля и усовершенствования управления технологическими процессами и производствами.

Задачи исследования:

разработка концепции создания надежных и адаптивных виртуальных анализаторов;

критический анализ существующих методов разработки и реализации виртуальных анализаторов, и выявления тенденций их дальнейшего совершенствования и развития;

обработка, интеллектуальный анализ данных и моделирование данных и знаний для виртуального анализа и синтеза;

разработка методов машинного обучения и инструментов для разработки виртуальных анализаторов;

анализ методов адаптации виртуальных анализаторов;

разработка алгоритмов совершенствования виртуальных анализаторов.

Объектом исследования являются виртуальные анализаторы качества продукции в составе современных систем управления технологическими процессами.

Предмет исследования составляет концепция создания виртуальных анализаторов и методы интеллектуального анализа данных неконтролируемых или мало измеряемых параметров непрерывных технологических процессов, а также данных о качестве производимой промышленной продукции.

Методы исследований. В процессе исследования использованы методы системного анализа, теории моделирования, в том числе, нейро-нечеткого моделирования, использованы искусственные нейронные сети для получения прогнозных моделей.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

синтезирована усовершенствованная система продвинутого управления технологическими процессами и производствами путём замены анализаторов виртуальным анализатором для оценки качества продукции, а также для оценки неизмеримых, трудно измеримых или низкочастотных параметров;

разработана концепция построения виртуальных анализаторов с высокой адаптивностью;

разработана концепция создания и построения виртуального анализатора качества обеспечивающая адаптивность к изменениям внешних возмущений;

разработана концепция построения виртуальных анализаторов устойчивых к внешним возмущениям;

разработан алгоритм адаптации виртуальных анализаторов контроля технологических процессов

разработан способ продления срока службы разработанных виртуальных анализаторов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны алгоритмы устранения шума и отклонений в данных при предварительной обработке данных на начальном этапе разработки виртуальных анализаторов;

реализовано устранение несовместимости частот дискретизации путём синхронизации при предварительной обработке данных;

разработаны алгоритмы идентификации модели виртуальных анализаторов.

Достоверность результатов исследования. Надежность результатов исследования основана на применении теоретически обоснованных концепций, использовании методов математического моделирования, сравнение результатов имитационного моделирования и экспериментальных исследований, адекватностью результатов лабораторных данных и разработанного виртуального анализатора.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в использовании априорных знаний о технологических процессах при разработке виртуальных анализаторов, построении адаптивных прогнозирующих моделей, ориентированных на использование вычислительной техники и искусственных нейронных сетей, а также обоснована быстродействием разработанных виртуальных анализаторов в сравнение с поточными анализаторами и лабораторными результатами.

Практическая значимость результатов исследования заключается в повышении точности прогнозирования виртуальных анализаторов посредством комбинации и объединения прогнозов моделей в ансамбли, построении мультимодельных виртуальных анализаторов, с применением методов ансамблей, при построении виртуальных анализаторов для контроля непрерывных технологических процессов в химических, нефте-химических и пищевых промышленности.

Внедрение результатов исследования. Результаты научно исследовательской работы, посвященной разработке концепции создания виртуальных анализаторов в составе систем усовершенствованного управления непрерывными технологическими процессами и производствами, сводятся к следующему:

внедрена концепция создания и построения виртуального анализатора качества, обеспечивающая адаптивность к изменениям внешних возмущений на предприятии «ОНИКС-Ташкент» (справка АО «O'zAvtosanoat» № 09/03-25-2524 от 6 ноября 2019 года). В результате достигнута возможность повышения качества готовой продукции, а также сократился объем бракованной продукции.

внедрена концепция построения виртуальных анализаторов устойчивых к внешним возмущениям на предприятии «ОНИКС-Ташкент» (справка АО «O'zAvtosanoat» № 09/03-25-2524 от 6 ноября 2019 года). В результате реализована возможность прогнозирования качества готовой продукции.

внедрен алгоритм адаптации виртуальных анализаторов контроля технологических процессов в производстве стеклянных изделий на предприятии ООО «ОНИКС-Ташкент» (справка АО «O'zAvtosanoat» № 09/03-25-2524 от 6 ноября 2019 года). В результате достигнута возможность увеличения срока службы виртуального анализатора анализирующего качества продукции.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования апробированы на 2 международных и 1 республиканских научных конференциях.

Опубликованность результатов. По теме исследования опубликованы 14 научных работ, в том числе 8 статей в журналах, включенных в перечень ВАК РУз., из них 2 статьи за рубежом, получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Диссертация содержит 126 страниц, проиллюстрированных 34 рисунками и 6 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность проведенного исследования, раскрываются цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет исследования, показывается соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, отражается внедрение в практику результатов исследования, приводятся сведения об опубликованных работах и о структуре диссертации.

Первая глава диссертации «Перспективы и проблемы применения виртуальных анализаторов в промышленном производстве» представляет собой краткий обзор научно-исследовательских работ, посвященных виртуальным анализаторам.

Компьютеризация систем управления и большое количество измерительных приборов в промышленности, привели к необходимости регистрации и хранения большого объёма информации. Хотя данная информация в настоящее время циркулирует в низкоуровневых промышленных системах управления и контроля, скрытая информация, содержащаяся в этих данных, находится вне пределов этих программ. Однако извлечение этой скрытой информации достаточно сложно, и для доступа требуются расширенные инструменты, одним из которых являются виртуальные анализаторы, которые последнее время находятся в центре внимания исследований. Виртуальные анализаторы обладают практическими преимуществами нового поколения при относительно низких затратах на их создание и эксплуатацию, поскольку теперь стали вполне доступными способы и методы, необходимые для разработки этих анализаторов.

Большинство промышленных предприятий оснащено огромным количеством датчиков и первичных измерительных преобразователей. Основное назначение последних - доставлять данные для мониторинга и контроля процесса. Однако примерно два десятилетия назад исследователи начали использовать большие объёмы данных, которые измеряются и хранятся в обрабатывающей промышленности, создавая прогностические модели, называемые виртуальными анализаторами. Вообще говоря, их можно рассматривать как простые прогностические модели, на основе которых обучаются с использованием существующих наборов данных, а

затем используются для прогнозирования входных данных.

