

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**КАСИМОВ ФАРХОД ОРИФЖАНОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ МАСАЛАЛАРИДА  
ИЖРО МЕХАНИЗМЛАРИ ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.06 - Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари ва  
қурилмалари**

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

**Тошкент – 2021**

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

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

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

**Касимов Фарход Орифжанович**

Технологик объектларни бошқариш масалаларида ижро механизмлари  
холатини баҳолаш алгоритмлари ..... 3

**Касимов Фарход Орифжанович**

Алгоритмы оценивания состояния исполнительных механизмов в задачах  
управления технологическими объектами ..... 21

**Kasimov Farkhod Orifjanovich**

Algorithms for evaluating the state of executive mechanisms in problems of  
control of technological objects ..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**КАСИМОВ ФАРХОД ОРИФЖАНОВИЧ**

**ТЕХНОЛОГИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ МАСАЛАЛАРИДА  
ИЖРО МЕХАНИЗМЛАРИ ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.06 - Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари ва  
қурилмалари**

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

**Тошкент – 2021**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2021.1.PhD/T2083 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Исмаилов Мирхалил Агзамович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** **Ўлжаев Эркин**  
техника фанлари доктори, доцент

**Сапаев Маматкарим**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:** **Навоний давлат кончилиқ институти**

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «19» 04 соат 10<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўч., 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@tdtu.uz).

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (213 рақам билан рўйхатга олинган) (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (+99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2021 йил «01» 02 кuni тарқатилди.  
(2021 йил «19» 06 даги 77 рақамли реестр баённомаси).



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

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

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

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда ишлаб чиқариш жараёнларини самарали ташкил этиш мақсадида технологик объектларни бошқариш тизимларининг техник ва дастурий таъминотларини такомиллаштириш, хусусан ижро механизмлари, юритмалар, актуаторлар ҳамда якуний назорат элементларининг янгича структура ва дизайнга эга прототипларини ишлаб чиқиш, мавжудларини такомиллаштириш, янги материалларни қўллаш билан уларнинг функционаллигини ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Ишлаб чиқариш жараёнларини оқилона ташкил этишда ишлаш аниқлиги юқори, таннархи арзон, хизмат кўрсатиш осон бўлган қурилма ва элементларга талаб ошиб бормоқда. Бу борада ривожланган мамлакатларда технологик объектларни бошқариш тизимларидаги эксплуатация муддати ўтган элементларни тубдан янгилашнинг имкони бўлмаганлиги туфайли, мавжуд қурилма ва элементларга қўшимча бошқариш воситаларини киритиш билан уларнинг ишлаш сифатини яхшилаш орқали, энергия ва ресурс тежамкорлигига эришиш масалаларига эътибор қаратилмоқда.

Жаҳоннинг йирик ишлаб чиқарувчи корпорациялари ҳамда илмий тадқиқот ва инновация институтлари томонидан автоматлаштиришнинг ижро механизмларини такомиллаштириш, уларга қўйиладиган талабларни унификациялаштириш, янги турдаги ижро элементларини лойиҳалаш ва ишлаб чиқариш ҳамда мувофиқлаштириш бўйича ҳар йили турли анжуман ва кўргазмалар ўтказиб келинади<sup>1</sup>. Технологик объектларни сифатли бошқаришда ижро элементларининг ҳам ҳолатини баҳолаш, уларни бошқаришнинг тезкор алгоритмларини синтезлаш муҳим аҳамият касб этади. Шу жиҳатдан бошқариш жараёнларининг сифат кўрсаткичларини яхшилашда ижро механизмларининг ҳолатини баҳолаш ва бошқариш алгоритмларини тадқиқ қилиш ва моделлаштириш жуда долзарб ва зарур ҳисобланади.

Республикамизда иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан бири ҳисобланган кимё ва озиқ-овқат саноати жараёнларини такомиллаштириш ва маҳаллийлаштириш чора-тадбирларига алоҳида эътибор қаратилмоқда<sup>2</sup>. Бу борада, 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «...иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни жорий этиш, иқтисодиёт тармоғидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»<sup>3</sup> каби вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан, технологик жараёнларининг сифат кўрсаткичларини яхшилаш мақсадида замонавий техник ҳамда ахборот

<sup>1</sup> ACTUATOR 21 - International Conference and Exhibition on New Actuator System and Applications, <https://www.actuator.de/en>

<sup>2</sup> “2019 – 2022 йилларда Тошкент вилоятининг саноат салоҳиятини ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” Ўзбекистон Республикаси Вазирлар маҳкамасининг 24.09.2019 йилдаги 802-сон қарори.

<sup>3</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сон Фармони

технологиялари воситаларидан фойдаланиб, ижро механизмларининг ҳолатини баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш зарурати юзага келади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сонли «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалга жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2020 йил 28 апрелдаги ПҚ-4699-сон «Рақамли иқтисодиёт ва электрон ҳукуматни кенг жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий - ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс-тежамкорлик», IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Sciencedirect халқаро илмий порталида<sup>4</sup> сўнгги йилларда эълон қилинган мақолалар таҳлилига кўра ижро механизмлари ҳолатинини баҳолаш, моделлаштириш ва бошқариш алгоритмларини шакллантириш борасида кўплаб илмий – амалий ишлар бажарилган. Актуаторларнинг янги прототипларини яратиш, механик мустаҳкамлигини ошириш, компьютерда симмуляциялаш каби амалий ишлар Хитой, Эрон, МДХ мамлакатлари, Япония, Европа Иттифоқи давлатлари ва АҚШ олимлари томонидан амалга оширилган. Хусусан, ижро механизмларини математик моделлаштириш ва симмуляция қилиш борасида Yazhi Guo, Yuchuan D Zhu, Yuang Li, Xiaoxiang Gong, Veiguo Ge лар томонидан бир қатор ишлар амалга оширилган бўлса<sup>5</sup>, моделлаштириш асосида ижро механизмлари ҳолатини диагностика қилиш масалалари А. Кучмин, А. В. Месропян, D.Antuan, M.Qoriy, A.Khajjaji, Jin Li, Liua Pinkuan, Dinga Xan, Hossein Guodarzi, Hasan Salareikh, Said Fisal, Paul Anand, Abdul Rahmon томонидан амалга оширилган. Олимлар ўз тадқиқотларида ижро элементларини моделлаштириш ва бошқаришнинг замонавий усулларини таклиф этганлар.

Мамлакатимизда эса ижро элементларининг математик моделларини идентификациялаш, бошқариш тизимларини такомиллаштириш, ижро механизмларини интеллектуал бошқариш тизимлари борасида Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиев, Н.Равшанов, Ш.Х.Фазилов, М.А. Исмаилов, Х.И.Сиддиков, Ш.М.Гулямов, М.М. Арипов, Ф.Т.Адиловлар

<sup>4</sup> <https://www.sciencedirect.com/>

<sup>5</sup> Xiaogang Gong, and other., Numerical Analysis of the energy loss mechanism in cavitation flow of a control valve, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 174, 2021, 121331, ISSN 0017-9310, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121331>

илмий изланишлар олиб бориб, соҳага янгиликлар таклиф этганлар. Бундан ташқари, яна кўплаб ёш олимлар ўзаро соҳалар кесимида илмий изланишлар олиб бормоқдалар. Математик моделлаштириш ва технологик жараёнларни оптималлаштиришнинг назарий асослари ижро механизмларини эксплуатация қилиш, ҳолатини баҳолаш, кўрсаткичларни прогнозлаш ва оптималлаштириш масалаларини комплекс усулда ечишга асос бўлиб хизмат қилиши таъкидланган.

