

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**РУЗИЕВ УМИДЖОН АБДИМАЖИТОВИЧ**

**СУЮҚ МАҲСУЛОТЛАР СИФАТИНИ УЛАРНИНГ  
ҚОВУШҚОҚЛИГИ БЎЙИЧА НАЗОРАТ ҚИЛИШ**

**05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (тармоқлар бўйича)**

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

**Тошкент – 2018**

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

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

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy  
(PhD) on Technical Sciences**

Рузиев Умиджон Абдимажитович Суюқ маҳсулотлар сифатини уларнинг қовушқоқлиги бўйича назорат қилиш .....	3
Рузиев Умиджон Абдимажитович Контроль качества жидких продуктов по их вязкости .....	21
Ruziev Umidjon Abdimajitovich Quality control of liquid products by their viscosity .....	39
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works .....	42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ  
ИЛМий КЕНГАШ  
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**РУЗИЕВ УМИДЖОН АБДИМАЖИТОВИЧ**

**СУЮҚ МАҲСУЛОТЛАР СИФАТИНИ УЛАРНИНГ ҚОВУШҚОҚЛИГИ  
БЎЙИЧА НАЗОРАТ ҚИЛИШ**

**05.03.01 – Асбоблар. Ўлчаш ва назорат қилиш усуллари (тармоқлар бўйича)**

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

**Тошкент – 2018**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.4.PhD/Т519 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович**  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**Расмий оппонентлар:** **Исматуллаев Патхулла Рахматович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Мамарасулов Фарход Умарович**  
техника фанлари номзоди

**Етакчи ташкилот:** **Бухоро муҳандислик-технология институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (44 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2018 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2018 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**Ф.Т.Адилов**  
илмий даражалар берувчи Илмий  
кенгаш раиси ўринбосари,  
т.ф.д., профессор

**Ж.У.Севинов**  
илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н., доцент

**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 энг кам харажатлар билан юқори сифатли маҳсулот ишлаб чиқариш мақсадида аналитик ўлчов усулларини такомиллаштириш ва техник воситаларни ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ривожланган мамлакатлар суяқ маҳсулотлар ишлаб чиқарувчи йирик саноат корхоналари томонидан маҳсулотлар сифатини оширувчи назорат-ўлчов воситаларини ишлаб чиқиш катта аҳамият касб этмоқда, жумладан, корхоналарда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар сифатини назорат қилишда уларнинг реологик хоссаларини тадқиқ қилиб, аниқлиги юқори бўлган қовушқоқлик ўлчагичларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда маҳсулотнинг талаб этилган сифатини таъминловчи, мураккаб технологик жараёнларни аналитик назорат қилиш усулларини ишлаб чиқишга, бирламчи ўлчаш асбобларини, тезкор ва юқори аниқликка эга қовушқоқликнинг автоматик анализаторларини такомиллаштиришга йўналтирилган илмий тадқиқотлар амалга оширилмоқда. Бу борада жумладан, автоматик назорат ва бошқариш тизимлари таркибидаги юқори аниқлик, сезгирлик, тезкорлик ва бошқа метрологик тавсифларни оширишни таъминлайдиган узлуксиз ишловчи қовушқоқлик ўлчагичларни ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Республикамизда ҳозирги кунда саноатга инновацион ғоя ва технологияларни жорий этиш, ярим тайёр ва тайёр маҳсулотлар сифатининг юқори самарали назорат қилувчи тизимларни амалга оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, “... юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хом ашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш”<sup>1</sup> вазифалари белгилаб қўйилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, юқори аниқликка эга ва ишончли ўлчов воситалари ва аналитик назорат воситаларини ишлаб чиқиш ҳисобига ишлаб чиқарилаётган маҳсулот ва ярим тайёр маҳсулотлар сифатини ошириш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2008 йил 15 июлдаги ПҚ–916-сон «Инновацион лойиҳалар ва технологияларни ишлаб чиқаришга татбиқ этишни рағбатлантириш борасидаги қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2016 йил 22 декабрдаги ПҚ–2692-сон «Саноат тармоқлари

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «Ўзбекистон Республикасини 2017–2021 йилларда янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

корхоналарининг жисмоний ишдан чиққан ва маънавий эскирган машина-ускуналарини жадал янгилаш, шунингдек, ишлаб чиқариш харажатларини камайтиришга оид кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги, 2017 йил 23 августдаги ПҚ–3236-сон «2017–2021 йилларда кимё саноатини ривожлантириш дастури тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур соҳага тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожлантирилишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» ва VII. «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Жаҳон миқёсида тезкор назорат учун мўлжалланган назорат қилишнинг аналитик қурилмаларини ишлаб чиқиш бўйича бир қатор етакчи илмий-тадқиқот институтлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Massachusetts Institute of Technology, Emerson Electric Manufacturing ва University of Missouri (АҚШ), «Siemens» ва University of Munster, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Олмония), Imperial College London (Буюк Британия), Osaka University ва Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Жанубий Корея), Менделеев номидаги Умумроссия Метрология илмий-тадқиқот институти, Духов номидаги Умумроссия Автоматика илмий-тадқиқот институти ва ТошДТУ (Ўзбекистон) да илмий-тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Суюқ мухитларнинг ковшоқлигини ўлчаш ва тадқиқ қилиш муаммолари ечимларига чет эл олимларидан J.F.Steffe, J.I.Lohrenz, R.A.Brown (АҚШ), M.Brizard, C.Verdier (Франция), Gert Böhme, J.F.Richardson, Bernard Coleman (Олмония), Dabir S. Viswanath (Ҳиндистон), Е.Н.Политов, А.В.Чупаев, А.Н.Пирогов, О.Ю.Кузьменко, Б.М.Кадиров, С.В.Крутин, В.Г.Ушаков, В.Н.Белоненко, А.С.Зорин, Л.П.Карташов, Г.Шрамм, Н.Г.Фарзана, М.Мустафаев, М.М.Мордасов, Амер Махмуд Ал-Рваши ва республикамиз олимларидан Х.П.Ташпулатов, Н.Р.Юсупбеков, Д.А.Абдуллаев, Т.Д.Раджабов, Т.Ф.Бекмуратов, П.Р.Исматуллаев, В.А.Соловьев, М.П.Мухитдинов, А.А.Азимов, Р.К.Азимов, Ю.Г.Шипулин, О.Ш.Хакимов, А.А.Абдувалиев ва бошқалар катта ҳисса қўшганлар.

Республикамиз ва чет эл олимлари (Н.Р.Юсупбеков, Т.Д.Раджабов, Н.Wilkinson, Г.В.Виноградов, А.Я.Малкин, М.М.Мордасов, Г.Шрамм ва б.) фикрига кўра ковшоқликни ўлчашнинг капиллярли усули энг аниқ ҳисобланиб, сезгирлиги, универсаллиги ва дискретлиги билан ажралиб туради ҳамда асбоб сифатида амалга оширилишининг яширин имкониятларидан тўла фойдаланилмаган. Бироқ капиллярли вискозиметрларнинг асосий камчиликларидан бири – ўлчаш ўзгартириши амалининг такомиллаштирилмаганлиги ва муқаддам аниқ баҳолаш ўтказилмаган баъзи

бир иккиламчи гидродинамик самаралар ва ҳодисалар мажмуининг таъсири билан белгиланувчи даражалаш тавсифининг беқарорлиги, ўлчаш диапазонининг торлиги ҳисобланади. Қовушқоқлик ўлчаш асбобларини ишлаб чиқиш ва модернизациялаш муаммолари А.В.Чупаев, О.Ю.Кузьменко, М.М.Мордасовларнинг ишларида тадқиқ этилган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф-7-47 – «Кўп компонентли аралашмаларни ажратиш жараёнларининг назарий асослари» (2012–2016) ва ОТ-Ф7-88 – «Тоза маҳсулотлар олишнинг мураккаб кимёвий-технологик тизимларининг истиқболли энергия ва ресурс тежамкор иссиқлик масса алмашиниш жараёнлари назарий асосларини такомиллаштириш» (2017–2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** қовушқоқлик ўлчашнинг капиллярли усулини асбобий амалга оширишни такомиллаштириш ва бунинг асосида яхшиланган метрологик тавсифларга эга вискозиметрик анализаторлар ишлаб чиқиш ҳисобига қовушқоқлик назоратининг тезкорлиги ва сифатини оширишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

ишлаб чиқаришнинг суюқ маҳсулотлари қовушқоқлиги бўйича технологик жараёнларни автоматик назорат қилиш ва ростлаш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш;

зарурий ўлчаш шароитларини яратиш ва диапазонини кенгайтириш усулларини қидириб, суюқ моддаларнинг қовушқоқлигини ўлчашни асбобий амалга ошириш учун энг истиқболли усулни асослаш ва танлаш;

капилляр оқимли вискозиметрлардаги ўлчаш-ўзгартириш жараёнларини назарий таҳлил этиш ва моделлаштириш;

таклиф этилган оқим вискозиметрларининг метрологик тавсифларини тадқиқ этиш ва шунинг асосида суюқлик қовушқоқлиги кўрсаткичи бўйича экспресс назорат ва бошқаришнинг техник воситаларини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган суюқликлар қовушқоқлигининг бирламчи ўлчаш ўзгарткичлари ва анализаторлари сезгирлиги, аниқлиги, тезкорлиги, статик ва динамик тавсифлари ҳамда бошқа метрологик кўрсаткичларини ошириш услубини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган вискозиметрларни саноатда синаш ва суюқ маҳсулотлар қовушқоқлигини автоматик назорат қилиш тизимини жорий этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида саноат ишлаб чиқаришларининг технологик жараёнларини суюқ маҳсулотлари қовушқоқлигини ўлчаш жараёнлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** суюқликлар қовушқоқлигининг ўлчаш усуллари ва воситалари ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида суюқликлар гидродинамикаси, назарий механика қоидалари, қовушқоқликни ўлчаш ва

назорат қилиш усуллари, автоматик бошқариш назарияси усуллари ва технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни моделлаштириш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

муҳандислик башоратлари усули ёрдамида суяқ муҳитларнинг қовушқоқлигини ўлчаш ўзгарткичларини ўтказиш қобилияти ва фойдали ишининг ахборот-энергетик коэффициентини аниқловчи тенгламалар ишлаб чиқилган;

капиллярли вискозиметрлар бирламчи ўлчаш ўзгарткичлари сезгир элементида кечадиган ўлчаш-ўзгартириш жараёнларининг математик модели ишлаб чиқилган;

қовушқоқликни оқимли капиллярли вискозиметрлар ёрдамида ўлчашда сезгирликни ошириш усули суяқликни сезгир элементга тегиш юзасини ошириш асосида такомиллаштирилган;

капиллярли вискозиметрларда қовушқоқликни ўлчаш диапазонини ошириш усули гидравлик ораликни ўзгартириш асосида такомиллаштирилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

юқори сезгирликка ва кенгайтирилган диапазонга эга бўлган қовушқоқлик ўлчагичлар конструкцияси ишлаб чиқилган;

ишлаб чиқилган вискозиметрларнинг ўрнатилган ва ўрнатилмаган иш режимларидаги метрологик тавсифлари тажриба-синовларда олинган;

капиллярли оқим вискозиметрлари сезгир элементининг конструктив параметрларини ҳисоблашнинг дастурий амалга оширилган алгоритмлари ишлаб чиқилган;

ўлчанаётган параметрга назорат қилинаётган муҳитнинг ҳарорати ва зичлиги бўйича автоматик тузатма киритиш алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги назарий асосланган, амалий текширилган концепцияларнинг қўлланилганлиги, математик моделлаштириш усулларида тўғри фойдаланилганлиги, имитацион моделлаштириш ва синов-тажриба натижаларининг қатъий таққосланганлиги, ишлаб чиқилган суяқ муҳитлар қовушқоқлигини автоматик назорат қилиш қурилмалари саноат-синов апробацияси, мавжуд ва ишлаб чиқилган тизимларнинг илмий ва тажрибавий тадқиқоти ва синовлари натижаларининг ўзаро мослиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ўлчаш ўзгарткичи сезгир элементининг шаклини геометрияси ва ўлчамларини оқилона ўзгартириш концепцияси нуқтаиназаридан капиллярли вискозиметрлар яшашнинг назарий асосларини такомиллаштириш, қовушқоқлик анализаторларининг ўлчаш ўзгарткичини монанд математик тавсифларини ишлаб чиқишдан иборат бўлиб, суяқлик оқимининг ишчи юзаси ўзгарувчан бўлган капиллярлар вискозиметрларда қўлланилганда, ўлчаш диапазонини 5–8 баробарга кенгайтириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кириш ахбороти ноаниқ бўлганда тадқиқ қилинаётган суюқликнинг қовушқоқлигини аниқ ва тезкор ўлчаш учун қурилма ишлаб чиқишдан иборат бўлиб, тадқиқ қилинаётган суюқлик ҳарорати ва зичлиги бўйича асбобнинг кўрсатмаларига тузатмали капиллярли оқим вискозиметрларининг афзаллиги, уларни сезгир элементини конструктив параметрларини ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Суюқ маҳсулотларнинг қовушқоқлигини автоматик назорат қилиш ва ростлаш тизимларини тадқиқ қилишда, юқори аниқликка эга қовушқоқлик ўлчаш воситаларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