Однако разработка, поддержание рабочего состояния и усовершенствование виртуальных анализаторов представляет собой сложную проблему, требующую учета специфики исследуемых производственных процессов и влияние на их создание.

Промышленные предприятия сопряжены с огромным объёмом описаний данных, которые включают параметры, характеризующие качество технологических процессов и производимой конечной продукции. Особое значение уделяется определению данных, описывающих характеристики процесса, поскольку работа эмпирических виртуальных анализаторов данных фокусируется на эти данные. В работе представлены результаты анализа функционирования различных виртуальных анализаторов и областей их применения.

Изложены методологические основы современной технологии построения виртуальных анализаторов в производственной промышленности. Определены наиболее широко используемые методы современной виртуальной аналитики и выявлены тенденции их дальнейшего совершенствования и развития.

Вторая глава диссертации **«Перспективы виртуальных анализаторов в машинном обучении»** посвящена разработке виртуальных анализаторов с точки зрения машинного обучения, а также применению теории неопределенных множеств в создании виртуальных анализаторов. Машинное обучение предоставляет инструменты для разработки и автоматического обслуживания виртуальных анализаторов. Разработанные с помощью методов машинного обучения, эти анализаторы предназначены для быстрого прогнозирования состояния исследуемого технологического процесса и качества конечной продукции.

Обязательное условие для контролируемого обучения состоит в наличии наборов данных $S^{об}$, которые состоят из регистрируемых и сохранённых данных информационных систем автоматизированной системы управления технологическими производствами (АСУТП). Данный набор данных имеет следующие особенности:

$$S^{об} = \{ \{ X^{об}, Y^{об} \} \}; \quad (1)$$

здесь: $X^{об} = (x_1, \dots, x_n)^T$, $Y^{об} = (y_1, \dots, y_n)^T$, $X^{об} \in R^{m \times n}$ – n входных выборок построенной матрицы, каждая строка матрицы представляет собой вектор x_i , соответствующий одной входной выборке, состоящий из измеряемых переменных, то-есть $x_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,m})$.

Каждую выборку ввода x_i можно интерпретировать как точку m -мерной входной матрицы пространства χ . Обычно для каждой входной выборки $y_i \in R^q$ дается q -мерное целевое значение. Поскольку целью реферируемой диссертационной работы является виртуальный анализ контроля качества продукции, целевую область ограничим одномерным выходным пространством, то-есть $y_i \in R^1$.

Целевая переменная генерируется скрытой функцией ϕ , отображающей пространство входа на пространство выхода:

$$\phi: X \rightarrow Y. \quad (2)$$

Поскольку целевая функция неизвестна, ее обнаружение является функцией алгоритма обучения L , при этом для поиска приближения к функции учитываются множества сохраненных данных $S^{об}$ и функция прогнозирования.

Задача алгоритма изучения L состоит в том чтобы обнаружить приближение к функции набора данных $S^{об}$ и функции с упреждением $f^{нач}$:

$$f^{об} \leftarrow L\{S^{об}, f^{нач}\}. \quad (3)$$

Модель прогнозирования объекта представляет собой простую регрессионную модель нейронной сети, либо регрессионную модель главного компонента с фиксированным числом основных компонентов, либо многослойный перцептрон с заданным количеством скрытых блоков и произвольно инициализированными весовыми функциями. В результате обучения создается обученная прогностическая модель $f^{об}$. Сгенерированная модель отображает входные выборки в пространстве вывода, иными словами аппроксимирует прогнозирующую $y_i^{прог.} = f^{об}(x_i)$ и целевую функцию ϕ .

Оценка и систематизация результатов обучения выполняются с использованием функции ошибки $e(f, y)$, которая позволяет рассчитать разницу между целевым значением y и прогнозируемым значением при заданной входной выборке x . В случае шума:

$$y = \phi(x) + e. \quad (4)$$

Исходя из того, что функция ошибки является нормальной случайной величиной со средним значением ноль, следует, что оптимальная функция ошибки, исключая влияние случайного шума, представляет собой среднеквадратическую ошибку:

$$e(f(X), y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f(x_i) - y_i)^2; \quad (5)$$

где n - количество выборок данных.

При наличии функции ошибки, f^{opt} функция минимизации $e(f(X), y)$ функции ошибки процесса обучения находится следующим образом:

$$f^{opt} = \arg \min_f e(f(X), y). \quad (6)$$

На практике при разработки виртуальных анализаторов наилучшие результаты достигается путём получения модели, оптимально работающей с выборками. Однако на этапе разработки модели, как правило, выборки недоступны, они могут быть получены в будущем. Из-за невозможности расчёта моделей на будущих выборках данных, в работе была использована существующая информация. При этом была произведена оценка ожиданий, где выборка данных обучения $f^{об}$ была разделена на данные обучения и данные проверки. Модель прогнозирования сначала обучается новым учебным данным, а затем проверяется на данных валидации, которые

оценивают эффективность прогнозирования. Поскольку данный подход не может быть использован для обучения новым данным из набора обучающих данных, было предложено ограничить размер сбора данных рядом факторов и решить проблему потерь проверочных данных.

В работе приведены два способа решения вышеуказанных проблем:

- *K-разовая перекрестная проверка.* Данный метод делит данные обучения $S^{об}$ на данные периодического обучения и данные тестирования. Здесь размер деления зависит от числа K. Для перекрестной проверки по K-кратному размеру каждый набор проверки функции $S^{об}$ был равен $n \frac{1}{k}$, а оставшиеся выборки $n \left(1 - \frac{1}{k}\right)$ использовались в качестве обучающих данных.