Бироқ, ижро механизмларини ним тизим сифатида ифодалаб, уларнинг ҳолатини баҳолаш, ўзгарувчи параметрларининг умумий бошқариш тизимига таъсири масалалари етарлича ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №ОТ-Ф7-88 «Соф маҳсулот олишда мураккаб кимёвий технологик тизимларнинг истиқболли энергия ва ресурстежамкор иссиқлик-массаалмашилиш жараёнлари назарий асосларини такомиллаштириш» (2018–2020) илмий лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** технологик объектларни бошқаришда кенг қўлланиладиган ижро механизмлари ҳолатини аниқ баҳолашнинг тезкор алгоритмларини яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

автоматлаштирилган тизимларда ижро механизмларининг ишлаш аниқлигини ошириш ва бошқаришни такомиллаштириш масалаларини тизимли таҳлил қилаш асосида ижро механизмларининг математик моделларини ишлаб чиқиш;

бошқариш тизимларидаги ижро элементларининг ҳолатини баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

ижро элементларини бошқариш тизимининг интерактив компьютер моделларини яратиш;

бошқариш тизимларида ижро механизмларини сифатли ва ишончли ишлашини таъминловчи структураларини синтезлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида технологик жараёнларни бошқаришда қўлланиладиган ижро механизмлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** технологик объектларни бошқариш масаласида ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш алгоритмлари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқотда тизимли таҳлилнинг декомпозициялаш, тадрижий моделлаштириш, аналитик моделлаштириш, параметрик идентификация, қиёсий баҳолаш, автоматик бошқариш назариясининг турғунликка текшириш, имитацион тажриба, объектга йўналтирилган дастурлаш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

аналитик ва экспериментал-статистик моделлаштириш усуллари асосида ишқаланиш омиллари ва ҳаракатланувчи элементларнинг ўқлари бўйлаб

йўналтирилган кучларни ҳисобга олган ҳолда ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш учун математик моделлар ишлаб чиқилган;

нормал ва ғалаёнлантирувчи таъсирлар остида ишловчи ижро механизмлари ва унинг эталон модели чиқишларини таққослаш асосида олинган хатоликларни компенсацияловчи алгоритм ишлаб чиқилган;

ҳаракатланувчи элементларига сенсор ўрнатиш мумкин бўлган ижро механизмлари учун уларнинг реал ҳолатини тўғридан-тўғри баҳоловчи берк контурли структура ишлаб чиқилган;

ижро механизмларининг ҳаракатланувчи элементларини бошқариш тизимини тўғриловчи қурилмасини таҳлил ва синтез қилиш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

реал вақт давомида ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш алгоритмлари учун статик ва динамик моделлар ишлаб чиқилган;

маргарин хом ашёсини дозалаш технологик жараёнини бошқаришнинг ижро механизмлари ҳолатини инобатга олувчи структура ва функционал схемалари ишлаб чиқилган;

ижро механизмларини лойиҳалашнинг автоматлаштирилган тизимлари учун математик ва дастурий таъминот яратишга асос бўладиган интерфаол компьютар моделлари яратилган;

ижро элементларининг ишлаш аниқлигини яхшилаш ва унинг самарадорлигини оширишга имкон берувчи хом ашёларни дозалаш технологик жараёнини бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган;

назарий таҳлиллар ҳамда экспериментал тадқиқотлар асосида нормал ва ғалаёнлантирувчи таъсирлар остида ишлаш шароитларида ижро механизмларининг хатоликларини компенсацияловчи қурилма ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоблашларнинг амалга оширилиши; ижро элементлари математик моделини қуришнинг назарий асосланган меъзонлари қўлланилиши; замонавий автоматик бошқариш назариясининг синовдан ўтган усуллари ва структуралари ишлатилиши; ижро механизмларини бошқаришнинг таклиф этилган структуралари ва алгоритмлари талаб даражасида эканлиги; назарий ва амалий тадқиқот натижалари ҳамда уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти бошқариш тизимида ижро механизмларидан қўшимча тесқари боғланиш контурини киритиш орқали тизимни такомиллаштириш, тезкор, комбинацион алгоритмларни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ижро элементларини сифатли бошқаришнинг математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқиш ва улардан технологик жараёнларни бошқаришнинг комбинацион алгоритмларга асосланган структураларини қуриш ҳамда лойиҳалашни автоматлаштиришда кенг қўлланилиши билан изоҳланади.



**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Технологик объектларни бошқариш масалаларида ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш алгоритмларини синтезлаш натижалари асосида:

аналитик ва экспериментал-статистик моделлаштириш усуллари асосида, ишқаланиш омиллари ва ҳаракатланувчи элементларнинг ўқлари бўйлаб йўналтирилган кучларни ҳисобга олган ҳолда, ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш учун математик моделлари «Тошкент Ёғ-мой комбинати» АЖда жорий қилинган («Ёғ-мой саноати корхоналари уюшмаси»нинг 2021 йил 12 майдаги КС/3-509-сон маълумотномаси). Натижада, маргарин ишлаб чиқариш цехида хом ашёларни дозалаш жараёнининг самарадорлигини 1,5 фоизга яхшилаш имконини берган;

ижро элементларини бошқариш қурилмаси ва тизими «Тошкент Ёғ-мой комбинати» АЖда жорий қилинган («Ёғ-мой саноати корхоналари уюшмаси»нинг 2021 йил 12 майдаги КС/3-509-сон маълумотномаси). Натижада, ижро элементларидаги бузулишлар сони камайтирилиб, жараённинг узок вақт узлуксиз ишлашини таъминлаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 5 та Республика миқёсидаги илмий-амалий конференцияларда қилинган маърузаларда муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жамми 15 та илмий иш чоп этилган, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 8 та мақола, жумладан, 3 таси хорижий (3 таси Scopus рўйхатига киритилган) ва 5 таси республика журналларида эълон қилинган. Шунингдек, 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатидан ўтказилганлиги тўғрисида гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 115 саҳифани ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги асосланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, тадқиқот натижаларининг апробацияси, нашр этилган ишлар ҳамда диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ижро элементларининг автоматик бошқариш тизимидаги роли ва синфланиши**» деб номланган биринчи бобида ижро механизмларининг классификациялари ва умумий характеристикалари

келтирилган. Автоматик бошқариш тизимларини синтезлашда асосий эътибор ростлагичларнинг оптимал қонуниятлари ва параметрларини аниқлашга қаратилиши эътироф этилган. Ростлагичларнинг ишлаши ҳисобий жиҳатдан мукамал бўлса-да, ижро этувчи элементлар ростлагич топшириғини тўғри бажара олмаса, автоматик бошқариш тизимидан кутилган натижага эришиб бўлмайди. Шунинг учун ҳам тизим таркибида ижро элементларини ўрганиш, уларнинг ҳолатини баҳолаш масалалари долзарблигига алоҳида урғу берилган. Тадқиқот объекти структуризацияланиб, ҳар қандай ижрочи элементларини умумий структурага келтириш ва шу асосида анализ масалаларини ечиш мумкинлиги кўрсатиб ўтилган.

Ижро элементларининг ҳолатини баҳолаш ва бошқариш муаммолари бўйича олимлар томонидан амалга оширилган ишлар таҳлилига кўра, бу борада кўплаб илмий ва амалий тадқиқотлар бажарилган бўлсада, аксарият ишларда ижро элементларини автоматик ростлаш ва бошқариш тизими таркибидаги кичик бир элемент сифатида қаралганлиги ва ҳисобашларда ижро механизмларининг узатиш функцияси кучайтирувчи коэффициент сифатида ифодаланганлиги келтириб ўтилган. Ижро элементларини объект сифатида тасвирлаб, уларнинг статик ва динамик характеристикаларини тадқиқ қилиш методикалари етарлича ёритилмаганлиги аниқланган. Таҳлил натижаларига кўра ижро механизмларини бошқариш алгоритмларини тадқиқ қилиш, маълум маънода ижро элементларини интеллектуаллаштириш ва шу орқали бошқариш тизимининг сифат кўрсаткичларини яхшилаш масалалари қўйилган. Мазкур масалаларнинг ечими умумий ҳолда ишлаб чиқариш жараёнларини бошқариш тизими сифатини янги босқичга кўтариш ва шу орқали маҳсулот сифати ва миқдорини яхшилаш, шунингдек, инсонларнинг ишлаш шароитларини енгиллаштиришга қаратилган. Юқорида келтирилган фикрларга асосланиб, мазкур диссертация ишининг мақсадини ижро элементларининг ҳолатини баҳолаш, характеристикаларини тадқиқ этиш ва бошқариш алгоритмларини шакллантириш ҳамда уларни амалиётда қўллаш, деб таърифлаш мумкин.

Диссертациянинг «**Ижро механизмларининг ҳолатини баҳолаш моделлари**» деб номланган иккинчи бобида ишлаб чиқариш корхоналарида кенг тарқалган ижрочи қурилмаларнинг статик ва динамик моделлари ишлаб чиқилган. Хусусан, мембранали пневматик ростлаш клапанининг ўзаро қарама-қарши кучлар мувозанати асосида хароратни инобатга олган ҳолда қурган статик моделимиз қуйидаги тенглама орқали ифодаланган:

$$h = \frac{\frac{\rho RT}{MS_M} + P_{\text{бошқ}}}{K_{\text{прж}}}, \quad (1)$$

бу тенгламада  $h$  – штокнинг силжиши;  $\rho$  – ҳаво зичлиги;  $R$  – универсал газ доимийси;  $T$  – харорат;  $M$  – ҳавонинг моляр массаси;  $S_M$  – мембрана юзаси;  $P_{\text{бошқ}}$  – бошқарувчи босим;  $K_{\text{прж}}$  – пружинанинг қаттиқлик коэффициенти.