технологик жараёнларнинг суюқ маҳсулотлари қовушқоқлигини узлуксиз назорат қилиш қурилмаси «ОНИКС-Ташкент» МЧЖда жорий этилган («Ўзэлтехсаноат» АКнинг 2018 йил 14 апрелидаги 01-869-сон маълумотномаси). Натижада якуний маҳсулот сифатини ошириш ва яроқсиз маҳсулотлар чиқишини камайтириш имконини яратган;

суюқ маҳсулотлар қовушқоқлигини узлуксиз назорат қилиш қурилмаси кўрсаткичига автоматик тарзда тузатма киритиш учун ишлаб чиқилган дастурий таъминот «ОНИКС-Ташкент» МЧЖда жорий қилинган («Ўзэлтехсаноат» АКнинг 2018 йил 14 апрелидаги 01-869-сон маълумотномаси). Натижада тадқиқ қилинаётган суюқлик зичлиги ва ҳароратининг ўзгариши бўйича ўлчаш асбобини кўрсаткичига автоматик тарзда тузатма киритиш орқали ўлчашнинг юқори аниқлигини таъминлаш имконини берган;

суюқ маҳсулотлар қовушқоқлигини узлуксиз назорат қилиш қурилмаси сезгир элементининг конструктив параметрларини ҳисоблаш алгоритми «ОНИКС-Ташкент» МЧЖда жорий қилинган («Ўзэлтехсаноат» АКнинг 2018 йил 14 апрелидаги 01-869-сон маълумотномаси). Натижада вискозиметр сезгир элементининг конструктив параметрларини ҳисоблаш алгоритми ўлчашнинг юқори сезгирлигини таъминлаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертация тадқиқоти натижалари 5 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Бажарилган тадқиқот натижалари бўйича жами 23 та илмий иш, жумладан, 1 та монография, 11 та мақола, хорижда ва республика журналларида нашр қилинган, шунингдек ЭҶМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш ҳақидаги 1 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати, иловалардан иборат ва 121 саҳифа асосий матн, 65 та расм, 4 жадвалдан ташкил топган.

## 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 **«Ишлаб чиқаришнинг натижавий суюқ маҳсулоти қовушқоқлиги бўйича технологик жараёнларни автоматик назорат қилиш ва ростлаш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати»** номли биринчи бобида суюқ маҳсулотларнинг қовушқоқлигини ўлчаш ва ростлашга бағишланган илмий-тадқиқот ишларининг адабиётлари шарҳи келтирилган.

Суюқ технологик маҳсулотнинг сифатини тавсифловчи муҳим кўрсаткичлардан бири – қовушқоқлик ҳисобланади. Кўп ҳолларда, яқуний маҳсулотлар сифати шу параметрни белгиланган қийматда сақлаш аниқлигига боғлиқ бўлади. Айни вақтда, қовушқоқликни тезкор назорат қилиш ва ростлашга қодир бўлган мавжуд техник воситалар жамланмаси ва арсенали катта эмас, шу мақсадга яроқли бўлган вискозиметрларнинг кам сонли намуналари эса юқори бўлмаган метрологик тавсифларга эга бўлиб, ё қўлланилиш соҳаси етарлича кенг эмас. Кўриб чиқиладиган асбобларнинг қониқарсиз фойдаланиш тавсифлари ҳамда суюқ маҳсулотлар қовушқоқлигини ўлчаш ва назорат қилиш натижаларининг такрорланувчанлигини қониқарсиз кўрсаткичи бу камчиликларни янада чуқурлаштиради.

Тадқиқот ишида кимёвий-технологик жараёнларга хос бўлган қовушқоқликни ўлчашнинг ўзига хос шароитлари ўрганилган ва шу асосда қовушқоқликни назорат қилишнинг мавжуд капиллярли, ротацион, ультратовушли ва бошқа вискозиметрлари таснифи таклиф қилинган. Муҳандислик башоратлари усули ёрдамида охириги 15 йиллик адабиётлар тахлили шуни кўрсатадики саноат вискозиметрияси амалиётида капиллярли вискозиметрлар энг кенг тарқалганлиги қайд қилинган: суюқликларнинг қовушқоқлигини ўлчашнинг ярмидан ортиғи шу синф асбоблари ёрдамида амалга оширилади. Диссертация тадқиқоти мавзуси соҳасида мавжуд адабиётларнинг тахлилий шарҳи натижалари бўйича ишлаб чиқариш ва технологик жараёнларни назорат қилиш ва бошқариш тизимларида автоматик вискозиметрларни қўллаш бўйича тавсиялар келтирилган.

Диссертациянинг **«Капиллярли вискозиметрларда ўлчаш ўзгартиришлари жараёнларининг назарий таҳлили»** деб номланган иккинчи бобида технологик муҳитлар қовушқоқлигини ўлчаш учун асбоблар ишлаб чиқишнинг илмий-услубий асослари баён қилинган. Вискозиметрнинг сезгир элементи орқали назорат қилинаётган суюқликнинг оқиш қонуниятлари таҳлил қилинган. Назорат қилинаётган суюқлик билан сезгир

элементни таъсирлашиш юзасини катталаштириш ва шунинг билан бир қаторда асбобнинг сезгирлигини ошириш мақсадида цилиндрсимон стерженни най ичига жойлаштиришнинг конструктив йўли таклиф этилган. Капиллярли вискозиметрнинг габарит ўлчамлари бир оз катталашшига қарамасдан капиллярнинг гидравлик диаметрини кичиклаштириш имконияти таъминланади. Тадқиқот ишида цилиндрсимон стерженни капилляр ичига жойлаштиришнинг бундай йўли ўзини оқлаши ва конструктив эканлигини кўрсатувчи математик тавсифлар таҳлилий усуллар билан олинган. Оқишнинг ламинар режимида оқимнинг барча нуқталарида маҳаллий тезликлар ўзгармайди. 1-расмда суюқлик оқимининг ламинар шароитида ичига цилиндрсимон стержен ўрнатилган капиллярда суюқликнинг оқиши тасвирланган. Қовушқоқликни ўлчаш учун  $D$  диаметри капиллярдан фойдаланилган. Орасидаги масофа  $l$  бўлган  $P_1$  ва  $P_2$  босимлар олиш нуқталари ораси босимлар фарқи ўлчанган.

Капиллярда суюқлик оқимиغا босим кучи  $F_6$

$$F_6 = \pi R^2 (P_1 - P_2), \quad (1)$$

ва ишқаланиш кучи

$$F_u = (2\pi R l \eta) dV/dr = S \eta dV/dr. \quad (2)$$

таъсир қилади.

Суюқликнинг барқарор ҳаракатида ( $S$ ) сиртга таъсир қиладиган босим кучи билан ишқаланиш кучининг фарқи нолга тенг:

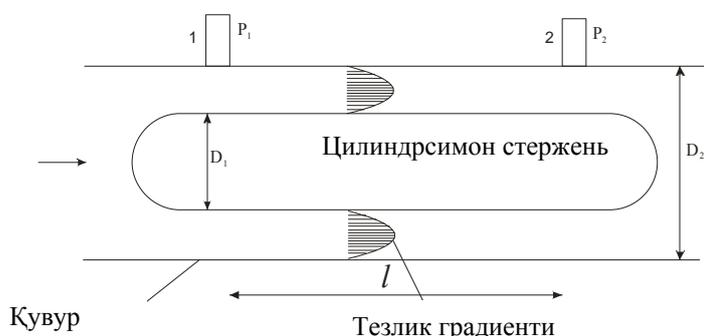
$$S(P_1 - P_2) - T_0 = 0. \quad (3)$$

Қуйидаги ифодани ҳисобга олсак,

$$P_1 - P_2 = \Delta P_p;$$

$$S = \int_r^R 2\pi r dr. \quad (4)$$

бу ерда:  $P_1, P_2$  – капилляр учларидаги гидродинамик босимлар;  $T_0$  – стержень сирти ва капилляр деворидаги ишқаланиш кучи (бунда улар бир хил материалдан тайёрланган);  $R$  – капилляр диаметри;  $r$  – стержень диаметри.



1-расм. Ўқдош цилиндрлар орасида суюқликнинг оқиш схемаси.

Суюқликнинг оқиш режими ламинар режим бўлиши учун Рейнольдс

сони  $Re_{кр}$  дан кичик бўлиши лозим:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (5)$$

бу ерда:  $\rho$  – суюқликнинг зичлиги,  $\frac{кг}{м^3}$ ;  $v$  – оқимнинг тезлиги,  $\frac{м}{с}$ ;

$D_2$  – гидравлик диаметр,  $м$ ;  $\mu$  – динамик қовушқоқлик коэффиценти,  $Па \cdot с$ .

Ҳалқасимон кесимнинг гидравлик диаметри

$$D_2 = D_2 - D_1, \quad (6)$$

бу ерда:  $D_1$  ва  $D_2$  – мос равишда цилиндрларнинг диаметрлари.

Ҳалқасимон тирқишни чизикли тирқиш сифатида қабул қилсак, у ҳолда шу тирқишдан (ламинар режимда) оқаётган суюқлик сарфининг қуйидаги формуласидан фойдаланиш мумкин:

$$Q = \frac{\Delta p \delta^3 B}{12 \mu l}, \quad (7)$$

бу ерда:  $\Delta p$  – тирқишда суюқлик оқимини юзага келтирган босимлар фарқи,  $Па$ ;  $\delta$ ,  $B$  ва  $l$  – мос равишда тирқишнинг баландлиги, кенглиги ва узунлиги;  $\mu$  – динамик қовушқоқлик коэффиценти,  $Па \cdot с$ .

Ҳалқасимон тирқиш учун тирқишнинг кенглиги ва баландлиги қуйидагича аниқланади:

$$B = \pi \frac{D_1 + D_2}{2}, \quad (8)$$

$$\delta = \frac{D_2 - D_1}{2}. \quad (9)$$

Суюқликнинг тирқишдаги тезлиги:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{B \cdot \delta} = \frac{\Delta p \delta^2}{12 \mu l}. \quad (10)$$

Юқоридаги тенглама таклиф қилинган конструкцияли капиллярда оқимнинг ламинар режимда тадқиқ қилинаётган суюқликнинг канал кесими бўйича оқиш тезлигини беради. Ишқаланишга йўқотилган босим қуйидагича аниқланган:

$$\Delta P = \frac{12 Q \mu L}{\left(\frac{D_2 - D_1}{2}\right)^3 \pi \frac{D_1 + D_2}{2}}. \quad (11)$$

Бундан қуйидаги ифода олинган:

$$\Delta P = \frac{192 Q \mu L}{\pi D_2^3 (2D_2 - D_2)}. \quad (12)$$

Мазкур ифода ичида стержень мавжуд капиллярда, суюқликнинг ламинар оқимида, капиллярнинг учларидаги босимлар фарқи тадқиқ қилинаётган суюқлик қовушқоқлигига мутаносиб эканлигини кўрсатади. Бошқача қилиб айтганда, ламинар оқимда “коаксиал капилляр”даги қовушқоқлик ишқаланишига йўқотилган босим тадқиқ қилинаётган суюқлик қовушқоқлигига мутаносиб бўлади (ўлчаш тизимининг геометрик параметрлари ўзгармас деб ҳисобланади).

Суюқликнинг ламинар ҳаракати структурасини ва бунда ҳосил бўлувчи гидравлик қаршилиқларни тавсифловчи, олинган математик моделлар асосида капилляр учларидаги босимлар фарқи  $\Delta P$  аниқланади. Тадқиқ қилинаётган суюқликнинг капилляр най орқали энг мақбул оқиш режимини ташкил қилиш имкониятини таъминлаш ва турли гидродинамик самара таъсирини ҳисобга олиш учун капиллярли вискозиметрнинг ишчи сатҳида унинг турли иш режимларидаги назарий тадқиқоти амалга оширилган. Босимлар фарқи ўзгармас сарф ўлчагичларнинг конструктив қисмларидан суюқликларни оқишининг ўзига хос хусусиятлари таҳлили таклиф қилинаётган конструктив усулни қовушқоқлик ўлчашнинг бирламчи асбоблари функционал схемаларига қўллаш имконияти ва истикболлини кўрсатади.