В результате получаем k разовое обучение и проверку, следовательно, k-моделей. Основное преимущество рассмотренного метода состоит в том, что гарантируется: что все доступные образцы будут использованы для обучения и проверки модели;

- *метод самонастройки:* при самонастройке данные $S^{об}$ выбираются случайным образом из базы данных; информация используемая при обучении модели, извлекается из первичных данных. Эффективность работы конкретной модели оценивается путем проверки данных в нерассмотренных выборках. Производительность прогнозной модели - это среднее значение общей производительности модели.

В работе обобщенная ошибка прогнозирующей модели разделена на две составляющие: квадратичное отклонение и дисперсия. Фиксированная форма функции квадратичной ошибки для различных обучающих наборов записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} E_S \left[\left(y^{mest} - f_{(k)}(X^{mest}) \right)^2 \right] &= \left(E_S \left[y^{mest} - f_{(k)}(X^{mest}) \right] \right)^2 + E_S \left[\left(y^{mest} - E_S \left[f_{(k)}(X^{mest}) \right] \right)^2 \right] = \\ &= bias(f_{(k)})^2 + variance(f_{(k)}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$f_{(k)} \leftarrow L(S_i \in S^{y_{kum}}, f^{bou}).$$

Ожидаемое значение E_S в выражении (7) строится на основе множества набора случайных обучающих данных S_i непрерывного масштаба. Если $f(X^{mest}) - X^{mest}$ и y^{mest} входные данные являются правильным целевым значением данных расчёта квадратичной ошибки, то данные прогнозирующей модели считаются принятыми.

Разделение ошибок осуществлено делением обобщенной ошибки на две уравновешивающие друг друга составляющие. Компонент сдвига описывает ожидаемую ошибку для всех обученных $f_{(k)}$ прогностических моделей. Найти оптимальную прогностическую модель означает найти баланс между отклонением и дисперсионной ошибкой.

В работе для разработки модели виртуального анализатора использовались искусственные нейронные сети, включая многослойный перцептрон, радиальную базовую сеть и базовые векторы машин.

Кроме того, предложены методы ансамблей, моделей, которые

включают в себя набор моделей, участвующих в разработке модели виртуального анализатора. Определены две важные задачи для моделирования ансамбля. Первый состоит в объединении наборов различных методов ансамбля, а второй в объединении моделей для получения окончательных прогнозов или в объединении прогнозов моделей.

Метод ансамбля состоит из p набора моделей:

$$F = \{f_{(k)}\}_{k=1}^p. \quad (8)$$

В то же время этот метод ограничено прогнозирующими комбинациями и не подразумевает комбинаций на уровне модели. Существует несколько подходов к комбинации прогнозирующего уровня, поскольку существует набор проверочных данных, состоящий из $X^{\text{знач}}$ входных данных и $y^{\text{знач}}$ целевых переменных:

$$S^{\text{знач}} = \{X^{\text{знач}}, y^{\text{знач}}\} = \{(x_j, y_j)\}_{j=1}^{n^{\text{знач}}}; \quad (9)$$

где $n^{\text{знач}}$ – количество тестовых образцов.

При выборе моделей использовались следующие подходы:

- выбор лучшей модели: $f = \operatorname{argmin}_i e(f_{(i)}(X^{\text{знач}}), y^{\text{знач}})$;
- среднее значение прогнозирования моделей: $f = \frac{1}{p} \sum_i f_{(i)}$;
- сравнение весовой функции $f = \sum_i \omega_i f_{(i)}$ с $\sum_i \omega_i = 1, \forall i: \omega_i > 0$;
- сортировка оптимальной функции g по значению $S^{\text{знач}}: f = g(F)$, где $g: F \rightarrow y$.

Анализ показал, что метод среднего значения предпочтительнее метода выбора лучшей модели. На этой основе определено, что квадратная ошибка ансамбля $(f(x) - y)^2$ уменьшается с увеличением объема данных ансамбля:

$$(f(x) - y)^2 = \frac{1}{p} \left(\frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (y - f_{(k)}(x))^2 \right) \right) \quad (10)$$

В диссертационной работе, наряду с методом ансамбля, разработаны набор ансамблей, а также предложена загрузка их в состав «облачных систем». Разработанные модели сгруппированы в соответствующий ансамбль, а также ансамбли загружаются в глобальную сеть и создается множество ансамблей. Предприятия, подключенные к сети, имеют возможность загрузить набор необходимых моделей из этого пакета и обучают их на основе собственных данных.

Третья глава диссертации «Алгоритм адаптивного виртуального анализа» посвящена разработке концепции создания надежных и адаптивных виртуальных анализаторов. Предложен алгоритм местного обучения нейронной сети виртуальных анализаторов для виртуального онлайн-анализа. Теоретически местное обучение является многообещающим методом, поскольку данные процесса состоят из отдельных составляющих в соответствии с различными условиями работы основного технологического процесса. Выявляются разные ситуации и создаются простые модели для базы данных. Определение наиболее подходящих моделей в онлайн режиме

является непростой задачей. В работе показано, что рассматриваемый подход предоставляет отличную возможность для адаптации модели. Для того, чтобы виртуальный анализатор был адаптивным до введения алгоритма, предложено создание модифицированной версии виртуального анализатора.

Предложена обновленная методология разработки виртуального анализатора, которая обеспечивает большую часть разработки виртуального анализатора, особенно на стадии предварительной обработки данных, автоматизацию выбора и обслуживания, а также минимизирует вмешательство человека. Для этого жизненный цикл модели делится на три этапа: 1) обработка данных человеком; 2) построение модели; и 3) работа в режиме реального времени. Этапы разработки, эксплуатации и обслуживания виртуального анализатора приведены на рисунке 1.