Гидравлик ижро элементларининг статик моделларини куришда кувур узунлиги бўйлаб босимнинг йўқолиши инобатга олиниб, Вайсбах-Дартси формуласи билан аниқланган:

$$\Delta P_l^{AB} = \lambda \rho \frac{l_{AB} V_{AB}^2}{d_K^5}, \quad (2)$$

бунда  $\lambda$  – қаршилик коэффиценти бўлиб, ламинар режим учун  $\lambda = \frac{64}{Re}$  ифода ёрдамида, турбулент режим учун эса  $\lambda = \frac{0,3146}{\sqrt[4]{Re}}$  ифода орқали ҳисобланади;  $l_{AB}$  – трубаининг узунлиги;  $\rho$  – суюқликнинг зичлиги;  $d_K$  – трубаининг диаметри;  $V_{AB}$  – АБ каналдаги суюқликнинг тезлиги.

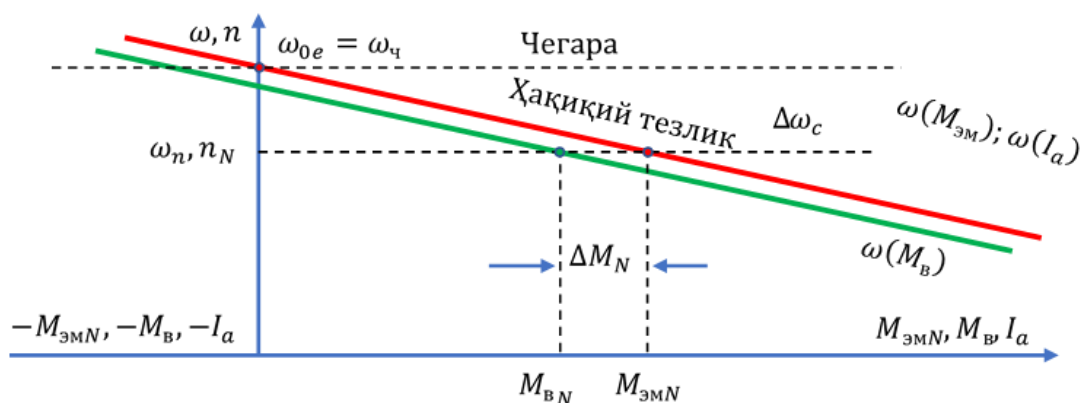
Натижада чизиқли ҳаракатланувчи ижро механизмларининг кириш ва чиқишида дроссели мавжуд бўлган гидроюртималарнинг тезлик характеристикаси қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланган:

$$V = \sqrt{\frac{P_A - \frac{F}{S_B \eta_M}}{K_{AB} + K_{BG} K_S + K_{др}^X \frac{1}{(S_{др}^2)} + K_{др}^Ч \frac{1}{(S_{др}^2)} K_S}}, \quad (3)$$

бунда  $K_{AB} = (\Delta P_l^{AB} + \Delta P_M^{AB} + \Delta P_{АП}^{AB}) \frac{S_B^2}{Q_A^2}$ ,  $K_{BG} = (\Delta P_l^{BG} + \Delta P_M^{BG} + \Delta P_{АП}^{BG}) \frac{S_B^2}{Q_B^2}$ ,

$$K_{др}^X = \frac{\Delta P_{др}^{AB} S_B^2 S_{др}^2}{Q_A^2}, \quad K_{др}^Ч = \frac{\Delta P_{др}^{BG} S_B^2 S_{др}^2}{Q_B^2}.$$

Маълумки, электр ижро механизмларининг асосий юритувчиси ўзгармас ток двигатели ҳисобланади. Якорнинг қаршилигини инобага олган ҳолда ўзгармас ток двигателларининг статик моделлари ишлаб чиқилиб, унинг асосида двигателнинг ҳақиқий ва чегаравий қийматларини ифодаловчи статик характеристика графиги курилган (1-расм).



**1-расм. Ўзгармас ток электродвигателининг ҳақиқий характеристикаси**

Автоматик бошқариш тизимларини лойиҳалаш жараёнида статик моделлардан фойдаланиш мумкин, бошқариш масаласида эса динамик моделларга мурожаат қилиш зарур бўлади. Шу мақсадда пневматик, электрик ҳамда гидравлик элементларнинг динамик моделларини яратиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.

Хусусан, мембранали пневматик бошқариш клапанининг динамик ҳаракатига таъсир этувчи мембранали камерадаги босим кучи  $F_1$ , пружина кучи  $F_2$ , штокнинг ҳаракатланишидаги ишқаланиш кучи  $F_3$  ҳамда ҳаракатланувчи қисмнинг инерция кучи  $F_4$  мувозанатидан келиб чиқиб, қуйидаги кўринишдаги модель ишлаб чиқилган:

$$F_1 = P_M * S_M, \quad (4)$$

бунда  $P_M$  – мембранага берилаётган босим;  $S_M$  – мембрана юзаси.

$$F_2 = K_{\text{прж}} * h, \quad (5)$$

бунда  $K_{\text{прж}}$  – пружинанинг қаттиқлик коэффиценти.

$$F_3 = \psi \frac{v^2}{2}, \quad (6)$$

бунда  $\psi$  – ишқаланиш коэффиценти;  $v$  – штокнинг ҳаракатланиш тезлиги.

$$F_4 = m_{\text{ш}} a, \quad (7)$$

бунда  $m_{\text{ш}}$  – штокнинг ҳаракатланувчи қисмлар билан биргаликдаги массаси;  $a$  – штокнинг ҳаракатланиш тезланиши.

Шток ҳаракатининг динамикасини аниқлаш учун (4), (5), (6) ҳамда (7) ифодалардан фойдаланиб, мувозанат тенгламаси тузилган:

$$F_1 = F_2 + F_3 + F_4. \quad (8)$$

Штокнинг силжиши мембрананинг босимига, мембрана босими эса бошқарувчи босимга боғлиқ холда ўзгаради. Шундай қилиб, мембранали ижро механизмининг динамика модели қуйидаги тенгламалар системаси билан ифодаланди:

$$\begin{cases} \frac{dP_M}{dt} = \frac{(K_T \sqrt{P_6 - P_M})}{(V_{K0} + S_K * h) K_R}, \\ \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{\psi}{2m_{\text{ш}}} \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 = \frac{1}{m} (P_M S_M - K_{\text{прж}} h), \end{cases} \quad (9)$$

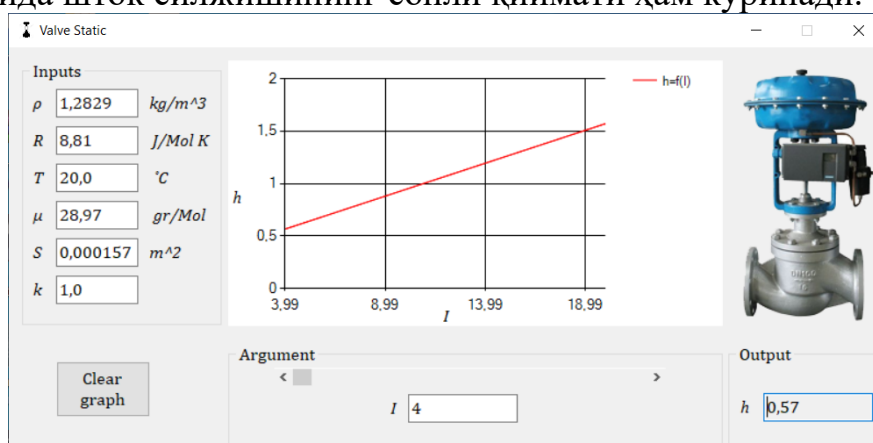
бунда  $K_T$  – камерага уланувчи тармоқларнинг қаршилиги;  $P_6$  – камерага берилаётган ҳаво босими;  $P_M$  – мембрана камерасида ҳосил бўлган босим;  $V_{K0}$  – камеранинг бошланғич ҳажми;  $K_R$  ҳавонинг молекуляр массаси, универсал газ доимийси ва ҳароратга боғлиқ константа;  $m_{\text{ш}}$  – штокнинг массаси.

Винтли электр ижро механизмларининг динамик характеристикаси математик моделини ишлаб чиқишда ўқ бўйлаб йўналган кучларнинг ҳам таъсири ҳисобга олиниб, ижро элементи тизимини иккита: электрик ҳамда механик қисмларга ажратиб олинган. Шунга кўра иккита тизимнинг математик ифодаси қуйидаги тенгламалар системасидан иборат:

$$\begin{cases} T_3 T_M \frac{d^2 \omega(\tau)}{dt^2} + T_M \frac{d\omega(\tau)}{dt} + \omega(\tau) = kU(t), \\ \varphi(\tau) = \int \omega(\tau), \\ Cl + \psi \frac{dl}{dt} + M \frac{d^2 l}{dt^2} = \varphi K C_K, \end{cases} \quad (10)$$

бунда  $T_3$  – электромагнит доимийси;  $T_M$ – электромеханик доимийси;  $\omega$  – якорнинг айланиш тезлиги;  $U$  – тармоқ кучланиши;  $\varphi$  – валнинг бурилиш бурчаги;  $\psi$  – ишқаланиш коэффиценти;  $M$  – массалар йиғиндиси;  $C_K$  – резбали стерженнинг қаттиқлик коэффиценти.