Тадқиқот ишида тобора торайиб борувчи юмалоқ кесимли, тобора кенгайиб борувчи юмалоқ кесимли ва тобора кенгайиб борувчи ҳалқасимон кесимли капиллярлар билан суюқликнинг ламинар оқиши таҳлил қилинган. Ламинар оқимнинг кинематик структураси ва бунда ҳосил бўлувчи гидравлик қаршилиқларнинг назарий таҳлили асосида маҳаллий қаршилиқлар (ва мос равишда капиллярда босим йўқотилиши) тадқиқ қилинаётган суюқликнинг қовушқоқлигига боғлиқлиги аниқланган. Капилляр ичига ўрнатилган конфузорни қўллаш орқали кириш сигналига бўлган сезгирликни оширишга эришиш мумкин, бу эса капиллярли қовушқоқлик бирламчи ўлчаш ўзгарткичи (ҚБЎЎ)ни такомиллаштириш йўлларида биридир.

Суюқликлар қовушқоқлигини ўлчаш учун қурилмалар конструкциясини ишлаб чиқишда, ўлчаш ўзгарткичларини шакли ва ўлчамларини аниқлашда, шунингдек, капиллярли вискозиметрларнинг энг мақбул иш режимларини танлашда, қуйидаги:

капилляр орқали назорат қилинаётган суюқликнинг ламинар оқиш режимини таъминлаш;

капиллярли қурилма блокиннинг геометрияси қовушқоқлик ўлчагичнинг даражалаш тавсифининг узатиш коэффициентига кириш самараларини минимал таъсирини таъминлаши;

бошланғич соҳадаги самараларни суллаштириш учун капилляр узунлиги  $l_{ox} \geq l_{бош}$  шартдан танланади (бу ерда  $l_{бош}$  бошланғич соҳа узунлиги);

назорат қилинаётган суюқликнинг капиллярдаги тезлигини кенг диапазонда ростлаш имконияти;

асбобнинг доимий параметрлари созламаларида қовушқоқликни  $1 \div 2000$   $мПа \cdot с$  диапазонида 1,5 % дан ошмайдиган хатолик билан ўлчаш ахборотини автоматик тўплаш ва қайта ишлашни таъминлаш каби шартлар бажарилишида санаб ўтилган омиллар ва жиҳатлар мажмуи ҳисобга олинган.

Олинган аналитик ифодалар, капилляр ичида цилиндрсимон стерженни қўллаш, бирламчи ўлчаш ўзгарткичи (БЎЎ)нинг ўлчаш сезгирлигини ошишига ёрдам бериши муқаррарлиги аниқланган. БЎЎ да ҳосил бўлувчи босим йўқотилишининг ифодаси маълум ифодалардан стерженнинг радиусига тўғри мутаносиб ва капиллярнинг радиусига тескари мутаносиб бўлган  $K_k$  катталиқка фарқ қилишини кўрсатди. Тадқиқот ишидаги ҳисоблаш

натижалари асосида ҚБЎЎ ларнинг ўлчаш имкониятларини такомиллаштириш йўллари асосланган.

Диссертациянинг «Суюқ муҳитлар учун вискозиметрлар ишлаб чиқиш ва уларнинг статик иш режимидаги тавсифларини тадқиқ қилиш» номли учинчи бобида маълум аналоглардан вискозиметр капиллярининг эгри қилиб ясалганлиги билан фарқ қилувчи капиллярли вискозиметр таклиф қилинган, бунда капилляр диаметри  $d$  га ва эгрилик диаметри  $D$  га тенг. Автоматик вискозиметрнинг конструкцияси 2-расмда келтирилган.

Вискозиметрнинг ишлаш принципи қуйидагича. Тадқиқ қилинаётган суюқлик доимий сарфли насос орқали капиллярга келади. Капилляр учларидаги босимлар фарқи микродифманометр билан ўлчанади. Бунда эгри капилляр ўлчаш диапазонининг қуйи чегараси Рейнольдс сонининг критик қийматига боғлиқ бўлади.

Капиллярли автоматик вискозиметрнинг ўлчаш диапазони:

$$D = (\text{СЭнинг ўлчаш диапазони}) \cap (\text{дифманометрнинг ўлчаш диапазони}).$$

СЭнинг, яъни капиллярнинг ўлчаш диапазони қуйидаги шартдан аниқланади:

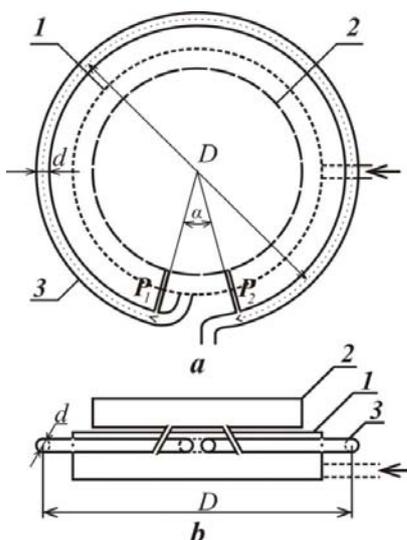
$$Re_{кр} = \frac{\rho \omega d_e}{\mu}. \quad (13)$$

Тўғри капилляр учун  $Re_{кр}$  :

$$Re_{кр} = 2320.$$

Капиллярда суюқликнинг ламинар оқишини таъминлаш учун  $Re \leq Re_{кр}$  бўлиши талаб этилади, бундан тадқиқ қилинаётган суюқлик қовушқоқлиги учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

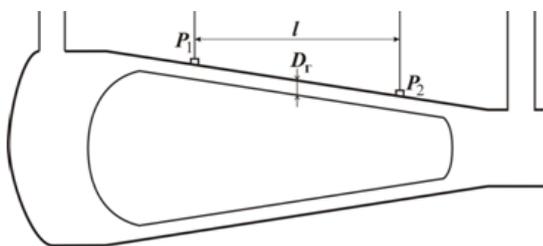
$$\mu \geq \frac{\rho \omega d}{Re_{кр}}. \quad (14)$$



**2-расм.** Узлуксиз ишлайдиган капиллярли автоматик вискозиметр ( $a$  – олд томонидан кўриниши,  $b$  – ён томонидан кўриниши): 1- доимий сарф насоси, 2- капилляр, 3- микродифманометр.

Таклиф қилинаётган капиллярли автоматик вискозиметрнинг конструкцияси қуйидаги афзалликларга эга: одатий капиллярли автоматик вискозиметрнинг ўлчаш диапазониغا қараганда диапазони қуйи чегарасининг кенгайтирилганлиги, габарити одатий капиллярли автоматик вискозиметрнинг габаритларига қараганда 3 марта ихчамроқ.

Тадқиқот ишида юқори аниқликка ва кенгроқ ўлчаш диапазониغا эга капиллярли вискозиметрнинг конструкцияси ишлаб чиқилган. СЭ нинг тадқиқ қилинаётган суюқлик билан таъсирлашиш юзасини ошириш мақсадида, капилляр ичида стерженни қўллашдан иборат бўлган, суюқлик қовушқоқлигини ўлчаш тизимининг конструктив шакли таклиф қилинган. Бу конструктив йўлни амалга оширувчи қовушқоқликнинг бирламчи ўзгарткичи схемаси 3-расмда келтирилган. Ички стержень капилляр ичида, босим олиш нуқталари орасида жойлаштирилган.



3-расм. Суюқлик қовушқоқлигининг бирламчи ўзгарткичи схемаси.

Назорат қилинаётган суюқликнинг СЭ орқали оқишида унинг ўқдош конуслар орасидаги ламинар оқимини кинематик структураси ва бунда ҳосил бўлган гидравлик қаршилик кўриб чиқилган. Муҳитнинг оқим бўйлаб ўзгармас гидравлик диаметрли капиллярдаги ҳаракати раван ва барқарорлашган деб ҳисобланган.

Тадқиқот ишида ичига конуссимон стержень ўрнатилган конфузур орқали суюқлик ҳаракатининг математик модели олинган. Рейнольдс сонининг кичик қийматлари билан тавсифланувчи суюқлик оқимининг ламинар режимида бундай ҳолат ўз ўрнига эга. Конфузурли тирқишнинг барқарорлашган соҳаси учун ламинар оқим назарияси кўриб чиқилган. Конфузур ичига конус жойлаштиришнинг конструктив усули СЭ билан назорат қилинаётган суюқлик таъсирлашиш юзасини катталаштириш, шунингдек босим тушишини ошириш ва шу орқали асбобнинг сезгирлигини оширишга интилиш сабабли юзага келган. Оддий капиллярли вискозиметрдан фарқли равишда оқимнинг гидравлик диаметри ўзгармасдан туриб торайишидан иборат. Бунда босим тушиши қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta P_{ум} = \Delta P_{ишк} + \Delta P_{тор}. \quad (15)$$

Ишқаланишга йўқотилган босим:

$$\Delta P_{ишк} = \frac{192 \mu l Q}{\pi D_e^3 (2D_{2\dot{y}p} - D_e)}, \quad (16)$$

бу ерда:  $D_e = D_2 - D_1 = D_2' - D_1'$  ва  $D_{2cp} = \frac{D_2 + D_2'}{2}$ .

Торайишда босимнинг тушиши:

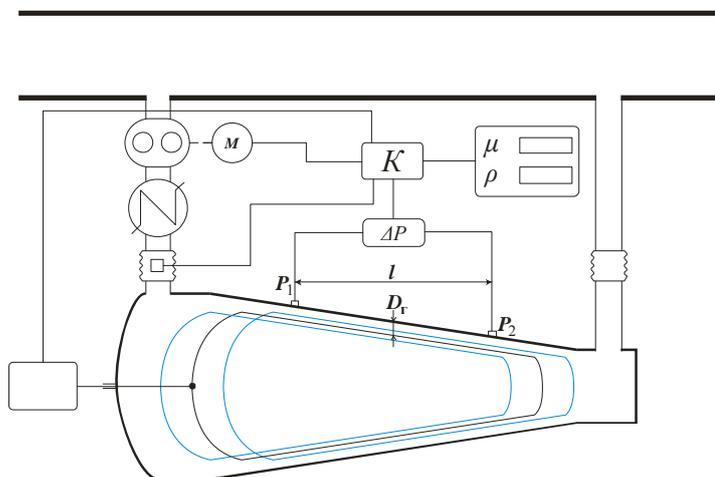
$$\Delta P_{\text{тор}} = \frac{\rho}{2} (\omega_2^2 - \omega_1^2) = \frac{\rho}{2} Q^2 \left( \frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right). \quad (17)$$

Ишлаб чиқилган конструкция учун ҳаққоний бўлган ва қовушқоқликнинг бирламчи ўзгарткичини статик модели ҳисобланган, тадқиқ қилинаётган суюқлик қовушқоқлиги ўзгаришига боғлиқ босимлар фарқининг ифодаси қуйидагича:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{\text{ишк}}, \quad (18)$$

бу ерда:  $\Delta P_c$  – торайишда ҳосил бўладиган босимлар фарқи, *Па* ;  
 $\Delta P_{\text{ишк}}$  – қовушқоқлик ўзгаришидаги босимлар фарқи, *Па* .

Ишлаб чиқилган вискозиметрнинг принципиал схемаси 4-расмда келтирилган. Вискозиметр қуйидагича ишлайди. Шестернали насос тадқиқ қилинаётган суюқликни технологик тармоқдан (ўтказиш қувири ёки қурилмадан) олиб, термостатга доимий сарф билан узатади. Суюқлик маълум ҳароратгача қиздирилади ёки совитилади. Назорат қилинаётган суюқлик босим остида конуссимон горизонтал капилляр орқали сиқиб чиқарилади. Суюқликнинг капиллярда оқиши вақтида капилляр учларидаги босимлар фарқи ўлчанади ва тензодатчиклардаги таранглик ҳақидаги ахборот микроконтроллерга узатилади. Микроконтроллерда ишлаб чиқилган бошқариш таъсири бўйича капиллярнинг гидравлик диаметрини ўзгартирган ҳолда юритма капилляр ичидаги конусни керакли ҳолатга ўрнатади. Вискозиметрнинг ҳарорат режими бўйича ишга тайёрлиги ҳақидаги сигнал ҳарорат датчигидан микроконтроллерга узатилади.