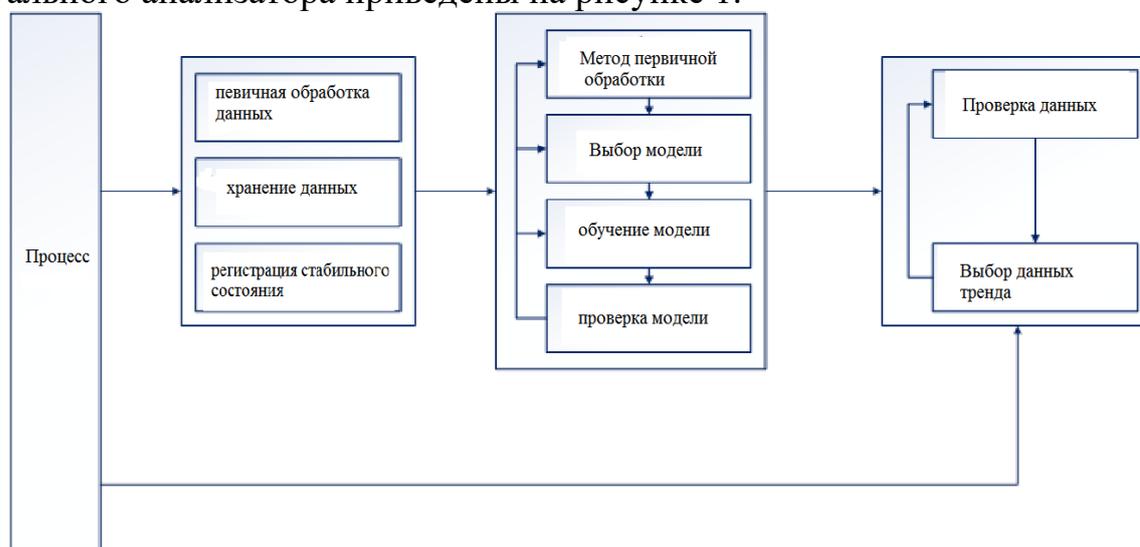


Рисунок 1. Схема разработки и обслуживания виртуального анализатора

На первом этапе сохраняется минимальная ручная обработка первичных данных и удаление некоторых явно ошибочных переменных. На втором этапе используются полностью определенные сохраненные данные. Эти данные будут использованы для первичного обучения и оценки производительности модели виртуального анализатора. После обучения виртуальный анализатор на третьем этапе прогнозирует целевые переменные в режиме *online* с использованием потока данных в реальном времени. Доступные измеренные значения целевых переменных используются для адаптации виртуального анализатора.

Разработка и эксплуатация виртуального анализатора делятся на следующие этапы:

- построение рецептивных зон;
- обучение местных моделей/экспертов;
- построение дескрипторов рецептивных зон;
- комбинирование оценок местных экспертов;
- работа в онлайн режиме и адаптация модели.

Создания рецептивной зоны преследует цель - разделения хранимых

данных на части, представляющие и относящихся к различным концепциям данных. Идея концепции связана с так называемой областью ориентировочной модели, и обеспечивает постоянную производительность. Снижение производительности ориентировочной модели интерпретируется как новая концепция данных, которая ориентирована на создание новой рецептивной зоны.

После определения рецептивных зон, модель f^{ME} , называемая местным экспертом, обучается для каждой рецептивной зоны.

Следующим шагом в получении окончательной модели является создании дескриптора для местных экспертов, который в будущем будет использоваться для оценки точности прогнозов местных экспертов данных входной выборки.

Преимущество разработанного подхода состоит в том, что он предлагает несколько возможностей для реализации механизмов адаптации. На данном этапе представлен простой, но мощный механизм адаптации для регулирования весовых функций. Это достигается путем адаптации местных экспертных дескрипторов. Данный метод не требует сохранения предыдущих выборок и, таким образом, полностью работает с выборочными выборками.

Был проведен эксперимент для разработки виртуального анализатора процесса плавления стекла по предложенной концептуальной схеме. проанализированы результаты анализа главных компонент и многослойного перцептрона (АГК+МП); локально-взвешенная проекционная регрессия (ЛВРП); анализируются результаты методов виртуального анализа – таких, как локальный алгоритм адаптивного виртуального анализа. Результаты представлены в числовом выражении как среднеквадратичная ошибка прогнозирования и коэффициент корреляции между правильным целевым значением и прогнозом. На рис. 2 и рис. 3 представлены среднеквадратичная ошибка и коэффициенты корреляции оценок. Графики на рис. 5 и рис. 6 показывают значения правильных целевых переменных рядом с предикторами виртуальных анализаторов.

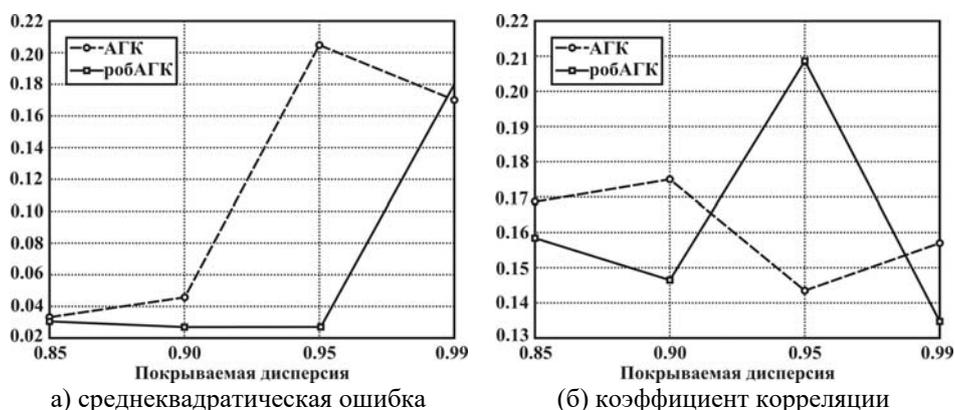


Рисунок 2. Сравнение результатов АГК и робастных АГК

Для отображения сохраненных и оперативных данных, набор данных разделен на две части. Первые 30% каждого набора данных представляют собой хранимые данные, используемые для обучения моделей. Оставшиеся

70% данных имитируют онлайн данные и передаются в виде потока выборок.