Мембранали пневматик ростлаш клапанининг статик тавсифларини аниқлаш учун шакллантирилган математик модель асосида компьютер модели яратилди. Бу дастурнинг интерфейси 2-расмда келтирилган бўлиб, фойдаланувчилар учун содда ва қулай шаклда бажарилган. Дастур кириш параметрлари берилганда мембранали пневматик бошқариш клапанларида кириш сигналининг штокни силжишига боғлиқлик графигини ва қийматларини аниқлаб беради. Дастурдан фойдаланиш учун клапан кириш параметрларининг қийматлари [Inputs] блокига киритилади. Бу параметрлар: ишчи ҳаво зичлиги  $\rho$ , ҳарорат  $T$ , ишчи ҳавонинг моляр массаси  $\mu$ , мембрананинг ишчи юзаси  $S$ , пружина коэффиценти  $k$ . [Argument] блоки орқали эса бошқариш сигналининг қиймати киритилади. Бошқариш сигналининг қиймати 4–20 мА чегарасида ўзгариши мумкин. Бу қийматни ўзгартириш эса шу блокдаги прокрутка орқали амалга оширилади. Прокрутка минимумдан максимал қийматга қаратиб ёки аксинча сурилса, клапаннинг статик характеристикаси график экранда намоён бўлади. Бундан ташқари [Output] блокда шток силжишининг сонли қиймати ҳам кўринади.



**2-расм. “Valve Static” дастурининг интерфейси**

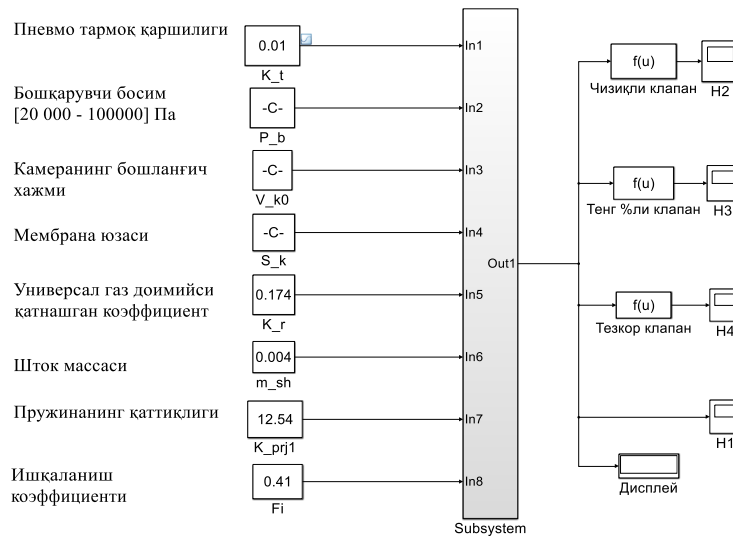
Бу дастур турли параметрли пневматик ростлаш клапанларининг статик характеристикаларини тадқиқ қилиш имконини беради.

Пневматик ростлаш клапанлари учун ишлаб чиқилган динамик тенгламалар асосида мазкур ижро элементининг динамик хусусиятларини ҳисобловчи компьютер модели шакллантирилди. Модель Matlab/Simulink дастурий пакети негизида ишлаб чиқилган бўлиб, унинг структураси 3-расмда тасвирланган.

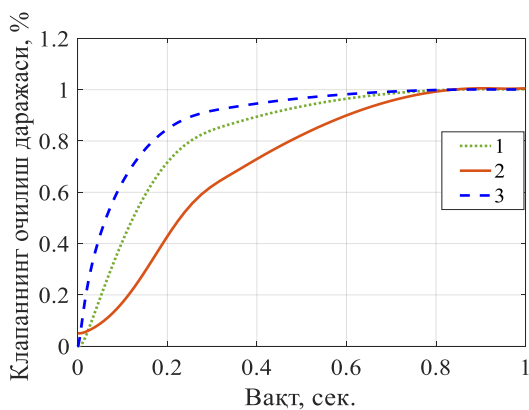
Бу модель турли параметрли мембранали пневматик клапанларнинг динамик характеристикаларини тадқиқ қилиш ва ҳолатини баҳолаш имконини беради.

Мазкур модель ёрдамида тезкор очилувчи, тенг фоизли ҳамда чизикли клапанларнинг динамик ҳолатларини баҳолаш мумкин (4-расм). Ишлаб

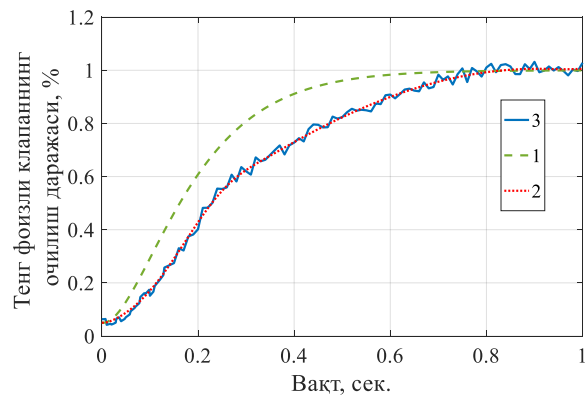
чиқилган математик моделнинг адекватлигини текшириш мақсадида мембранали пневматик ижро элементи танлаб олинди. Тажрибадан олинган натижалар ҳақиқий қиймат сифатида қаралиб, таклиф этилаётган ва мавжуд математик моделлар унга қиёсланди. Натижалар 5-расмда келтирилди.



**3-расм. Мембранали ростлаш клапанининг универсал компьютер модели**



**4-расм. Турли мембранали клапанларнинг ўтиш характеристикаси: 1-чизикли; 2-тенг фоизли; 3-тезкор очилувчи клапанларнинг ўтиш графиклари**



**5-расм. Объект ҳамда математик моделларнинг ўтиш графиклари: 1 – мавжуд моделнинг; 2 – таклиф этилаётган математик моделнинг; 3 – ҳақиқий жараённинг ўтиш графиклари**

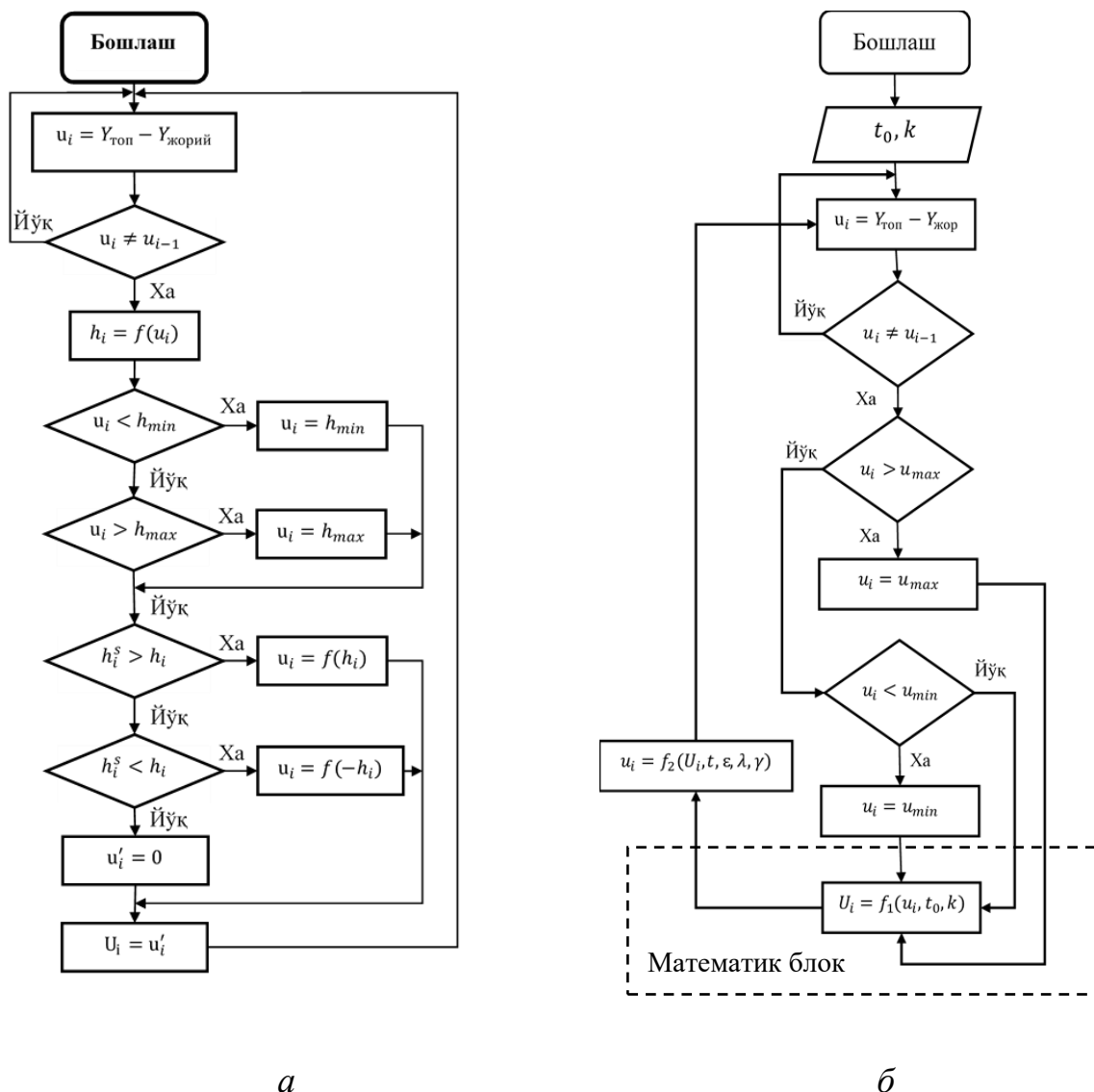
Юқорида келтирилган графиклардан шундай хулосага келиш мумкинки, мавжуд математик модель мембранали клапанининг фақат бошланғич ва якуний қийматларинигина тўғри ифодалай олган. Оралиқ қийматларда эса сезиларли хатоликлар кузатилган. Бунинг натижасида клапанининг ишлаш жараёнида вақт ўтиши билан статик хатоликлар йиғилиб, бошқарув тизимининг хатолигини юзага келтиради.