**4-расм.** Суюқлик қовушқоқлигини ўлчаш қурилмасининг принципиал схемаси.

Таклиф этилаётган капилляр вискозиметрда капилляр ичидаги шток кўринишидаги ҳаракатланувчи конуснинг мавжудлиги капиллярли вискозиметрнинг қовушқоқлик ўлчаш диапазонини катталаштиради, натижада, ўлчашнинг бутун диапазонида суюқликлар қовушқоқлигини юқори аниқлик билан ўлчаш таъминланади.

Капилляр ва шток диаметри ва ҳажмининг бир хиллиги зарурати Пуазейл қонунини ҳисобга олган ҳолда ҳисоб-конструкторлик ишловлари билан

белгиланди:

$$\mu = \frac{\pi D_2^3 \Delta P_{\text{ин}} (2D_{2\text{ўр}} - D_2)}{192 Q l}, \quad (19)$$

бу ерда:  $\mu$  – динамик қовушқоқлик коэффициентини,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;  $D_2$  – гидравлик диаметр,  $\text{мм}$ ;  $Q$  – суюқликнинг ҳажмий сарфи,  $\text{м}^3/\text{соат}$ ;  $\Delta P$  – капилляр учларидаги босимлар фарқи,  $\text{Па}$ ;  $l$  – капилляр узунлиги,  $\text{мм}$ .

Конуссимон капиллярда капилляр учларидаги босимлар фарқи қовушқоқлик ишқаланиши, шунингдек капиллярнинг торайиши ҳисобига босимнинг тушиши натижасида юзага келади:

$$\mu = K \cdot \Delta P. \quad (20)$$

бу ерда:

$$K = \frac{\pi D_2^3 (2D_2 - D_2)}{192 Q l}.$$

Тадқиқ қилинаётган суюқлик қовушқоқлиги камайганда, ламинар оқимни сақлаш учун, конфузорли тирқиш орқали оқаётган суюқлик сарфини камайтириш лозим. Чиқаётган суюқлик қурилмага ёки ўтказиш қувурига қайтарилади.

Бу жараёнларнинг барчаси вискозиметрнинг микроконтроллерли тизими ёрдамида назорат қилинади, ростланади ва ҳисобланади.

Қовушқоқликнинг такомиллаштирилган бирламчи ўзгарткичининг тажриба орқали олинган статик тавсифи таҳлили, ўзининг аниқлилик тавсифлари бўйича, мавжуд аналогларга қараганда қатор афзалликларга эгаллигини кўрсатади.

Босимлар фарқининг тадқиқ қилинаётган суюқлик сарфи пульсланишига боғлиқлиги ўлчаш натижаларини маълум даражада бузиб кўрсатади. Бундай самарани бартараф этиш учун қовушқоқлик ўлчагичининг конструкциясини ўзгартириш мақсадга мувофиқдир, бу эса тадқиқотнинг ривожланиш йўлини белгилаб беради.

Вискозиметрни калибрлаш учун тажриба йўли билан олинган ўлчаш натижаларини силликлантириш лозим. Бунда олинган ифода асбобнинг даражалаш тавсифини кўрсатади.

Тадқиқот ишида капилляр орқали оқаётган суюқлик оқимида турли омилларнинг таъсири тадқиқ қилинган. Капилляр узунлигининг тақдир қилинаётган вискозиметрнинг кўрсатмаларига таъсири ўрганилган, капиллярнинг узунлиги ва диаметрларини турли қийматларида қовушқоқликнинг тадқиқи бўйича тажриба натижалари таҳлил қилинган. ҚБЎЎнинг сезгирлиги капилляр узунлиги катталаштирилганида ошиши, диаметри катталаштирилганида эса камайиши аниқланган. Ишлаб чиқилган капиллярли вискозиметрнинг конструктив хоссалари ҳисобга олинган ҳолда ўлчаш хатолигининг назарий таҳлили ўтказилган. Ишлаб чиқилган вискозиметрларнинг метрологик тавсифлари модел эритмаларда тажрибавий тадқиқ қилинди. Хусусан, ўлчаш натижаларининг тасодифий хатоликларининг тақсимоли нормал қонуниятга бўйсунуши кўрсатилган.

**«Суюқ маҳсулотлар қовушқоқлигини автоматик ростлаш тизимини ишлаб чиқиш ва жорий этиш»** деб номланган тўртинчи бобда диссертация

ишланмаларининг жорий қилинишидаги техник жиҳатдан амалга ошириш ва техник-иқтисодий самараси масалалари кўриб чиқилган. Шиша суюқланмаси қовушқоқлигини ростлаш тизимини функционал ва принципал схемалари баён қилинган. Микропроцессорли техника воситалари негизида суюқ маҳсулотларнинг қовушқоқлигини автоматик бошқариш тизими таклиф қилинган. Ўлчанаётган муҳитнинг зичлиги ва ҳарорати бўйича автоматик тузатма киритиш имкониятига эга бўлган, суюқлик қовушқоқлигини автоматик назорат қилиш тизимининг структуравий схемаларини вариантлари келтирилган.

Ўлчаш хатолигини термокомпенсациялашнинг энг содда алгоритмик синфга тегишли усули, бир вақтда капилляр учларидаги босимлар фарқини аниқлаш асосида амалга ошириладиган асосий параметр – қовушқоқлик  $\nu$  ва назорат қилинаётган муҳитнинг қўшимча параметрлари – муҳитнинг ҳарорати ( $T$ ), массаси ( $M$ ), шунингдек, шестернали насос валининг айланиш часотасини ўлчашдан ва олинган маълумотлар бўйича анализаторнинг чиқиш сигналига тузатмалар киритишдан иборат.

Ҳисоблаш қурилмасига келувчи  $T$ ,  $S$  ва  $P$  ларни унификацияланган сигналга ўзгартириш қўшимча воситалар ёрдамида амалга оширилади. Микропроцессорнинг хотирасида анализаторнинг натижалари хатолигига турли параметрларнинг таъсирини акс эттирувчи функция ҳақидаги ахборот сақланади. Микроконтроллер, айти вақтдаги қовушқоқликни, бу параметрлар ҳақидаги ахборот асосида процессорга ўрнатилган функционал боғлиқликка мувофиқ равишда аниқлайди:

$$\mu = \frac{\pi D_2^3 \Delta P_{\text{шук}} (2D_{2\text{yp}} - D_2)}{192 Q l}, \quad (21)$$

бу ерда:  $D_2$  – гидравлик диаметр, мм;  $Q$  – суюқликнинг ҳажмий сарфи,  $\text{м}^3/\text{соат}$ ;  $\Delta P$  – капилляр учларидаги босимлар фарқи, Па;  $l$  – капилляр узунлиги, мм.

Гидравлик диаметр қиймати ҳолат датчигидан олинган  $S$  маълумот бўйича микроконтроллер томонидан аниқланади:

$$D_2 = C_1 S. \quad (22)$$

Капилляр узунлиги – доимий (бизнинг ҳолда 20 см га тенг). Микроконтроллер босимлар фарқининг қийматини дифференциал манометр чиқишидан олади.

Капилляр орқали оқаётган суюқликнинг сарфи сервоюритма ёрдамида ростланади ва қуйидагича аниқланади:

$$Q < \frac{500 \mu D_2}{\rho}. \quad (23)$$

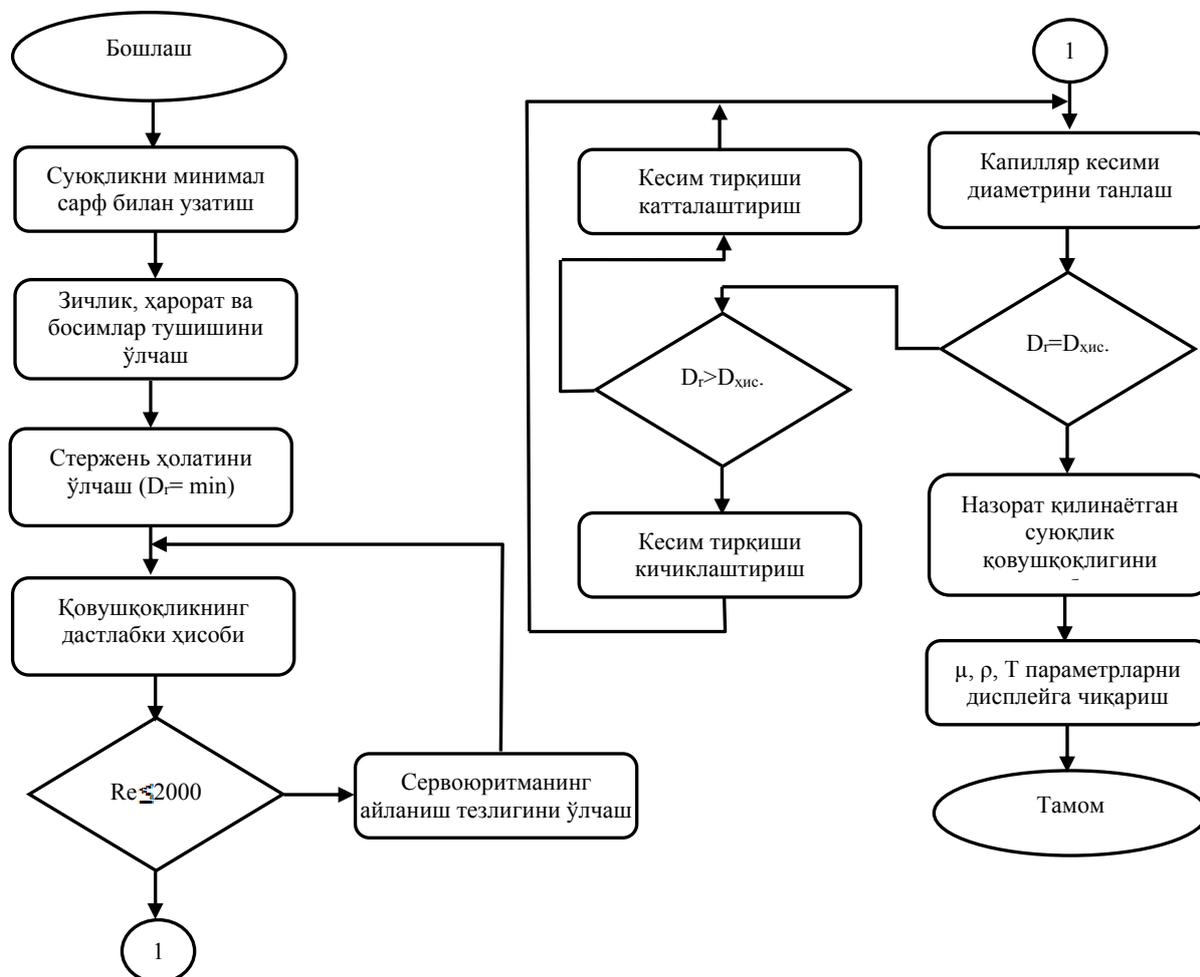
Сервоюритманинг айланиш тезлиги қовушқоқлик қиймати ва ишчи кесим  $D_2$  га боғлиқ ҳолда ростланади. Зичлик  $\rho$  ни қиймати процессор томонидан унга ёзилган функционал боғланиш бўйича ҳисобланади:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (24)$$

бу ерда:  $m$  – тадқиқ қилинаётган модданинг массаси (бунда унинг қиймати қурилмага ўрнатилган тензодатчиклар ёрдамида олинади);

$V$  – қурилма ҳажми ( $V=const$ ).

Электр двигателини танлашда асосий маълумотлар – чиқиш валининг айланиш частотаси ва қуввати ҳисобланади. Шестернали насос тезлигини ростлаш учун доимий ток юритмасидан фойдаланиш таклиф қилинган. Двигателнинг айланиш частотасини ростлаш учун редуктор қўлланилган. Қовушқоқликни аниқлашнинг баён қилинган усули алгоритми 5-расмда келтирилган.



5-расм. Назорат қилинаётган сууюқлик қовушқоқлигини аниқлаш алгоритми

Тадқиқ қилинаётган сууюқлик қовушқоқлиги, ҳарорати ва зичлиги ҳақидаги маълумотлар қурилма дисплейида кўрсатилади. Микропроцессорли тизим кўп мартали кузатишлар натижаларини тўплаб, уларни муайян алгоритм бўйича қайта ишлаш имконини беради.