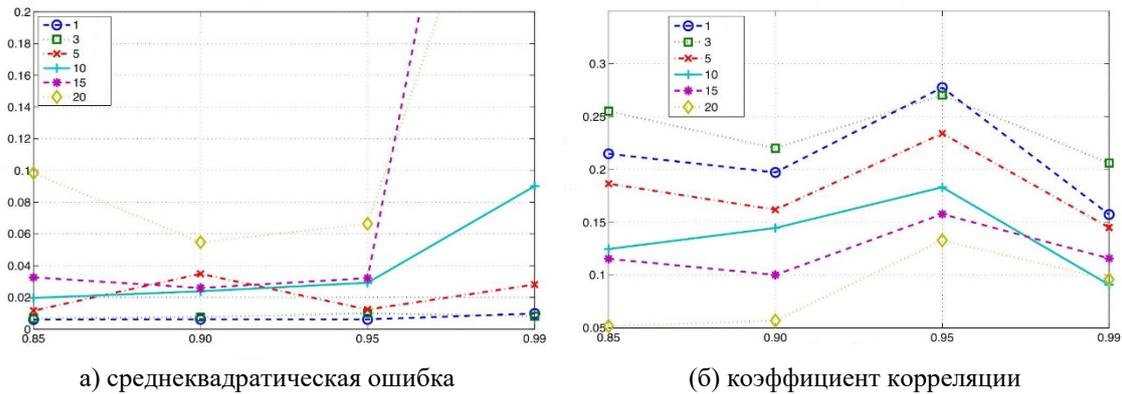


Рисунок 3. Влияние первичной обработки робастных АГК и количество скрытых блоков на работу виртуальных анализаторов на основе АГК+МП.

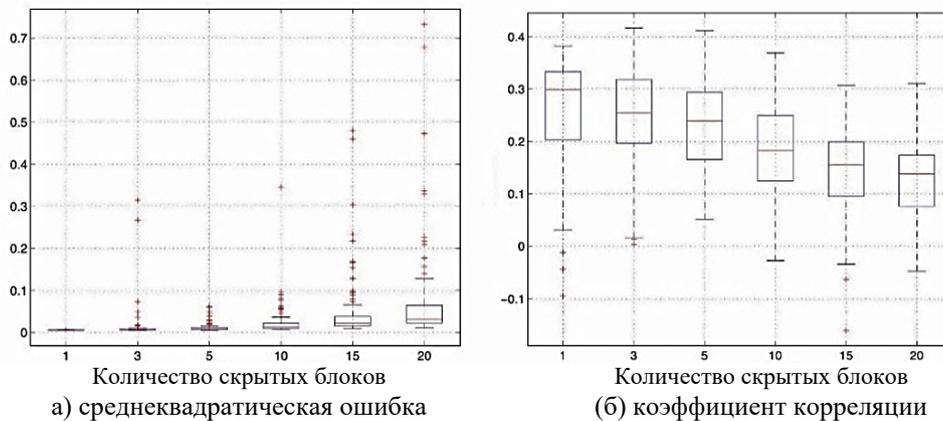


Рисунок 4. Сравнение производительности виртуальных анализаторов на основе АГК+МП при различных количествах скрытых блоков

В работе также анализируется эффективность комбинирования моделей. Используемый метод комбинирования представляет собой среднее построение десятков случайно сгенерированных исходных моделей. Прогнозирование имеет следующую форму:

$$F(x) = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} f_k(x). \quad (11)$$

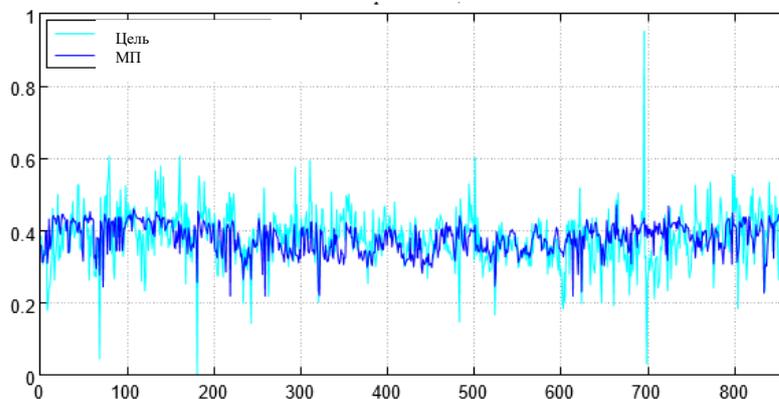


Рисунок 5. Прогнозирование неадаптивного виртуального анализатора на базе АГК+МП

Ниже приведен график чувствительности виртуального анализатора на основе ЛВПР.

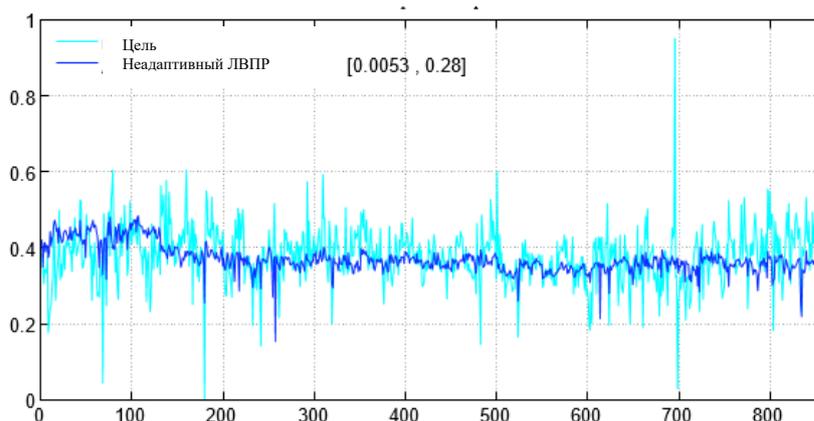


Рисунок 6. Прогнозирование неадаптивного виртуального анализатора на основе ЛВПР

При сравнении виртуальных анализаторов, разработанных на основе АГК и ЛВПР, производительность виртуальных анализаторов на основе ЛВПР оказалась очень низкой. Но, поскольку ЛВПР не имеет локальной проблемы минимизации, оптимизировать параметры ЛВПР гораздо проще, нежели для виртуальных анализаторов на основе АГК.