Ҳисобларга кўра ҳақиқий жараён ҳамда мавжуд модель орасидаги энг катта абсолют хатолик  $\delta_{max} = \max(A_i^{xak} - A_i^{max.mod})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  тенглама асосида аниқланди. Таклиф этилаётган модель учун эса бу кўрсаткич  $\delta_{max} =$

$\max(A_i^{\text{ҳақ}} - A_i^{\text{так.мод}})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  тенглама асосида аниқланди. Ҳақиқий жараён ҳамда мавжуд модель орасидаги энг катта абсолют хатолик 0,22 ни ташкил этган бўлса, таклиф этилаётган математик моделда бу кўрсаткич 0.03 га тенг. Ўртача абсолют хатолик мавжуд математик моделда 0,09 га тенг бўлса, таклиф этилаётган моделда бу хатолик 0,01 ни ташкил этди.

Диссертациянинг “Ижро элементларини бошқариш алгоритмлари” деб номланувчи учинчи бобда бошқариш тизимларининг ижро элементларига нисбатан очик, ёпиқ ва комбинацион структураларини синтезлаш масалалари тадқиқ қилинган.

Агар ижро элементининг ҳаракатланувчи қисмига сенсор ўрнатиш орқали тесқари боғланишни ҳосил қилиш мумкин бўлса, бундай тизим ижро элементига нисбатан берк контурли тизим ҳисобланади. Элемент ҳолати сенсордан келаётган маълумот асосида баҳоланади. Бундай турдаги тизимлар учун яратилган бошқариш алгоритми 6-расмда келтирилган.

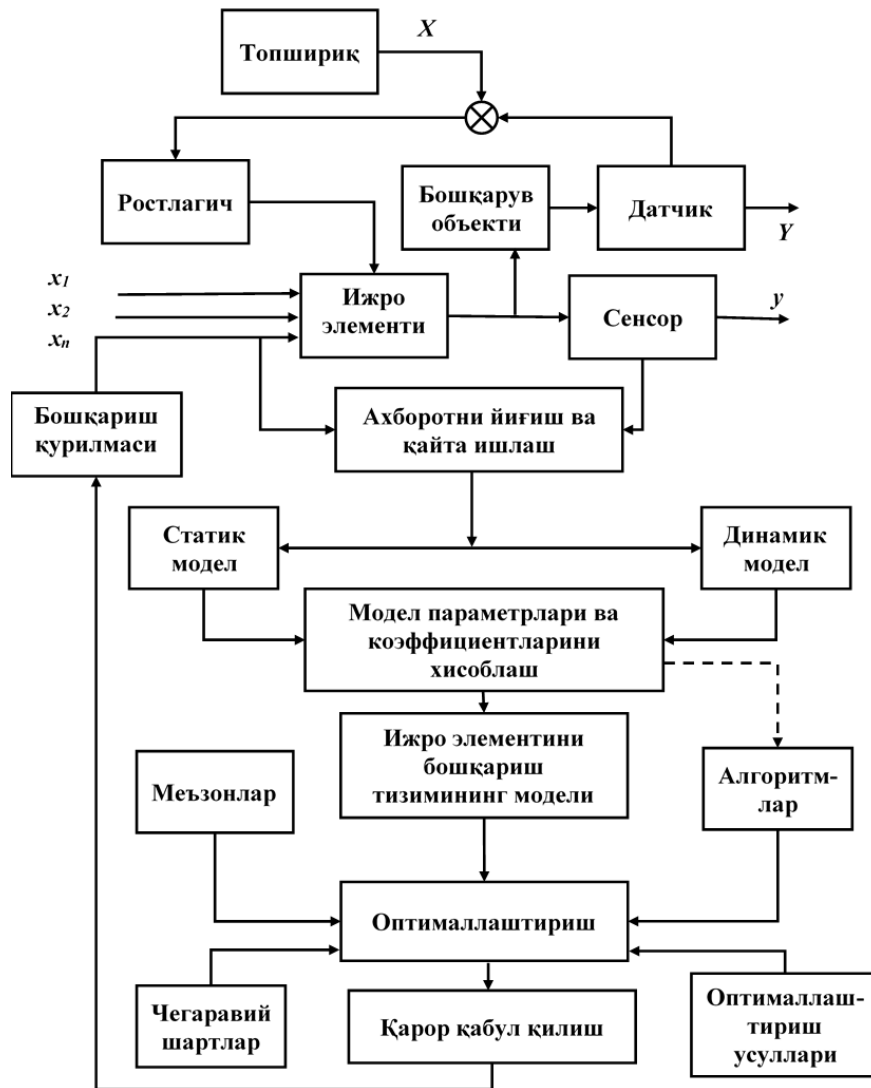


**6-расм. Ижро элементига нисбатан берк (а) ва очик (б) бошқариш тизимларининг алгоритмлари**

Агар ижро элементининг ҳаракатланувчи қисмига сенсор ўрнатишнинг имкони бўлмаса, ижро элементининг ҳолати ҳақидаги ахборот математик блокдан олинади. Бу тизим учун яратилган алгоритм 6-расмда келтирилган.

Очиқ контурли бошқариш алгоритми ҳам, берк контурли бошқариш алгоритми ҳам ўз таркибига мақсадга йўналтирилган бошқариш алгоритмларини олади. Бу алгоритмларнинг қай тартибдаги кетма-кетликда бажарилиши тизим томонидан мақсадларнинг баҳолари бўйича аниқланади.

Амалга оширилган тадқиқотлар натижасида ижро элементини бошқариш тизимини синтезлашнинг функционал структураси ишлаб чиқилди (7-расм). Ижро элементларини бошқариш тизimini синтезлашда иккита асосий таъминотга таянилади. Булар – техник ҳамда дастурий таъминотлардир. Аниқлик билан бошқариш тизимини шакллантиришда техник таъминот юқори ўринни эгаллайди. Ижро механизмининг ҳолат координаталари ахборот сенсорлари орқали аниқланади ва ҳолат баҳоланади. Агар тизимда ижро механизми ҳолати тўғрисидаги ахборотни олишнинг техник жиҳатдан имкони бўлмаса, у ҳолда дастурий таъминотга таянилади.