## ХУЛОСА

«Сууюқ маҳсулотлар сифатини уларнинг қовушқоқлиги бўйича назорат қилиш» мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Сууюқ муҳитларнинг қовушқоқлигини автоматик ўлчаш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган ҳамда уларнинг келгусидаги

ривожланиш ва такомиллашиш тенденциялари аниқланган, шунингдек тадқиқот предмети соҳасидаги сўнгги 15 йиллик патент адабиётларини таҳлил қилиш усули ёрдамида замонавий вискозиметрияда суяқ муҳитларнинг қовушқоқлигини ўлчашнинг капиллярли усули ривожлантириш ва такомиллаштириш тенденциялари аниқланган.

2. Ньютон суяқликлари учун замонавий автоматик вискозиметрларга саноат ишлаб чиқариши томонидан қўйиладиган талаблар шакллантирилган, муҳандислик башоратлари усули ёрдамида суяқ муҳитларнинг қовушқоқлигини ўлчаш ўзгарткичларини ўтказиш қобилияти ва фойдали ишининг ахборот-энергетик коэффицентини аниқлаш, шунингдек таҳлил қилинаётган вискозиметрларнинг техник даражаси ва турлича ишлаш принциплари самарадорлигини баҳолаш имконини берувчи аналитик ифодалар ишлаб чиқилган ҳамда тадқиқотнинг асосий мақсадига эришишда капиллярли вискозиметрлар энг истиқболли эканлиги аниқланган;

3. Автоматик ўлчаш қурилмалари: диаметри ўзгарувчи капиллярга эга оқимли вискозиметр, яхшиланган масса-габаритли тавсифларга эга оқимли вискозиметрлар серияси таклиф қилинган. Бунда улар учун қатор метрологик тадқиқотлар мажмуи амалга ошириш имконини беради:

ўлчаш хатоликларининг асосий гуруҳини таҳлил қилиш ва уларни камайтириш имконини берган;

суяқликлар қовушқоқлигининг ўлчаш ўзгарткичларини сезгирлигини ошириш усуллари ишлаб чиқилган;

таклиф этилган вискозиметрларнинг даражаланиш масалаларини асослаб ечиш, диагностика қилиш ва оптималлаштириш учун математик тавсифлар олинган.

4. Оқимли капиллярли вискозиметрларнинг хатолигини автоматик термокомпенсациялаш усули ва вискозиметрнинг кўрсатмаларига дастурий тузатмалар киритиш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

5. Таклиф қилинган капиллярли вискозиметрни макетли намунаси қурилма шаклида амалга оширилган ва «ОНИКС-Тошкент» МЧЖда саноат-тажриба синовлари орқали етарлича юқори метрологик тавсифлар (максимал нисбий хатолик 1,5 %)га эга эканлиги аниқланган бўлиб, натижада ўлчаш ва ўлчаш натижаларини қайта ишлаш жараёнларини автоматлаштириш, асбобнинг кенгайтирилган ўлчаш диапазонини таъминлаш имконини берган.

6. «ОНИКС-Тошкент» МЧЖдаги маҳсулотлар қовушқоқлигини тезкор назорат қилиш ва ростлаш тизимларининг таклиф этилган принципал ва функционал схемалари қовушқоқликни ўзгаришини камайтириш, шу билан биргаликда тайёр маҳсулот сифатини таъминлаш имконини беради.

7. Амалга оширилган илмий-услубий ёндашув технологик жараёнларни хом ашё, ярим тайёр ва тайёр маҳсулотлар бўйича назорат қилиш ва бошқаришнинг ахборот-энергетик ва метрологик омилларини ҳисобга олган ҳолда капиллярли қовушқоқлик ўлчагичлар синфининг ўлчаш структуралари мос мураккаблигини асослаш имконини беради.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**РУЗИЕВ УМИДЖОН АБДИМАЖИТОВИЧ**

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ  
ПО ИХ ВЯЗКОСТИ**

**05.03.01 – Приборы. Методы измерения и контроля (по отраслям)**

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

**Ташкент–2018**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.4.PhD/T519.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** **Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович**  
доктор технических наук, профессор, академик

**Официальные оппоненты:** **Исматуллаев Патхулла Рахматович**  
доктор технических наук, профессор

**Мамарасулов Фарход Умарович**  
кандидат технических наук

**Ведущая организация:** **Бухарский инженерно-технологический институт**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года 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./факс: (99871) 246-46-00; (+99871)227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 44). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года.  
(реестр протокола рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года).

**Ф.Т.Адилов**

Заместитель председателя научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

**Ж.У.Севинов**

Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, к.т.н., доцент

**Х.З.Игамбердиев**

Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор, академик

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется модернизации и разработке методов и технических средств аналитической измерительной техники в целях увеличения выпуска высококачественной продукции с наименьшими затратами. В развитых странах в крупных промышленных предприятиях, производящих жидкие продукты, большое значение уделяют производству контрольно-измерительных приборов, улучшающих качество продукции, в связи с этим особой задачей является разработка высокоточных измерителей вязкости, в том числе для исследования реологических свойств при контроле качества производимой предприятиями продукции.

В мире осуществляются научные исследования, направленные на обеспечение требуемого качества продукции, разработку методов аналитического контроля сложных технологических процессов, совершенствование первичных измерительных приборов, высокоточных и быстродействующих автоматических анализаторов вязкости. В связи с этим особое значение уделяется исследованиям, посвященным разработке и совершенствованию непрерывных измерителей вязкости в составе систем автоматического контроля и управления, обеспечивающих повышенную точность, чувствительность, быстродействие и необходимые метрологические характеристики.

Сегодня в Узбекистане особое внимание уделяется внедрению инновационных технологий в промышленность, реализации высокоэффективных систем контроля за качеством жидких полупродуктов и конечной продукции. В Стратегии развития Республики Узбекистан на 2017–2021 годы поставлена ответственная задача: «... дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов»<sup>1</sup>. Для достижения поставленных задач существенно важным вопросом является повышение качества производимой продукции и полуфабрикатов за счет разработки высокоточных и надёжных средств измерения и аналитического контроля.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан № УП–4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, Постановлениями № ПП–916 «О дополнительных мерах по стимулированию внедрения инновационных проектов и технологий в производство» от 15 июля 2008 года, № ПП–2692

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему Развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» УП–4947 от 7 февраля 2017 года.

«О дополнительных мерах по ускоренному обновлению физически изношенного и морально устаревшего оборудования, а также сокращению производственных затрат предприятий различных отраслей промышленности» от 22 декабря 2016 года, № ПП–3236 «О программе развития химической промышленности на 2017–2021 годы» от 23 августа 2017 года, а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий» и VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

**Степень изученности проблемы.** В рамках мировых научных исследований, направленных на решение востребованных задач, разработки аналитических приборов и для экспрессного контроля осуществляются в следующих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в научных учреждениях Massachusetts Institute of Technology, Emerson Electric Manufacturing, University of Missouri (США), «Siemens» и University of Munster, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Германия), Imperial College London (Великобритания), Osaka University и Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Южная Корея), Всероссийский научно-исследовательский институт метеорологии им. Менделеева, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Духова (Россия) и ТашГТУ (Узбекистан).

В решение проблем исследования и измерения вязкости жидких сред внесли вклад следующие зарубежные ученые: J.F.Steffe, J.I.Lohrenz, R.A.Brown (США), M.Brizard, C.Verdier (Франция), Gert Böhme, J.F.Richardson, Bernard Coleman (Германия), Dabir S. Viswanath (Индия), М.В.Кулаков, И.В.Кораблёв, Е.Н.Политов, А.В.Чупаев, А.Н.Пирогов, О.Ю.Кузьменко, Б.М.Кадыров., С.В.Крутин, В.Г.Ушаков, В.Н.Белоненко, А.С.Зорин, Л.П.Карташов, Г.Шрамм, Н.Г.Фарзанае, М. Мустафаев, М.М.Мордасов, Амер Махмуд Аль-Рваш и др., а также отечественные ученые: Х.П.Ташпулатов, Н.Р.Юсупбеков, Д.А.Абдуллаев, Т.Д.Раджабов, Т.Ф.Бекмуратов, П.Р.Исматуллаев, В.А.Соловьев, М.М.Мухитдинов, А.А.Азимов, Р.К.Азимов, Ю.Г.Шипулин, О.Ш.Хакимов, А.А.Абдувалиев и др.

По мнению отечественных и зарубежных ученых (Н.Р.Юсупбеков, Т.Д.Раджабов, Н.Wilkinson, Г.В.Виноградов, А.Я.Малкин, М.М.Мордасов, Г.Шрамм и др.), капиллярный метод измерения вязкости является наиболее точным, отличается чувствительностью, дискретностью и универсальностью и не исчерпывает в полной мере потенциальных возможностей своей приборной реализации. Проблемы модернизации и разработки приборов

измерения вязкости исследовались в работах А.В.Чупаева, О.Ю.Кузьменко, М.М.Мордасова. Однако один из основных недостатков капиллярных вискозиметров состоит в узком диапазоне измерения, нестабильности градуировочной характеристики, обусловленных несовершенством процедур измерительного преобразования и влиянием некоторой совокупности вторичных гидродинамических явлений и эффектов, оценка которых ранее не была проведена.

**Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета Ф-7-47 – «Теоретические основы процессов разделения многокомпонентных смесей» (2012–2016) и ОТ-Ф7-88 – «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих тепло-массообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017–2020).

**Цель работы** заключается в повышении качества и экспрессности контроля вязкости жидких сред за счёт совершенствования приборной реализации капиллярного метода измерения и построение на этой основе вискозиметрических анализаторов с улучшенными метрологическими характеристиками.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния теории и практики автоматического контроля и регулирования технологических процессов по вязкости при производстве целевых жидких продуктов;

обоснование и выбор наиболее перспективного для приборной реализации метода измерения вязкости жидких сред с изысканием способов расширения диапазона и создания надлежащих условий измерения;

теоретический анализ и моделирование процессов измерительного преобразования в капиллярных вискозиметрах истечения;

исследование метрологических характеристик предложенных вискозиметров истечения и разработка на этой основе технических средств экспрессного контроля и управления по показателям вязкости жидких сред;

разработка способов повышение чувствительности, точности, быстродействия, статических и динамических характеристик и других метрологических показателей, разработка первичных измерительных преобразователей и анализаторов вязкости жидких сред;

опытно-промышленные испытания разработанных вискозиметров и внедрение систем автоматического контроля вязкости жидких сред.

**Объектом исследования** являются процессы измерения вязкости жидких сред технологических процессов промышленных производств.

**Предмет исследования** составляют методы и средства измерения вязкости жидких сред.

**Методы исследований.** В процессе исследования использованы

положений гидродинамики жидкостей, теоретической механики, методы контроля и измерения вязкости, методы теории автоматического управления и моделирования технологических процессов и производств.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

методами инженерного прогнозирования разработаны уравнения, определяющие информационно-энергетический коэффициент полезного действия и пропускную способность измерительных преобразователей вязкости жидких продуктов;

разработаны математические модели процессов измерительного преобразования, протекающих в чувствительном элементе первичных измерительных преобразователей капиллярных вискозиметров;

на основе повышения площади соприкосновения жидкости со стенкой чувствительного элемента усовершенствованы способы повышения чувствительности измерения вязкости с помощью капиллярных вискозиметров истечения;

на основе изменения гидравлического зазора капилляра усовершенствован способ расширения диапазона измерения вязкости в вискозиметрах истечения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны новые измерители вязкости, обладающие повышенной чувствительностью и расширенным диапазоном измерения;

исследованы метрологические характеристики предложенных вискозиметров в установившемся и нестационарном режимах функционирования;

разработаны программно-реализованные алгоритмы расчета конструктивных параметров чувствительных элементов капиллярных вискозиметров истечения;

разработан алгоритм внесения автоматической коррекции измеряемого параметра по температуре и плотности контролируемой среды.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обеспечивается применением теоретически обоснованных и практически выверенных концепций, корректным использованием методов математического моделирования, строгим сравнением результатов имитационного моделирования и вычислительных экспериментов, опытно-промышленной апробацией разработанных устройств автоматического контроля вязкости жидких сред, взаимной согласованностью результатов научных и экспериментальных исследований и сравнительных испытаний метрологических возможностей существующих и разработанных систем.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в обосновании совершенствования теоретических основ построения капиллярных вискозиметров истечения с точки зрения концепции рационального изменения геометрии форм и размеров чувствительных

элементов измерительных преобразователей, в разработке адекватных математических описаний измерительных преобразователей анализаторов вязкости, при этом показано, что применение в вискозиметрах капилляра с изменяемой рабочей площадью протекания жидкости позволяет в 5–8 раз расширить диапазон измерения вязкости жидкой среды.