Разработанная на основе данных обучения модель состоит из одного рецептивного поля. Прогнозы модели приведены рис. 6 и рис. 7.

Анализ свидетельствует, что виртуальный анализатор хорошо работает во всех возможных комбинациях значений параметров.

Для разработанного виртуального анализатора контроля качества серной кислоты показано, что АСУТП производства серной кислоты оснащена измерительными приборами, параметры которых являются основным источником данных для виртуального анализа. При разработке модели анализатора использованы экспертные знания об исследуемом технологическом процессе. При сопоставлении результатов работы виртуального анализатора и лабораторных анализов (рис. 7) установлена их близость между собой.

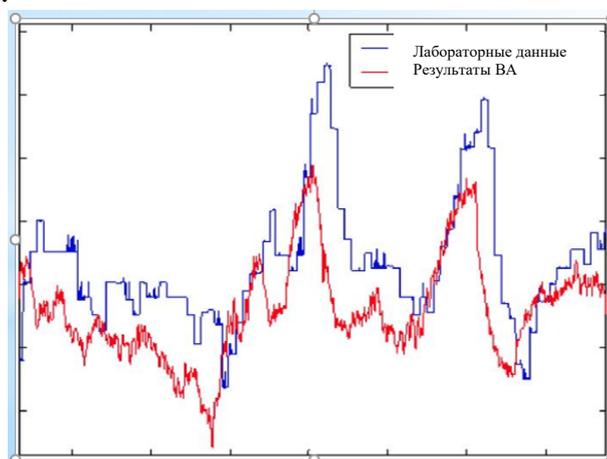


Рисунок 7. Результаты прогнозирования виртуальных анализаторов и данных лабораторных исследований

В четвертой главе диссертации «Архитектура разработки виртуальных анализаторов» обсуждаются результаты апробации разработок диссертации.

С точки зрения архитектурного воплощения виртуальных анализаторов существуют три уровня обработки данных (локальный, средний и глобальный), каждый из которых обеспечивается своими механизмами адаптации. Архитектура модели виртуального анализатора соответствует иерархии и участвует в формировании трех различных уровней сложности модели.

Взаимосвязь между циклом адаптации и взаимодействием между тремя уровнями сложности схематически проиллюстрирована на рис. 8. Здесь не отражена способность локального и промежуточного уровней к самоадаптации, а также связь между метауровнем и нижними уровнями.

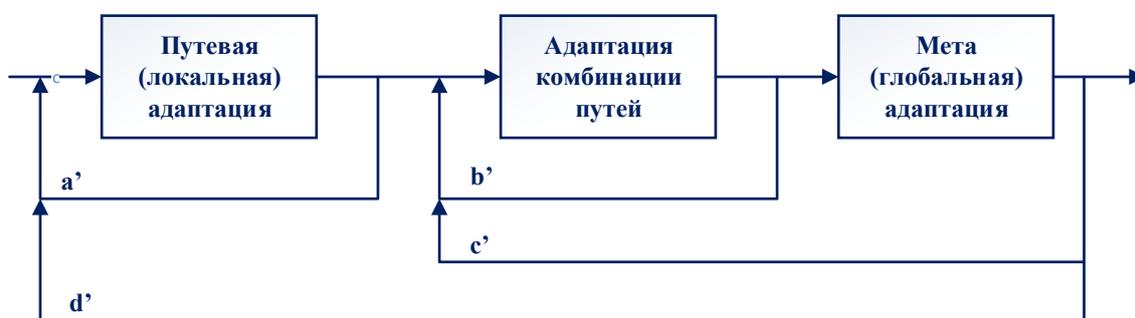


Рис. 8. Циклы адаптации в архитектуре разработки виртуальных анализаторов

Общая архитектура предлагаемого виртуального анализатора показана на рис. 9.

Эта архитектура является обобщенной, и ее реализация предоставляет большую свободу в разработке виртуальных анализаторов, что, в свою очередь, позволяет сосредоточиться на конкретной функциональности для решения поставленных задач.

Одной из ключевых особенностей архитектуры является ее способность работать с динамической средой, которая описывается изменениями в данных. Для использования возможности адаптации архитектуры некоторые модули будут переведены в инкрементальный режим. Существует три уровня адаптации: уровень пути, уровень комбинации путей и метауровень.

На метауровне адаптация влияет на динамику всей архитектуры. Модуль обучения мета-уровня собирает информацию со всех уровней архитектуры – таких, как вычислительные пути, комбинации путей и глобальная производительность. Данная информация позволяет не только анализировать результаты, достигнутые на разных архитектурных уровнях, но и оценивать влияние изменений в разных позициях модели.