**7-расм. Ижро элементини бошқариш тизимини синтезлашнинг функционал схемаси**

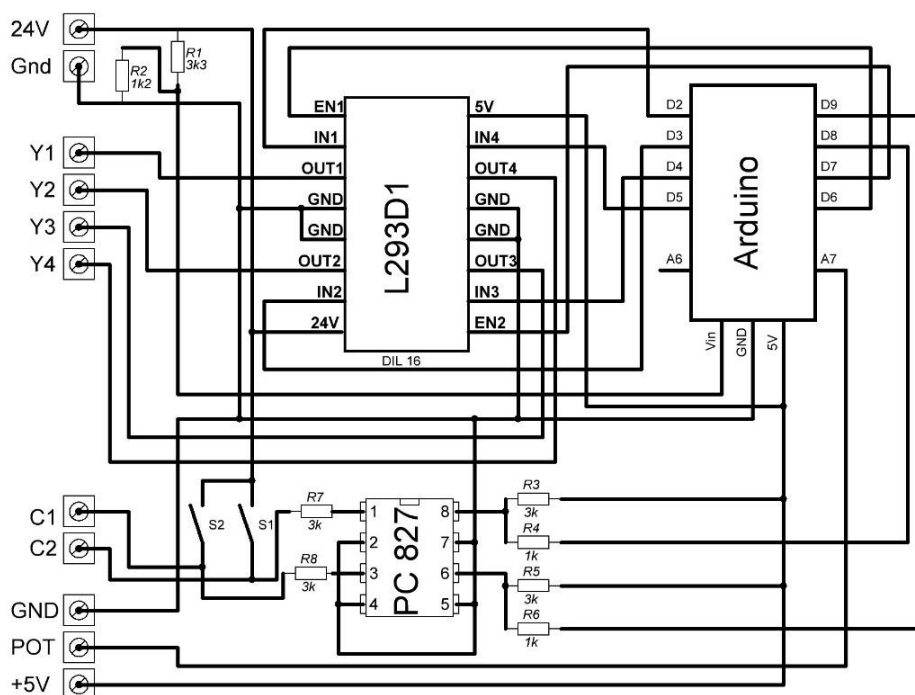


Ахборотларни йиғиш ва қайта ишлаш блоки мавжуд ахборотларнинг қийматлари ва уларнинг ишончилигини тахлил қилади, ахборотларни филтрлайди ва қайта ишлайди.

Қарор қабул қилишда танланган алгоритм ёки алгоритмлар гуруҳи бўйича асосий ҳисоблар амалга оширилади. Натижада ижро механизмини бошқариш таъсири шакллантирилади ва ижро қурилмасига узатилади.

Диссертациянинг **“Ижро элементларини бошқариш тизимининг амалиётга тадбиқи”** деб номланувчи тўртинчи бобида бажарилган ишларнинг амалиётга тадбиқи ёритилган. Тошкент Ёғ-мой комбинатининг автоматлаштирилаётган маргарин ишлаб чиқариш технологик жараёни қисқача баён этилган. Ижро механизмларини бошқариш тизимини синовдан ўтказиш тартиби ва шароитлари келтириб ўтилган.

Клапаннын ҳолати ҳақида ахборот олиш учун мембранали пневматик ростлаш клапанининг позициянеридан электрон қисми ажратиб олиниб, унинг ўрнига позициянерни компьютер билан боғлайдиган янги бошқарув қурилмаси ясалди ва позициянерга ўрнатилди. Мазкур бошқарув қурилмаси (8-расм) реал вақт давомида клапан штокининг ҳолати тўғрисидаги ахборотни компьютерга узатади ва позициянерга бошқариш сигнални беради.



**8-расм. Позиционерни бошқариш қурилмасининг электр схемаси**

Клапанны бошқариш қурилмаси структураси қуйидагича. Қурилма асосий процессор – Ардуино микроконтроллери, икки каналли драйвер - L293D микросхемаси, PC827 оптик боғланиш микросхемаси ҳамда бошқариш тугмалари S1 ва S2 лардан таркиб топган. Мембранали пневматик ростлаш клапани позициянерининг пьезо-клапанлари Y1, Y2, Y3, Y4 колодкаларга уланади. Шток ҳолатини аниқловчи потенциометр эса GND, POT, +5V

колодкаларига уланади. Ташқи бошқариш қурилмасидан (ПЛК, ишчи станция, контроллер) келадиган бошқариш сигналлари С1, С2 колодкаларига уланади.

Ишлаб чиқаришга янги бошқариш тизимини тадбиқ этишдан олинган натижаларни баҳолаш учун аввалги бошқариш тизимидан олинган натижаларга таққослаш зарур бўлади. Шу мақсадда аввалги бошқариш тизимидан ахборотларни қабул қилиш ва компьютерда қайд этиш учун пневматик ростлаш клапани потенциометрик датчик ва аналог-рақамли трансмиттер билан жиҳозланди. Клапанда штокнинг ўзгариш динамикаси поғонали топшириқ таъсири остида олинди. Ижро элементига топшириқ таъсири берилгач, ҳар 5 миллисекунд вақт оралиғида ижро элементининг ҳолати (штокнинг координатаси) тўғрисидаги маълумот қайд этиб борилди ва қуйидаги жадвал ҳосил қилинди.

Жадвал.

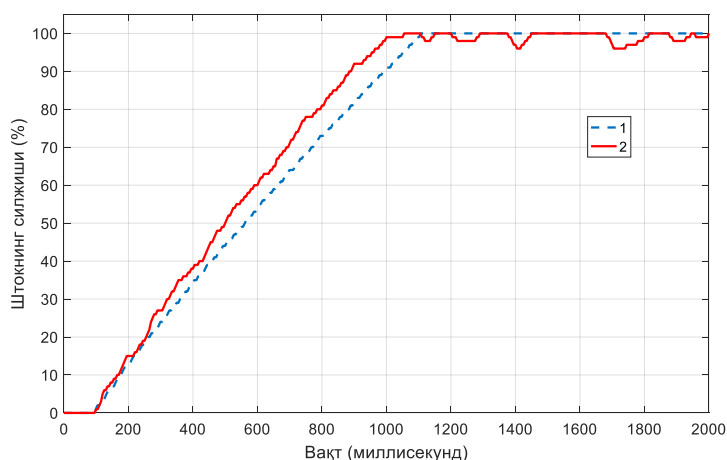
**Мавжуд бошқариш тизимидаги пневматик ростлаш клапанининг динамикаси**

Вақт, мс	Штокнинг силжиши (%)		Вақт, мс	Штокнинг силжиши (%)		Вақт, мс	Штокнинг силжиши (%)	
	Ўлчан- ган	Сил- лиқлан- ган		Ўлчан- ган	Сил- лиқлан- ган		Ўлчан- ган	Сил- лиқлан- ган
0	0	0	155	9	9	260	24	21
95	0	0	160	9	9	265	21	22
100	0	1	165	14	10	270	24	24
105	0	1	195	18	15	275	23	25
110	0	2	215	13	15	280	28	26
115	4	3	220	17	16	285	28	26
120	7	5	225	15	16	325	32	30
125	7	6	230	16	17	330	30	31
130	3	6	235	22	18	335	31	32
135	9	7	240	17	18	340	30	32
140	11	7	245	17	19	345	32	33
145	5	8	250	18	19	350	37	34
150	6	8	255	19	20	355	36	35

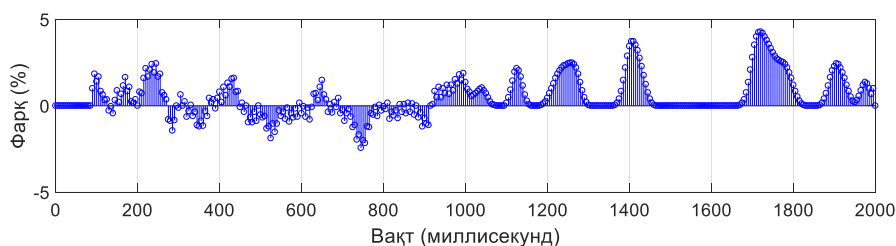
Тажрибадан олинган натижалар ўрта нуқтага нисбатан силлиқлаштириш усули ёрдамида қайта ишланди. Мавжуд ва таклиф қилинаётган бошқариш тизимлари натижаларини 9-расмда келтирилган графикда солиштириш мумкин.

Графикдан кўринадикки, топшириқ берилганда пневматик ростлаш клапанининг ўтиш жараёни деярли тўғри чизик кўринишида. Белгиланган топшириққа эришилгандан сўнг клапан ҳолатини ўзгармас қийматда ушлаб туриш амалга оширилмоқда. Таклиф этилаётган бошқариш тизимида штокнинг ҳолати тўғрисидаги ахборотни силлиқлаштиришга зарурат йўқ. Чунки бошқариш қурилмасининг ичида олинган натижани силлиқлаштирувчи алгоритм мавжуд. Бу эса кетма-кет уланган тизимларнинг ишлаш тезлигига ижобий таъсир кўрсатади.

Ижро элементларини мавжуд бошқариш тизими таклиф қилинаётганига солиштирилиб, сифат курсаткичлари аниқланди. Унга кўра энг катта абсолют хатолик қиймати 4 фоизни ташкил этди. Абсолют хатоликнинг вақтга боғлиқлик графиги 10 – расмда келтирилди.