Практическая значимость результатов работы заключается в обосновании разработки устройств для точного и экспрессного измерения вязкости исследуемых жидких сред при неопределенности входной информации. Обоснованы разработанные программно реализованные алгоритмы расчета параметров первичных измерительных преобразователей капиллярных вискозиметров истечения с коррекцией показаний прибора по температуре и плотности контролируемой жидкости.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по изучению систем автоматического регулирования и контроля вязкости жидких продуктов разработаны:

устройство непрерывного контроля вязкости жидких продуктов технологических процессов внедрено на предприятие «ОНИКС-Ташкент» (справка АК «Узэлтехсаноат» №01-869 от 14 апреля 2018 года). В результате создана возможность повышения качества конечной продукции и уменьшения отходов изделия в брак;

программный продукт автоматической коррекции показаний измерения для устройства измерения вязкости жидких продуктов внедрен на предприятие «ОНИКС-Ташкент» (справка АК «Узэлтехсаноат» №01-869 от 14 апреля 2018 года). В результате достигнута высокая точность измерения благодаря автоматической коррекции показаний измеряемой вязкости жидкости по колебаниям температуры и плотности контролируемой среды.

алгоритм расчета конструктивных параметров чувствительного элемента устройства измерения вязкости жидких продуктов внедрен на предприятие «ОНИКС-Ташкент» (справка АК «Узэлтехсаноат» №01-869 от 14 апреля 2018 года). В результате достигнута высокая точность измерения за счет алгоритма расчета конструктивных параметров чувствительного элемента капиллярного вискозиметра истечения.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования доложены, апробированы и получили одобрение на 5 международных и 2 республиканских научно-технических конференциях.

**Опубликованность результатов.** По результатам исследования опубликованы 23 научные работы, в том числе 2 монографии, 11 журнальных статей в зарубежных и республиканских научно-технических журналах, а также получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений и содержит 121 страницу машинописного текста, 65 рисунков и 4 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновывается 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.

В первой главе диссертации **«Современное состояние теории и практики автоматического контроля и регулирования технологических процессов по вязкости целевых жидких продуктов производства»** приводится краткий литературный обзор научно-исследовательских работ, посвященных автоматическому измерению и регулированию вязкости жидких продуктов промышленных производств.

Одним из важных показателей, характеризующих качество жидких технологических сред, выступает их вязкость, от точности поддержания которой во многих случаях существенно зависит качество конечной промышленной продукции. Существующий к настоящему времени парк и арсенал технических средств контроля и регулирования вязкости невелик, а немногочисленные образцы вискозиметров, которые пригодны для этих целей, либо обладают недостаточными метрологическими показателями, либо характеризуются недостаточной сферой применения. Эти недостатки усугубляются неудовлетворительными эксплуатационными характеристиками рассматриваемых приборов и показателями воспроизводимости результатов измерения вязкости жидких продуктов.

В работе на основе изучения специфических условий автоматического контроля вязкости жидких сред, характерных для промышленных производств, предложена классификация существующих капиллярного, ротационного, ультразвукового и др. типов вискозиметров. Методами инженерного прогнозирования анализ обширной патентной литературы за последние 15 лет показал, что в практике промышленной вискозиметрии наиболее широкое распространение получили и продолжают получать капиллярные вискозиметры: более половины всех измерений вязкости жидкостей осуществляется посредством данного класса приборов. По результатам аналитического обзора существующей литературы по предметной области диссертационного исследования в работе сформулированы рекомендации по применению автоматических вискозиметров в системах контроля и управления технологическими процессами и производствами.

Во второй главе **«Теоретический анализ процессов измерительного преобразования в капиллярных вискозиметрах»** излагаются научно-методические основы разработки приборов для измерения вязкости

технологических сред. Выполнен анализ закономерностей протекания контролируемой жидкости через чувствительный элемент вискозиметра. Предложен конструктивный прием помещения внутрь трубки цилиндрического стержня с целью увеличения площади соприкосновения чувствительного элемента с контролируемой средой и тем самым повышения чувствительности прибора. В работе аналитическими приемами выведены математические описания, показавшие, что предложенный прием помещения цилиндрического стержня внутрь конусообразной капиллярной трубки полностью оправдывает себя и является конструктивным. При ламинарном режиме течения местные скорости во всех точках потока не меняются во времени. На рисунке 1 изображено протекание жидкости в капилляре со встроенным цилиндрическим стержнем в условиях ламинарного потока жидкости. Для измерения вязкости используется капилляр диаметром  $D$ . Перепад давления измеряется в точках отбора  $P_1$  и  $P_2$ , расстояние между которыми составляет  $l$ .

На поток жидкости в капилляре действует сила давления

$$F_{\partial} = \pi R^2 (P_1 - P_2). \quad (1)$$

и сила трения

$$F_{mp} = (2\pi R l \eta) dV/dr = S \eta dV/dr. \quad (2)$$

При установившемся течении жидкости разница между силой давления, действующего на поверхность ( $S$ ) с силой трения, равна нулю

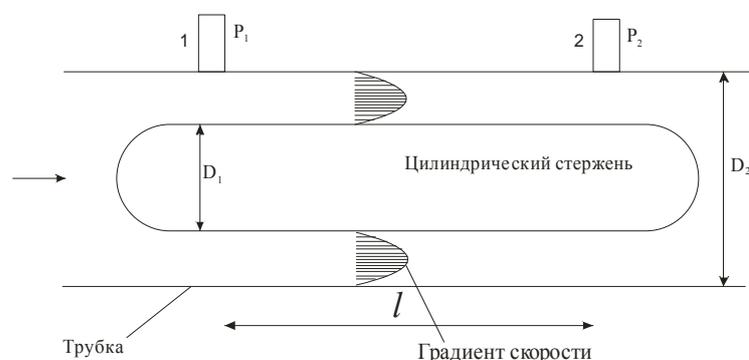
$$S(P_1 - P_2) - T_0 = 0. \quad (3)$$

Учтем, что

$$P_1 - P_2 = \Delta P_{tp};$$

$$S = \int_r^R 2\pi r dr; \quad (4)$$

где  $P_1, P_2$  – гидродинамическое давление в концах капилляра;  $T_0$  – сила трения на стенке капилляра и на поверхности стержня (при условии, что они изготовлены из одного и того же материала);  $R$  – диаметр капилляра;  $r$  – диаметр стержня.



**Рисунок 1.** Схема течения жидкости между соосными цилиндрами:  $\rho$  – плотность жидкости,  $\vartheta$  – скорость потока,  $D_2$  – гидравлический диаметр,  $\mu$  – динамическая вязкость.

Для того, чтобы достичь ламинарного режима протекания жидкости число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu}, \quad (5)$$

должно быть меньше  $\text{Re}_{\text{кр}}$ .

Гидравлический диаметр кольцевого сечения

$$D_e = D_2 - D_1, \quad (6)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – диаметры цилиндров.

Если рассматривать кольцевой зазор как щелевой, то можно пользоваться формулой расхода жидкости через этот зазор (при ламинарном течении):

$$Q = \frac{\Delta p \delta^3 B}{12 \mu l}, \quad (7)$$

где  $\Delta p$  – перепад давления, под действием которого протекает жидкость в зазоре;  $\delta$ ,  $B$  и  $l$  – соответственно высота, ширина и длина зазора;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости.

Для кольцевого зазора ширина и высота определяются следующим образом:

$$B = \pi \frac{D_1 + D_2}{2}, \quad (8)$$

$$\delta = \frac{D_2 - D_1}{2}. \quad (9)$$

Скорость протекания жидкости через зазор равна

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{B \cdot \delta} = \frac{\Delta p \delta^2}{12 \mu l}. \quad (10)$$

Последнее уравнение даёт скорость течения исследуемой жидкости по сечению при ламинарном режиме течения в капилляре предложенного конструктивного оформления. Определим потери давления на трение

$$\Delta P = \frac{12 Q \mu L}{\left( \frac{D_2 - D_1}{2} \right)^3 \pi \frac{D_1 + D_2}{2}}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что

$$\Delta P = \frac{192 Q \mu L}{\pi D_2^3 (2 D_2 - D_1)}. \quad (12)$$

Данное выражение показывает, что при ламинарном течении жидкости в капилляре, снабженном внутри стержнем, разница давления на концах капилляра пропорциональна вязкости исследуемой жидкости. Иными словами, при ламинарном течении жидкости в «коаксиальном капилляре» потери давления на вязкостное трение пропорциональны вязкости исследуемой жидкости (геометрические параметры измерительной системы считаются постоянными).

На основе полученных математических моделей, характеризующих структуру ламинарного движения жидкости и возникающие при этом гидравлические сопротивления, определяем перепад давления  $\Delta P$  на концах

капилляра. Для обеспечения возможности организации наиболее благоприятного режима протекания исследуемой жидкости через капиллярную трубку и с целью учёта влияния различных гидродинамических эффектов выполнено теоретическое исследование в рабочем пространстве капиллярного вискозиметра при различных режимах его функционирования. Анализ особенностей протекания жидкости через конструктивные узлы прибора свидетельствует о возможности и перспективности реализации с помощью предложенного конструктивного приема функциональных схем первичных измерительных приборов вязкости (ПИПВ).

В работе выполнен анализ ламинарного течения жидкости с капиллярами постепенного сужения круглого сечения; постепенного расширения круглого сечения и постепенного расширения кольцевого сечения. На основе теоретического анализа кинематической схемы ламинарного потока и имеющих при этом место гидравлических сопротивлений выяснено, что коэффициенты местных сопротивлений (и соответственно потери давления на капилляре) зависят от вязкости исследуемой жидкости. Путём применения сопротивления, расположенного внутри капилляра, можно добиться повышения чувствительности входного сигнала, что является одним из путей совершенствования измерительных возможностей капиллярных ПИПВ.

Совокупность перечисленных факторов и обстоятельств учтена при разработке конструкции устройств для измерения вязкости жидкости при определении геометрических форм и размеров измерительных преобразователей, а также при выборе наиболее благоприятных режимов функционирования капиллярных вискозиметров при соблюдении следующих условий:

- обеспечение ламинарного режима протекания контролируемой жидкости через капилляр;

- геометрия блока капиллярного устройства обеспечивает минимальное влияние входных эффектов на коэффициент передачи градуировочной характеристики измерителя вязкости;

- длина капилляра выбирается из условия  $l_k \geq l_H$  (где  $l_H$  – длина начального участка), для ослабления эффектов, имеющих место на начальном участке;

- возможность регулирования скорости движения контролируемой жидкости через капилляр в широком диапазоне;

- обеспечение автоматического сбора и обработки измерительной информации с погрешностью, не превышающей 1,5% в диапазоне 1–2000 мПа\*с при постоянных параметрах настройки прибора.

Установлено, что применение внутри капилляра цилиндрического стержня должно способствовать увеличению чувствительности измерения первичных измерительных преобразователей (ПИП). Полученные аналитические зависимости показывают, что выражения для возникающих в ПИП потерь давления отличаются от известных зависимостей на величину  $K_k$ , прямо пропорциональную радиусу стержня и обратно пропорциональную радиусу капилляра. По результатам расчётов в работе обоснованы пути

совершенствования измерительных возможностей ПИПВ

В третьей главе «Разработка вискозиметров для жидких сред и исследование их характеристик в статическом режиме работы» предложен капиллярный вискозиметр для измерения вязкости жидких сред, отличающийся от известных аналогов тем, что капилляр вискозиметра выполнен изогнутым, где диаметр капилляра  $d$  и диаметр изгиба равен  $D$ . Конструкция автоматического капиллярного вискозиметра приведена на рисунке 2.

Вискозиметр работает по следующему принципу. Исследуемая жидкость поступает через насос постоянного расхода  $I$  в капилляр 3. Разность давлений на концах капилляра измеряется микродифманометром 2. При этом нижний предел диапазона измерения изогнутого капилляра зависит от критического числа Рейнольдса.