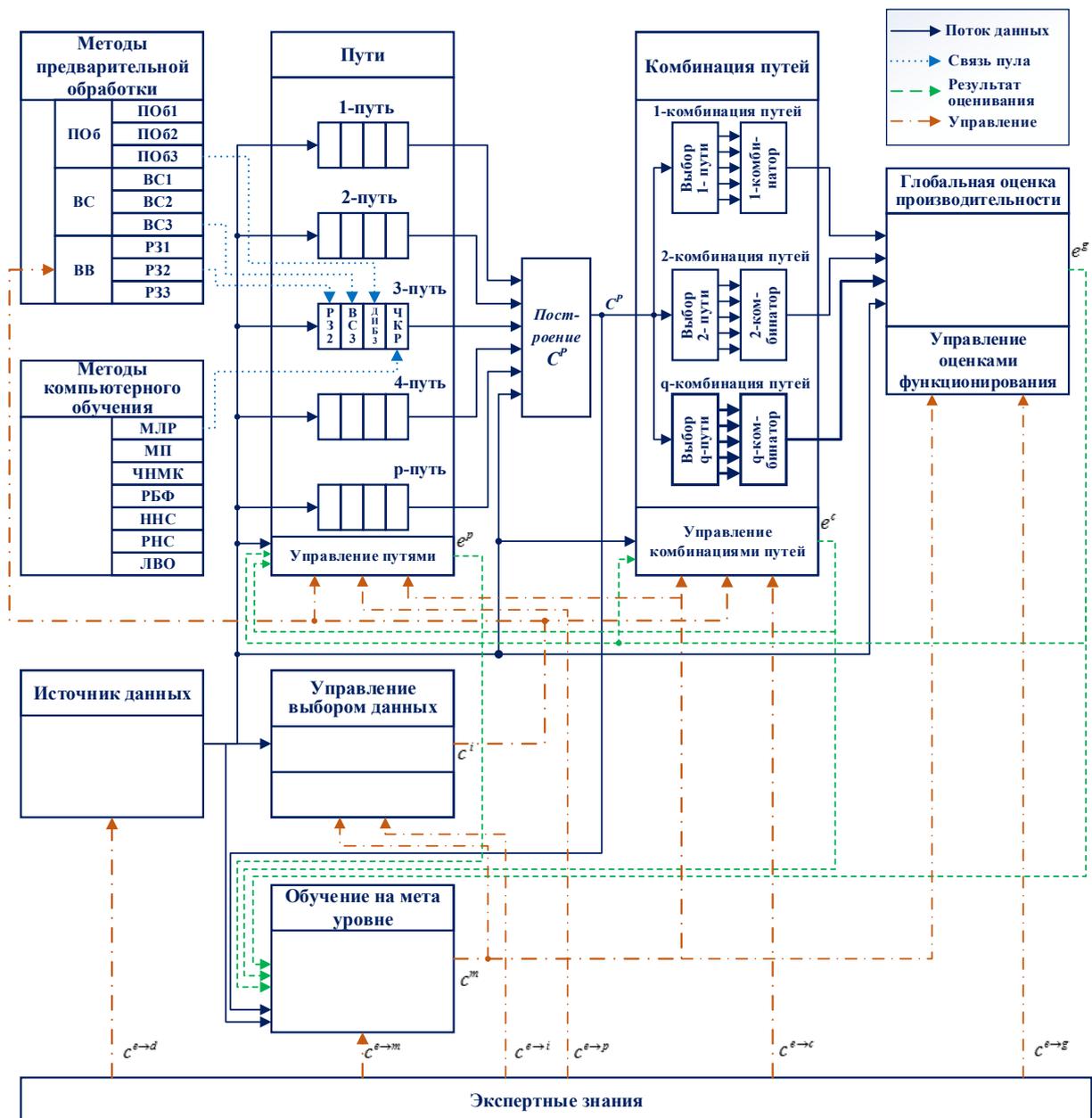


Рисунок 9. Общий вид архитектуры системы, предлагаемой для разработки надежных и гибких алгоритмов виртуального анализа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена система усовершенствованного продвинутого управления сложными технологическими процессами и производствами с виртуальными анализаторами в их составе для контроля неизмеримых, сложно измеримых или измеримых низкочастотных параметров, включая качество продукции, позволяющих осуществлять высококачественный контроль качества товарной продукции.

2. Разработана концепция построения виртуальных анализаторов осуществляющие интеллектуальный анализ и предварительную обработку данных, адаптивное прогнозирование, мета обучение, локальное обучение, применение методов ансамбля. Данная концепция обеспечивает

адаптивность виртуальных анализаторов к изменяющимся внешним возмущениям.

3. Предложены методы ансамбля, обеспечивающие точность прогнозирования виртуальных анализаторов. Данные методы ансамбля позволяют выбрать оптимальную модель для эффективного прогнозирования качества продукции на основе анализа данных.

4. Разработан алгоритм адаптации виртуальных анализаторов контроля технологических процессов. Данный алгоритм позволяет виртуальным анализаторам, контролирующим качество продукции, быстро адаптироваться к новым условиям работы при изменяемых условиях функционирования процессов во времени.

5. Разработан способ продления срока службы разработанных виртуальных анализаторов, который позволяет увеличить срок службы виртуальных анализаторов при сохранении их точности, посредством комбинирования вычислительных методов обработки аналитических данных, совершенствования моделей виртуальных анализаторов.

6. Предложена модульная архитектура построения адаптивных виртуальных анализаторов. Модульная структура архитектуры позволяет виртуальным анализаторам функционировать в динамических режимах при оперативно изменяющихся данных.

7. Разработан алгоритм определения качества полуфабрикатов и готовой продукции на основе значений технологических параметров. Данный алгоритм позволяет оценивать качество производимой продукции на основе значений технологических параметров при управлении сложными непрерывными технологическими процессами.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.T.03.02
ON THE ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SHODIEV MARUFJON KOBULJONOVICH

**INTELLIGENT ELECTROMAGNETIC MECHATRONIC MODULES OF
AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS**

05.03.01–Devices. Methods of measurement and control (technical science)

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

Tashkent–2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2019.4.PhD/T342.

The dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) Is placed on the web page of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and on the Information and Educational Portal "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

| | |
|------------------------------|--|
| Scientific adviser: | Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich doctor of technical sciences, professor |
| Officialopponents: | Matyakubova Parakhat Maylievna doctor of technical sciences, professor Yunusov Ismat Inagamovich candidate of technical sciences, associate professor |
| Leading organization: | Navoi State Mining Institute |

Defense of dissertation will be take place in «__» _____ 2019 at __ o'clock the meeting of scientific council DSc.27.06.2017.T.03.02 at Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent city, Street. University 2. Tel./fax: (+99871) 246-46-00; (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-recourse centre of the Tashkent State Technical University (registration number ____). Address: 100095, Tashkent str. University 2. Tel.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2019 year.
(mailing report №. __ on «__» _____ 2019 year)

N.R. Yusupbekov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of Technical Sciences, Professor, Academic

U.F. Mamirov
Scientific secretary of scientific souncil
awarding scientific degrees,
PhD on technical sciences

Kh.Z. Igamberdiev
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
doctor of Technical Sciences, Professor, Academic

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work consists in implementation the concept of effective solutions of problem tasks application of modern virtual analyzers destined to control and advance process control systems of technological processes.