**9-расм. Таклиф этилаётган (1) ва мавжуд (2) бошқариш тизимидаги ижро элементининг динамик характеристикалари**



**10-расм. Мавжуд ва таклиф этилаётган бошқариш тизимлари орасидаги фарқнинг вақтга боғлиқлик графиги**

Юқоридаги графикдан кўринадики, аввалги 100 миллисекунд вақт атрофида ижро элементи механизмлари соф кечикишга эга. Мавжуд тизимда ижро механизмининг ўтиш вақтида тебранишлар бўлган, ўрнатилган режимда ҳам узлуксиз стабил ҳолат қайд этилмаган. Яъни, клапан штокининг вақти-вақти билан белгиланган қийматдан тушиб кетиш ҳолати кузатилган.

Таклиф қилинган бошқариш тизими ёрдамида бу камчиликлар бартараф этилиб, бошқарув клапанининг бир маромда ишлаши таъминланган.

Ижро элементларини бошқариш тизимини ишлаб чиқаришга тадбиқ қилишдан олинган натижалар таҳлилига кўра қуйидаги мулоҳазаларга келиш мумкин:

- жорий бошқариш тизимида пневматик ростлаш клапанини бошқариш ўтиш жараёнида тебранишлар билан, стабил ҳолатда эса хатоликлар билан амалга оширилади;

- пневматик ростлаш клапанини бошқариш жараёнида ортикча тебранишлар механик қисмлардаги емирилишларга сабаб бўлади ва бундан ташқари клапан орқали оқиб ўтаётган суюқлик қувурида ҳам гидравлик тебранишлар ҳосил бўлиши, натижада қувурларнинг уланиш қисмларига зарар етиши мумкин;

- талаб этилган турғун қийматда мембрана ҳолатини ушлаб тура олмаслик клапан орқали оқиб ўтаётган суюқлик сарфи тез-тез ўзгаришига сабаб бўлади, натижада мослашувчан бошқариш тизимларида ички хатоликлар юзага келади.

## ХУЛОСА

Бошқариш масалаларида ижро механизмлари ҳолатини баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни технологик жараёнларга тадбиқ этиш орқали куйидаги натижалар олинди:

1. Автоматик бошқариш тизимларида ижро элементлари ҳолатини баҳолаш учун ўқ бўйлаб йўналган куч ва ишқаланиш кучларини ҳисобга олган ҳолда статик ва динамик моделлар ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган моделлар ижро механизмлари ҳолатини аналогларига нисбатан аниқроқ баҳолаш имконини беради. Хусусан, ўтказилган тажрибаларда ижро элементларини бошқариш сифати 4 фоизга яхшиланганлиги аниқланган.

2. Моделлаштиришнинг интерактив усули асосида бошқариш клапанларининг хусусиятларини аниқловчи “Valve Static” дастури яратилди. Мазкур дастур фойдаланувчи учун қулай интерфейсга эга бўлиб, ижро элементининг ҳолатини ҳисобий қийматидан ташқари визуал тасвирлаш имконини ҳам беради.

3. Ижро механизмларининг реал ҳолатини баҳолаш учун ҳаракатланувчи қисмларга позиция сенсорларини ўрнатиш йўли билан бошқаришнинг такомиллаштирилган структураси ишлаб чиқилди. Бу структура учун берк контурли тизимда ижро элементи ҳолатини баҳолаш ва бошқариш алгоритми яратилди.

4. Ижро элементларини сенсор билан жиҳозлаб бўлмайдиган шароитлар учун математик блокка таяниб ишлайдиган бошқариш структураси ишлаб чиқилди. Бундай структурадаги тизимни бошқариш алгоритми ахборотлар етарли бўлмаган шароитларда ҳам ижро элементлари ҳолатини баҳолаш имконини беради.

5. Автоматик бошқариш тизимлари ижро элементлари ҳолатини ҳисобга олиб, қуриш жараёнининг функционал структураси ишлаб чиқилди. Бу структурадан ижро элементлари ҳолатини баҳолаш ва бошқариш масалаларини ечишда йўл ҳаритаси сифатида фойдаланиш мумкин.

6. Arduino контроллери базасида пневматик ростлаш клапани ҳолати тўғрисида маълумот берувчи ва унга топшириқ сигналларини юборувчи платформа яратилди. Мазкур платформадан бошқариш дастурини ўзгартириш билан мембранали ростловчи клапанлар синфига тааллуқли ижро элементлари ҳолатини баҳолаш ва бошқаришда фойдаланиш мумкин.

7. Тошкент ёғ-мой комбинатининг маргарин ишлаб чиқариш цехидаги хом ашёларни дозалаш технологик жараёнига пневматик ростлаш клапанини бошқариш тизими жорий этилди. Натижада суткалик ишлаб чиқариш ҳажми оширилиб, йилига 180 616 523 сўм иқтисодий самарадорликка эришилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**КАСИМОВ ФАРХОД ОРИФЖАНОВИЧ**

**АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ  
МЕХАНИЗМОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ОБЪЕКТАМИ**

**05.01.06 – Элементы и устройства вычислительной техники  
и систем управления**

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

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2021.1.PhD/T2083.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

**Научный руководитель:** **Исмаилов Мирхалил Агзамович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Улжаев Эркин**  
доктор технических наук, доцент  
**Сапаев Маматкарим**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **Навоийский государственный горный институт**

Защита диссертации состоится «14» 07 2021 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 213) (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «07» 07 2021 года.  
(реестр Протокола рассылки № 11 от «13» 06 2021 года).



**Н.Р.Юсупбеков**  
Председатель Научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор, академик

**У.Ф.Мамиров**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
доктор философии (PhD) по техническим наукам

**Х.З.Игамбердиев**  
Председатель Научного семинара при  
Научном совете по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор, академик

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мировой практике сформировалась тенденция совершенствования технического и программного обеспечения систем управления технологическими объектами для эффективной организации производственных процессов и, в частности, разработки прототипов исполнительных механизмов, приводов, актуаторов и конечных элементов управления с новой структурой и дизайном, а также совершенствования существующих и увеличения их функциональности. Растет спрос на высокоточные, недорогие, простые в обслуживании устройства и элементы для рациональной организации производственных процессов.

Крупнейшие мировые производственные корпорации и научно-исследовательские и инновационные институты ежегодно проводят различные конференции и выставки с целью совершенствования механизмов внедрения автоматизации, унификации требований к ним, проектирования и производства, а также согласования новых типов исполнительных элементов<sup>1</sup>. В управлении качеством технологических объектов важны оценка состояния исполнительных элементов, синтез быстрых алгоритмов управления ими. В связи с этим изучение и моделирование алгоритмов управления для оценки состояния исполнительных механизмов и повышения качества процессов управления очень актуальны и необходимы.

Особое внимание уделяется мерам по совершенствованию и локализации процессов химической и пищевой промышленности, которые являются одним из важнейших секторов экономики страны<sup>2</sup>. В связи с этим в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 гг. указывается, что требуется «... снижение энерго- и ресурсоемкости экономики, внедрение энергосберегающих технологий в производство, повышение производительности труда в экономике»<sup>3</sup>. Для реализации этих задач необходима разработка алгоритмов оценки состояния механизмов правоприменения с использованием современных технических и информационных технологий с целью повышения качества технологических процессов.

Данное диссертационное исследование служит в определенной степени выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 от 26 мая 2017 г. «О программе мероприятий по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017–2021 годы», № ПП-3682 от 27 апреля 2020 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы внедрения инновационных идей, технологий и проектов», № ПП-4699 от 28 апреля 2020 г. «О мерах по повсеместному

---

<sup>1</sup> ACTUATOR 21 - Международная конференция и выставка по новой системе приводов и их применениям, <https://www.actuator.de/en>.

<sup>2</sup> Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 24.09.2019 № 802 «О дополнительных мерах по развитию промышленного потенциала Ташкентской области на 2019–2022 годы».

<sup>3</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

внедрению цифровой экономики и Электронное правительство», а также в нормативных правовых актах, связанных с этой деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование является частью Республиканского проекта развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и реализуется в рамках приоритета IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Согласно анализу статей на международном научном портале Sciencedirect<sup>4</sup>, опубликованных в последние годы, проделана большая научная и практическая работа по формированию алгоритмов оценки состояния механизмов исполнения, моделирования и управления. Такие практические работы, как создание новых прототипов приводов, повышение механической прочности, компьютерное моделирование, проводились учеными из Китая, Ирана, стран СНГ, Японии, стран ЕС и США. В частности, был выполнен ряд работ Яжи Го, Ючуань Цзюй, Юанг Ли, Сяосян Гун, Вейгуо Ге по математическому моделированию и имитационному моделированию исполнительных механизмов<sup>5</sup>. Вопросы диагностики состояния исполнительных механизмов на основе моделирования исследовали А. Кучмин, А. В. Месропян, Д. Антуан, М. Кори, А. Хаджаджи, Цзинь Ли, Люа Пинкуан, Динга Хан, Хоссейн Годарзи, Хасан Саларейх, Саид Фисал, Пол Ананд, Абдул Рахман и др. В своих исследованиях ученые предложили современные методы моделирования и управления исполнительными элементами.