Диапазон измерения автоматического капиллярного вискозиметра

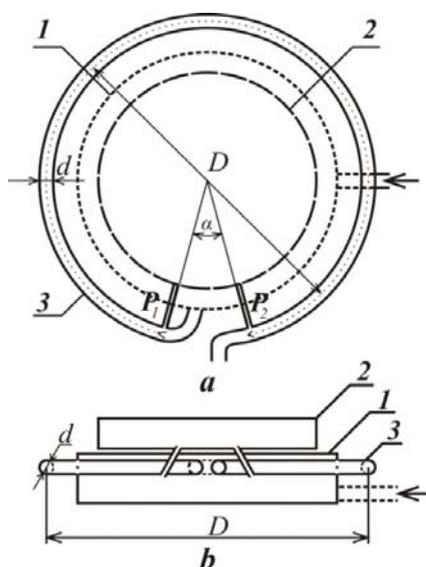
$$D = (\text{диапазон измерения ЧЭ}) \cap (\text{диапазон измерения дифманометра})$$

Диапазон измерения ЧЭ, т.е. капилляра можно определить из условия:

$$Re_{кр} = \frac{\rho \omega d_e}{\mu}. \quad (13)$$

Для прямого капилляра  $Re_{кр} = 2320$ . Для обеспечения ламинарного течения жидкости в капилляре требуется  $Re \leq Re_{кр}$ , отсюда вязкость исследуемой жидкости

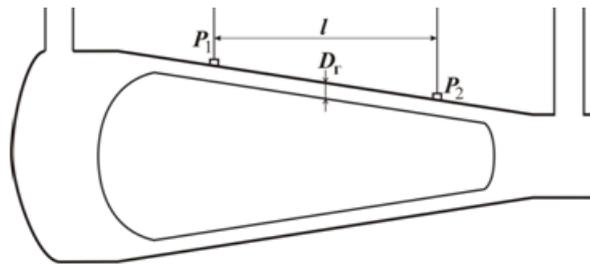
$$\mu \geq \frac{\rho \omega d}{Re_{кр}}. \quad (14)$$



**Рисунок 2.** Автоматический капиллярный вискозиметр непрерывного действия ( $a$  – вид спереди,  $b$  – вид сбоку): 1 – конусообразный капилляр; 2 – конусообразный стержень; 3 – конфузурная щель.

Конструкция предлагаемого автоматического капиллярного вискозиметра обладает следующими преимуществами: диапазон измерения с расширенным чем у обычного автоматического капиллярного вискозиметра нижним пределом; а габариты в 3 раза меньше.

В работе разработана конструкция капиллярного вискозиметра с повышенной точностью и более широким диапазоном измерения. С целью увеличения площади соприкосновения чувствительного элемента (ЧЭ) с исследуемой жидкостью предложено конструктивное оформление системы измерения вязкости жидкости, которое заключается в применении внутри капилляра стержня. Схема первичного преобразователя вязкости, реализующего этот конструктивный прием, приведена на рисунке 3. Внутренний стержень размещен в капилляре между точками отбора давления.



**Рисунок 3.** Схема первичного преобразователя вязкости жидкости.

Рассмотрим кинематическую структуру ламинарного потока контролируемой среды между соосными конусами при протекании ее через ЧЭ и возникающие при этом гидравлические сопротивления. В работе получена математическая модель движения жидкости через конфузур, снабженный внутри конусообразным стержнем. Движение среды в капилляре с неизменным вдоль потока гидравлическим диаметром можно рассматривать как установившееся и равномерное.

Подобное имеет место при ламинарном режиме течения жидкости, характеризующемся малыми числами Рейнольдса. Рассмотрена теория ламинарного течения для стабилизированного участка конфузурной щели. Конструктивный прием помещения внутрь конфузур конуса обусловлен желанием увеличить площадь соприкосновения ЧЭ с контролируемой средой, а также увеличить падение давления и тем самым повысить чувствительность прибора. Отличие от обычного капиллярного вискозиметра состоит в сужении потока при неизменном гидравлическом диаметре.

Здесь: 
$$\Delta P_{Общ} = \Delta P_{тр} + \Delta P_{суж} \quad (15)$$

Падение давления вследствие трения

$$\Delta P_{тр} = \frac{192 \mu l Q}{\pi D_z^3 (2D_{2cp} - D_z)}, \quad (16)$$

где  $D_z = D_2 - D_1 = D_2' - D_1'$  и  $D_{2cp} = \frac{D_2 + D_2'}{2}$ .

Падение давления на участке сужения

$$\Delta P_{суж} = \frac{\rho}{2} (\omega_2^2 - \omega_1^2) = \frac{\rho}{2} Q^2 \left( \frac{1}{S_2^2} - \frac{1}{S_1^2} \right). \quad (17)$$

Зависимость перепада давления от изменения вязкости исследуемой жидкости, справедливая для разработанной конструкции и представляющая

собой статическую модель первичного преобразователя вязкости, выражается следующим образом:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_{mp}. \quad (18)$$

где  $\Delta P_c$  – разность давлений, возникающая при сужении,  $\Delta P_{mp}$  – разность давлений от изменения вязкости.

Принципиальная схема разработанного вискозиметра приведена на рисунке 4. Вискозиметр работает следующим образом. Шестеренчатый насос, отбирая исследуемую жидкость из технологической линии (из трубопровода или аппарата), подаёт жидкость с постоянным расходом в термостат. Последняя нагревается или охлаждается до определённой температуры. Контролируемая среда под действием возрастающего давления выталкивается через конусовидный горизонтальный капилляр. В момент протекания жидкости в капилляре измеряется разность давлений, информация о которой на концах капилляра и о силе натяжения тензодатчиков подаётся на микроконтроллер. По выработанному в микроконтроллере управляющему воздействию привод устанавливает конус, находящийся внутри капилляра, в нужное положение, изменяя гидравлический диаметр «капилляра». Сигнал о готовности вискозиметра к работе по температурному режиму передается от датчика температуры на микроконтроллер.

Присутствие в предлагаемом капиллярном вискозиметре движущегося конуса в виде штока внутри капилляра увеличивает диапазон измерения вязкости капиллярного вискозиметра и, как следствие, обеспечивает возможность измерения вязкости жидкостей с требуемой точностью во всем диапазоне измерения.

Необходимость равенства диаметров и объемов капилляра и штока была установлена расчетно-конструкторскими проработками с учетом закона Пуайзеля:

$$\mu = \frac{\pi D_c^3 \Delta P_{mp} (2D_{2cp} - D_c)}{192 Q l}, \quad (19)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость,  $D_c$  – гидравлический диаметр,  $Q$  – объёмный расход жидкости,  $\Delta P$  – перепад давления на концах капилляра,  $l$  – длина капилляра.

В конусовидном капилляре разность давления на концах капилляра возникает вследствие вязкостного трения, а также из-за падения давления за счёт сужения капилляра

$$\mu = K \cdot \Delta P, \quad (20)$$

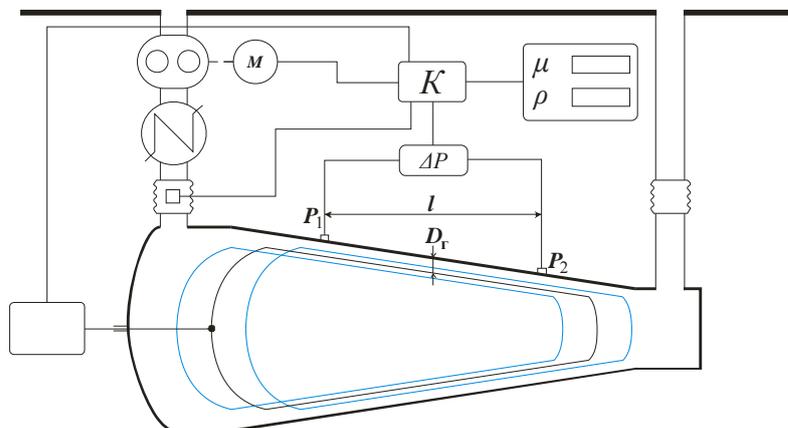
где

$$K = \frac{\pi D_c^3 (2D_2 - D_c)}{192 Q l}.$$

При уменьшении вязкости исследуемой жидкости для поддержания ламинарного течения необходимо снижать расход жидкости через конфузную щель. Выходящая жидкость возвращается в аппарат или трубопровод. Все эти процессы контролируются, регулируются и

рассчитываются микроконтроллерной системой вискозиметра.

Анализ экспериментально полученных статических характеристик усовершенствованного первичного преобразователя вязкости свидетельствует о том, что по своим точностным характеристикам он обладает рядом преимуществ перед существующими аналогами.



**Рисунок 4.** Принципиальная схема устройства для измерения вязкости жидкости.

Зависимость перепада давления от пульсаций расхода анализируемой жидкости в определенной степени искажает результаты измерения. Для устранения этого эффекта целесообразно изменить конструкцию измерителя вязкости, что и обусловило ход дальнейших исследований.

Для калибровки вискозиметра необходимо аппроксимировать зависимости между экспериментально полученными результатами измерений. Кривые, полученные при этом, представляют градуировочную характеристику прибора.

В работе исследовано влияние различных факторов на поток жидкости через капилляр. Изучено влияние длины капилляра на показания предложенного вискозиметра; проанализированы результаты экспериментов по исследованию вязкости при различных значениях длины и диаметра капилляра. Выявлено, что при увеличении длины капилляра чувствительность ПИПВ возрастает, а при увеличении диаметра уменьшается. С учетом конструктивных особенностей разработанных капиллярных вискозиметров теоретически проанализированы погрешности измерения. На модельных растворах экспериментально исследованы метрологические характеристики разработанных вискозиметров. В частности, установлено, что распределение случайных погрешностей результатов измерений подчиняются нормальному закону.

В четвёртой главе «**Разработка и внедрение системы автоматического регулирования вязкости жидких продуктов**» рассмотрены вопросы технической реализации и технико-экономической эффективности от внедрения разработок диссертации. Описаны функциональная и

принципиальная схема системы автоматического регулирования вязкости стекломассы. Предложена система автоматического управления вязкости жидких сред на базе средств микропроцессорной техники. Представлены варианты структурной схемы системы автоматического контроля (САК) вязкости жидкости с автоматической коррекцией по температуре и плотности измеряемой среды.

Наиболее простой способ термокомпенсации погрешностей измерения, относящийся к классу алгоритмических, заключается в одновременном измерении основного параметра – вязкости  $\nu$ , осуществляемого путём определения перепада давления на концах капилляра и дополнительных параметров контролируемой среды: температуры ( $T$ ), массы ( $M$ ) среды, а также частоты вращения вала ( $n$ ) шестеренчатого насоса – и в вычислении по полученным данным поправки к выходному сигналу анализатора.

При помощи дополнительных средств осуществляется преобразование  $T$ ,  $S$  и  $P$  в унифицированные сигналы, которые поступают в вычислительное устройство. В памяти микропроцессора хранится информация о функциях, отражающих влияние различных параметров на результирующую погрешность анализатора. Микроконтроллер на основе информации об этих параметрах определяет текущую вязкость в соответствии с заложенными в процессор функциональными зависимостями.

$$\mu = \frac{\pi D_2^3 \Delta P_{mp} (2D_{2cp} - D_2)}{192 Q l}, \quad (21)$$

где  $D_2$  – гидравлический диаметр,  $Q$  – объёмный расход жидкости,  $\Delta P$  – перепад давления на концах капилляра,  $l$  – длина капилляра.

Значение гидравлического диаметра определяется микроконтроллером по данным, полученным с помощью датчика положения  $S$ :

$$D_2 = C_1 S. \quad (22)$$

Длина капилляра – постоянна (в нашем случае равна 20 см). Значения перепадов давления микроконтроллер получает с выхода дифференциального манометра.