The object of the research work is virtual analyzers of product quality as part of modern process control systems.

Scientific novelty of the research work is as follows:

synthesized an advanced system for advanced control of technological processes and production by replacing a virtual analyzer to assess product quality, as well as to evaluate immeasurable, difficult to measure or low-frequency parameters;

the concept of building virtual analyzers with high adaptability was developed;

the concept of creation and construction of a virtual quality analyzer was developed, which provides adaptability to changes in external disturbances;

the concept of building virtual analyzers resistant to external disturbances was developed;

an adaptation algorithm for virtual process control analyzers has been developed;

a way to extend the life of developed virtual analyzers was developed.

Implementation of the research results. The results of scientific research work devoted to the development of the concept of creating virtual analyzers as part of advanced management systems for continuous technological processes and production is as follows:

the concept of creating and constructing a virtual analyzer of quality was introduced, which ensures adaptability to changes in external disturbances at ONIKS-Tashkent LCC (Reference of JSC “UzAvtosanoat” № 09/03-25-2524 of November 6, 2019). As a result, the opportunity to improve the quality of finished products was achieved, and defective products were reduced;

the concept of building virtual analyzers resistant to external disturbances at the ONIKS-Tashkent LCC was introduced (Reference of JSC UzAvtosanoat № 09/03-25-2524 of November 6, 2019). As a result, the possibility of predicting the quality of finished products was realized;

algorithm for adapting virtual analyzers for monitoring technological processes in the production of glass products at the ONIKS-Tashkent LLC was introduced (Reference of JSC UzAvtosanoat № 09/03-25-2524 of November 6, 2019). As a result, it was possible to increase the service life of a virtual analyzer analyzing product quality.

The outline of the thesis. The volume of the thesis is 126 pages of typewritten text, illustrated by 34 drawings and 6 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙҲАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (чаft I; Part I)

1. Рузиев У.А., Шодиев М.К. Интеллектуальная сенсорная система измерения вязкости на основе частотно - фазового метода // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». -Ташкент, 2014. -№4. –С.45-48. (05.00.00; №12)

2. Ruziev U.A., Shodiev M.K. Increasing the Reliability of the Measuring Information of Quality of Liquid Products // Special issue International Scientific and Technical Jurnal «Chemical technology. Control and management». Jointly With the «Journal of Korea Multimedia Society». -South Korea, Seoul – Uzbekistan, Tashkent, 2015. -№ 3-4. –PP.78-81 (ОАК раёсат қарори № 217/6, 2015 йил 30 июнь).

3. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А., Шодиев М.К. Исследование течения жидких продуктов при различных диаметрах капилляра // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». -Ташкент, 2016. -№2. –С.31-35 (05.00.00; №12)

4. Ruziev U.A., Shodiev M.K. Modelling of system for controlling of viscosity of polymeric melt and oil products // Special Issue International Scientific and Technical Journal «Chemical technology. Control and management». Jointly With the «Journal of Korea Multimedia Society». -South Korea, Seoul – Uzbekistan, Tashkent, 2016. -№5. –PP.114-117 (05.00.00; №12)

5. Ruziev U.A., M.Q Shodiev, Measuring of Viscosity of the Liquid with the Tapering Device // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. -India, 2017. -Vol. 4. -Issue 10. October 2017. – PP.4709-4714 (05.00.00; №8).

6. Ruziev U.A., Shodiev M.K. Virtual analyser of quality of liquid products // Special issue International Scientific and Technical Jurnal «Chemical technology. Control and management». -Tashkent, 2018. -№ 4-5. –PP.178-181 (05.00.00; №12)

7. Юсупбеков А.Н., Рузиев У.А., Шодиев М.К. Идентификационный подход разработки виртуальных анализаторов и их алгоритмов // Журнал Химическая технология. Контроль и управление. -Ташкент, 2019. -№2. – С.74-80 (05.00.00; №12)

8. Ruziev U.A., Shodiev M.K. Identification Approach to Creating Software Analyzers and Their Algorithms International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (website: www.ijarset.com, ISSN: 2350-0328, India). –India, July 2019. – Vol. 6. –Issue 7. –PP. 10167-10172 (05.00.00; №8)

II бўлим (чаft II; Part II)

9. Рузиев У.А., Шодиев М.К. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости капиллярным вискозиметром / Научно-техническая конференция «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане». -Навои, 2014. -С. 238-240.

10. Ruziev U.A., M.Q Shodiev Modelling of System for Controlling of Viscosity of Polymeric Melt and Oil Products / Ninth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation - «WCIS – 2016». -Tashkent, 2016. – PP. 67-70.

11. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А., Шодиев М.К. Капиллярный вискозиметр с улучшенными массогабаритными характеристиками для измерения маловязких жидкостей / IV-тая Международная молодежная научно-практическая конференция «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование». -Курск, 15 ноября 2017. -Том №3. – С.93-98.

12. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А., Шодиев М.К., Махмараджабов М.Б. Программное обеспечение системы контроля и измерения вязкости и плотности жидких продуктов / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 05013 от 02.02.2018г.

13. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А., Авазов Ю.Ш., Шодиев М.К., Болтаниёзов Ш.Б. Программное обеспечение виртуального анализа качества продукта по значениям технологических параметров / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06306 от 03.05.2019 г.

14. Юсупбеков Н.Р., Юсупбеков А.Н., Рузиев У.А., Авазов Ю.Ш., Шодиев М.К. Программное обеспечение виртуального анализа массы готового изделия в промежуточном цикле технологического процесса / Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06305 от 03.05.2019 г.

Автореферат «Техника фанлари ва инновация» илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 60x84 ¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма №65.

Гувоҳнома №10-3719
«Тошкент кимё-технология институти» босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.