Расход жидкости, протекающей через капилляр, регулируется сервоприводом и определяется следующим образом:

$$Q \leq \frac{500 \mu D_2}{\rho}. \quad (23)$$

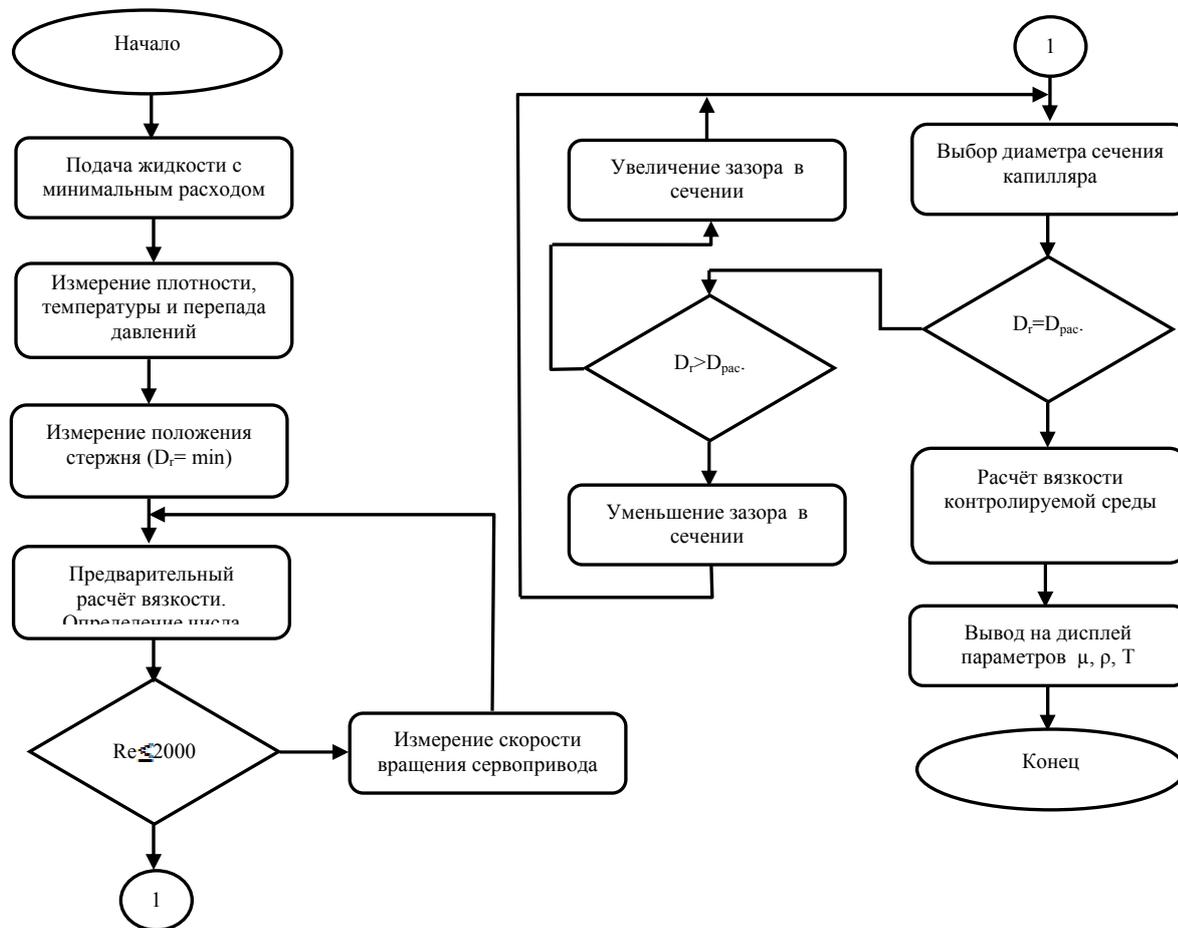
Скорость вращения сервопривода регулируется в зависимости от значения вязкости и рабочего сечения  $D_2$ . Значение плотности  $\rho$  рассчитывается микроконтроллером в соответствии с заложенной в него функциональной зависимостью

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (24)$$

где  $m$  – масса исследуемой среды, (значение которой получают с помощью тензодатчиков установленных на устройстве);  $V$  – объём устройства ( $V = const$ ).

Основными данными при выборе электродвигателя являются: мощность и частота вращения выходного вала. Для регулирования скорости

шестеренчатого насоса предложено использовать привод постоянного тока. Для регулирования скорости вращения двигателя использован редуктор. Алгоритм описанного способа измерения вязкости приведен на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Алгоритм измерения вязкости контролируемой жидкой среды.

Значения вязкости, температуры и плотности исследуемой среды высвечиваются на экране дисплея. Микропроцессорная система позволяет накапливать результаты многократных наблюдений и обрабатывать их по определенным алгоритмам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований диссертационной работы на тему: «Контроль качества жидких продуктов по их вязкости» получены следующие результаты:

1. Проанализировано современное состояние теории и практики автоматического измерения вязкости жидких сред и выявлены тенденции их дальнейшего развития и совершенствования, и с помощью методов анализа патентной литературы по предмету исследования за последние 15 лет показано, что в современной вискозиметрии тенденцией развития и совершенствования обладает капиллярный метод измерения вязкости жидких сред.

2. Сформулированы требования, предъявляемые со стороны промышленных производств к современным автоматическим вискозиметрам для ньютоновских жидкостей, методами инженерного прогнозирования получены аналитические выражения, определяющие информационно-энергетический коэффициент полезного действия и пропускную способность измерительных преобразователей вязкости жидких сред и позволяющих оценивать эффективность различных принципов действия и технический уровень анализируемых вискозиметров, показано, что для достижения основной цели исследования наиболее перспективны капиллярные вискозиметры истечения.

3. Предложена серия автоматических измерительных устройств: вискозиметр истечения с изменяемым диаметром капилляра; вискозиметр истечения с улучшенными массо-габаритными характеристиками, для которых выполнена следующая совокупность метрологических исследований:

дана возможность анализа основной группы погрешностей измерения и позволяет их снизить;

разработаны способы повышения чувствительности измерительных преобразователей вязкости жидких сред;

получены математические описания функционирования предложенных вискозиметров, ориентированные на обоснованное решение задач их градуировки, диагностирования и оптимизации.

4. Предложены способ автоматической термокомпенсации погрешностей капиллярных вискозиметров, а также алгоритм программного внесения поправок в показания вискозиметра.

5. Предложенные капиллярные вискозиметры аппаратно реализованы в виде действующих макетных образцов, опытно-промышленные испытания которых в производственных условиях ООО «ОНИКС-Ташкент», подтвердили, что наряду с достаточно высокими метрологическими характеристиками (в частности максимальная относительная погрешность не превышает 1,5%), обеспечили автоматизацию процессов измерения и обработки результатов, расширение диапазона измерения при фиксированных настройках прибора.

6. Предложены принципиальная и функциональная схемы систем оперативного контроля и регулирования вязкости продукции в ООО «ОНИКС-Ташкент», которые позволяют уменьшить колебание вязкости и тем самым обеспечивают повышение качества конечной продукции.

7. Реализованный научно-методологический подход позволяет аргументировать рациональную сложность измерительной структуры класса капиллярных вискозиметров истечения с учётом информационно-энергетических и метрологических факторов контроля и управления технологическими процессами по вязкости сырья, полупродуктов и конечной продукции.

**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**

**RUZIEV UMIDJON ABDIMAJITOVICH**

**QUALITY CONTROL OF LIQUID PRODUCTS BY THEIR VISCOSITY**

**05.03.01–Devices. Methods of measurement and control (by industry)**

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

**Tashkent–2018**

**The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.4.PhD/T519.**

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](http://www.tdtu.uz)) and on the Information and Educational Portal "Ziyonet" ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich</b> doctor of technical sciences, Academician
<b>Official opponents:</b>	<b>Ismatullaev Patxulla Rahmatovich</b> doctor of technical sciences, Professor <b>Mamarasulov Farhod Umarovich</b> candidate of technical sciences
<b>Leading organization:</b>	<b>Bukhara Engineering and Technology Institute</b>

Defense of dissertation will be take place in «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 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](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-recourse centre of the Tashkent State Technical University (registration number 44). Address: 100095, Tashkent str. University 2. Tel.: (+99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 year.  
(mailing report №. \_\_ on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 year).

**F.T.Adilov**  
Vise-Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor,

**J.U.Sevinov**  
Scientific secretary of scientific souncil  
awarding scientific degrees,  
candidate of technical sciences, associate professor

**X.Z.Igamberdiyev**  
Chairman of the scientific seminar of  
the scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is to improve the quality and efficiency of viscosity control of liquid media by improving the capillary method of measuring and developing on this basis viscometric analyzers with improved metrological characteristics.

### **The tasks of research:**

analysis of the current state of the theory and practice of automatic control and regulation of technological processes on the viscosity of the target liquid products of industrial production;

justification and selection of the most promising measurement method;

determination of the range and proper conditions for measuring the viscosity of liquid media;

theoretical analysis of the processes of measuring transformation in capillary viscometers;

mathematical modeling of the processes of measuring conversion, which take place in the primary converters of the viscometers of the flow

investigation of metrological characteristics of the proposed expiration viscometers and the creation on this basis of technical means for operational control and management of viscosity indexes of liquid media

increase of sensitivity, accuracy, speed, static and dynamic characteristics and other metrological parameters of primary measuring converters and viscosity analyzers of liquid media;

pilot-industrial tests of developed viscometers and discussion of issues of technical and economic efficiency from the introduction of an automatic control system for the viscosity of liquid media.

**The object of the research work** is the process of measuring the viscosity of liquid media in technological processes.

**The subject of the research work** are methods and means of measuring the viscosity of liquid media.

### **Scientific novelty of the research work is as follows:**

A classification of viscosity analyzers is proposed, the distinguishing features of which are the inclusion of a set of metrological indices, the physic-chemical properties of controlled media, and the flow regime, and also recommendations for the use of viscometers. Mathematical models of the processes of measuring transformation, flowing in the sensitive element of capillary viscometers, are obtained. Effective methods for increasing the sensitivity in the measurement of viscosity by means of capillary viscometers are proposed. A method is proposed for increasing the range of viscosity measurement in capillary viscometers, which uses a capillary with a variable diameter in the form of cone-shaped coaxial capillaries.

**The outline of the thesis.** The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography, an appendix, and contains 121 pages of body text, 65 figures, 4 tables.

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

1. Рузиев У.А. Теория и практика измерения вязкости жидкостей: Монография. –Ташкент: ТашГТУ, 2016. - 156 с.

2. Рузиев У.А. Моделирование капиллярного вискозиметра // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2012. -№4. -С.24-28. (05.00.00; №12).

3. Рузиев У.А. Анализ течения жидких сред между коаксиальными цилиндрами ротационного вискозиметра // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2013. -№4. -С.23-27. (05.00.00; №12)

4. 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)

5. Рузиев У.А., Шодиев М.К. Ротационный вискозиметр высоких давлений для исследования свойств жидкостей // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2014. -№6. -С.53-58. (05.00.00; №12)

6. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А. Математическое моделирование течения жидкости в коаксиальных зазорах вискозиметра // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2015. Спец. выпуск. -С.53-58. (05.00.00; №16)

7. U.A. Ruziev, M.Q Shodiev 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». –Seoul (South Korea) – Tashkent (Uzbekistan), 2015. -№ 3-4. – PP.78-81. (ОАК раёсат қарори № 217/6, 2015 йил 30 июнь).

8. 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)

9. U.A. Ruziev, M.Q Shodiev 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». –Seoul (South Korea) – Tashkent (Uzbekistan), 2016. - №5. -PP.114-117. (05.00.00; №12)

10. A.N.Yusupbekov, A.O. Ataullayev, Ruziev U.A. Synthesis Azimuth Tracking Device // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. -India, April 2016. -Volume 3. Issue 4. – PP.1786-1791. ISSN 2350-0328, (05.00.00; №8).

11. Рузиев У.А., Шодиев М.К. Измерение вязкости маловязких жидкостей автоматическим капиллярным вискозиметром // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2017. - №4. - С.45-49. (05.00.00; №12)

12. 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, October 2017. -Vol. 4. Issue 10. (05.00.00; №8).

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

14. Рузиев У.А. Анализ условий измерения и классификация методов измерения вязкости // Материалы республиканской научно-технической конференции «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости Республики Узбекистан». -Навои, 12-14 мая 2011 года. -С.329-330.

15. Рузиев У.А. Измерение динамической вязкости жидкостей вибрационными вискозиметрами // Материалы республиканской научно-технической конференции «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли Республики Узбекистан». -Навои, 14-15 июнь 2012 года. -С.269-270.

16. Ruziev U.A. Modeling of capillary hydrodynamic viscometer // Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation “WCIS-2012”. «b-Quadrat Verlag». -Tashkent, Uzbekistan, November 25-27, 2012. –PP 87-91.

17. Рузиев У.А. Физические особенности процессов в струйно-барботажной системе // Материалы международной научно-технической конференции «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли Республики Узбекистан». -Навои, 14-16 мая 2013 года. -С.454-455.

18. 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.

19. Ruziev U.A. Intellectual sensory system of measuring of viscosity // Eighth world conference on intelligent systems for industrial automation - «WCIS – 2014». -Tashkent, November 25-27, 2014. –PP.433-436.

20. Ruziev U.A., Shodiev M.Q. 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.

21. Рузиев У.А., Шодиев М.К. Автоматическое регулирование вязкости жидких веществ с помощью капиллярного устройства // Международная конференция «Достижения, проблемы и современные тенденции развития

горно металлургического комплекса». –Навои, июнь 2017. –С.65-69.

22. Юсупбеков Н.Р., Рузиев У.А., Шодиев М.К. Капиллярный вискозиметр с улучшенными массогабаритными характеристиками для измерения маловязких жидкостей // IV Международная молодежная научно-практическая конференция «Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование». -Курск, 15 ноября 2017. -3 том. -С. 93-98.

Автореферат “Til va adabiyot ta’limi” журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди. (10.05.2018)

Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 15.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.