В нашей стране идентификацией математических моделей исполнительных элементов, совершенствованием систем управления, интеллектуальных систем управления исполнительными механизмами занимались Н. Р. Юсупбеков, Х. З. Игамбердиев, Н. Равшанов, Ш. Х. Фазилов, М. А. Исмаилов В. А., Сиддиков Х. И., Гулямов Ш. М. Арипов, Ф. Т. Адиллов – ими проводились научные исследования и предлагались инновации в этой области. Кроме того, многие молодые ученые проводят исследования в разных дисциплинах. Было отмечено, что теоретические основы математического моделирования и оптимизации технологических процессов служат основой для комплексного подхода к проблемам эксплуатации, оценки механизмов работы, прогнозирования и оптимизации показателей.

Однако влияние переменных параметров исполнительных элементов на общую систему управления, оценивающую их статус путем описания механизмов реализации как полусистемы, изучено недостаточно.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Исследование диссертации выполнено в рамках

---

<sup>4</sup> <https://www.sciencedirect.com/>.

<sup>5</sup> Сяоган Гун и др., Численный анализ механизма потерь энергии в кавитационном потоке регулирующего клапана//Международный журнал тепломассообмена. 2021. Т. 174. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121331>.



научно-исследовательского проекта Ташкентского государственного технического университета №ОТ-Ф7-88 «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсоэффективных тепломассообменных процессов сложных химико-технологических систем на производстве чистых продуктов» (2018–2020).

**Цель исследования** – создание экспресс-алгоритмов точной оценки состояния исполнительных механизмов, которые широко используются в управлении технологическими объектами.

**Задачи исследования:**

разработать математические модели механизмов исполнения на основе систематического анализа вопросов повышения точности работы механизмов и совершенствования управления в автоматизированных системах;

разработать алгоритмы оценки состояния исполнительных элементов в системах управления;

создать интерактивные компьютерные модели исполнительной системы управления;

осуществить синтез структур, обеспечивающих качественную и надежную работу исполнительных механизмов в системах управления.

**Объект исследования** – исполнительные механизмы, используемые в управлении технологическими процессами.

**Предмет исследования** – алгоритмы оценки состояния исполнительных механизмов в управлении технологическими объектами.

**Методы исследования.** В исследовании использованы декомпозиция, пошаговое моделирование, аналитическое моделирование, параметрическая идентификация, сравнительная оценка, контроль устойчивости теории автоматического управления, имитационный эксперимент, методы объектно-ориентированного программирования системного анализа.

**Научная новизна исследования** состоит в следующем:

на основе методов аналитического и экспериментально-статистического моделирования разработаны математические модели для оценки состояния исполнительных механизмов с учетом факторов трения и сил, направленных по осям движущихся элементов;

разработан алгоритм компенсации ошибок, полученных на основе сравнения исполнительных механизмов, работающих при нормальных и возбуждающих воздействиях, и выходных данных его эталонной модели;

разработана замкнутая структура прямого оценивания реального положения исполнительных механизмов, на движущиеся элементы которых могут устанавливаться чувствительные сенсоры;

разработаны алгоритмы анализа и синтеза устройства регулировки системы управления движущимися элементами исполнительных механизмов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

созданы статические и динамические модели алгоритмов оценки состояния исполнительных механизмов в реальном времени;

составлены структурные и функциональные схемы, учитывающие состояние механизмов реализации технологического процесса дозирования маргаринового сырья;

разработаны интерактивные компьютерные модели, основанные на создании математических и программных средств автоматизированных систем проектирования исполнительных механизмов;

разработан алгоритм управления технологическим процессом дозирования сырья, позволяющий повысить точность работы элементов и повысить его эффективность;

на основе теоретического анализа и экспериментальных исследований создано устройство для компенсации погрешностей исполнительных механизмов в условиях эксплуатации при нормальных и возбуждающих воздействиях.

**Достоверность результатов исследования состоит в** выполнении методологически обоснованных теоретических расчетов; применении теоретически обоснованных критериев для построения математической модели исполнительных элементов; использовании апробированных методов и структур современной теории автоматического управления; в том, что предлагаемые структуры и алгоритмы управления механизмами исполнения находятся на необходимом уровне и подтверждается результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в совершенствовании системы, разработке быстрых комбинаторных алгоритмов путем введения дополнительных контуров обратной связи от исполнительных механизмов к системе управления.

Практическая значимость результатов исследования объясняется разработкой математического и алгоритмического обеспечения контроля качества исполнения элементов и их широким использованием при построении и автоматизации проектирования конструкций на основе комбинаторных алгоритмов управления технологическими процессами.

**Внедрение результатов исследования.** По результатам синтеза алгоритмов оценки состояния механизмов реализации в управлении технологическими объектами:

математические модели для оценки состояния исполнительных механизмов на основе аналитических и экспериментально-статистических данных с учетом факторов трения и сил, направленных по осям движущихся элементов, внедрены в АО «Ташкентский масложировой комбинат» (Справка КС/3-509 Ассоциации предприятий масложировой отрасли от 12 мая 2021 г.). В результате эффективность процесса дозирования сырья на заводе по производству маргарина повысилась на 1,5%;

устройство управления и система исполнительных органов внедрены в АО «Ташкентский масложировой комбинат» (Справка КС/3-509 Ассоциации предприятий масложировой отрасли от 12 мая 2021 г.). В результате количество сбоев в исполнительных элементах было уменьшено, что

позволило обеспечить бесперебойность процесса в течение длительного времени.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования обсуждались на 3 международных и 5 республиканских научных конференциях.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 8 статей в научных изданиях, из них 3 – в зарубежных (3 включены в список Scopus) и 5 – в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов доктора философии (PhD). Получено также 2 свидетельства об официальной регистрации компьютерных программ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации – 115 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** освещаются актуальность и востребованность темы исследования, описываются цели и задачи, объект и предмет исследования, их соответствие приоритетам науки и технологий Республики Узбекистан, обосновываются научная новизна и практические результаты, а также научная и практическая значимость исследования. Приводятся сведения о внедрении результатов в практику, апробации результатов исследования, структуре, объеме диссертации и опубликованных работах.

В первой главе диссертации – **«Классификация исполнительных элементов и их роль в системе автоматического управления»** – изложены классификация и общая характеристика исполнительных механизмов. Признано, что основной упор при синтезе систем автоматического управления делается на определение оптимальных законов и параметров регуляторов. Несмотря на то, что производительность регуляторов идеальна с точки зрения вычислений, ожидаемый результат от автоматической системы управления не может быть достигнут, если исполнительные механизмы не могут правильно выполнять регулировочную задачу. Этим подчеркивается актуальность исследования производительности исполнительных элементов в системе управления и оценки их состояния. Показано, что, если построить структуру объекта исследования, то на ее основе можно будет вносить любые исполнительные элементы в общую структуру и решать задачи анализа.

Проведено множество научных исследований и получены обширные практические результаты по оценке и контролю состояния исполнительных элементов. Однако в большинстве случаев исполнительный элемент рассматривается исследователями как малозначительный в системе автоматической настройки и контроля, а в расчетах ими указывается, что передаточная функция исполнительных механизмов выражается в качестве

фиксированного коэффициента усиления. В связи с этим были подняты вопросы повышения качества системы управления и установлена недостаточность освещения методов исследования исполнительных элементов, а также их статических и динамических характеристик.

Показана необходимость изучения алгоритмов управления исполнительными механизмами и в определенном плане – интеллектуализации элементов исполнения. Обосновано, что решение указанных задач поднимет на новый уровень качество системы управления производственными процессами и, тем самым, повысит качество и количество выпускаемой продукции, а также улучшит условия труда людей. С учетом вышеизложенного цель данной диссертации можно охарактеризовать как формирование оценки состояния исполнительных элементов, изучение их характеристик, а также разработка алгоритмов управления и их применение на практике.

Вторая глава диссертации – «**Модели оценки состояния исполнительных элементов**» – посвящается разработке статических и динамических моделей исполнительных устройств, широко применяемых на производственных предприятиях. В частности, предлагаемая диссертантом статическая модель мембранного пневматического регулирующего клапана основана на балансе противодействующих сил с учетом температуры и выражается следующим уравнением:

$$h = \frac{\frac{\rho RT}{MS_M} + P_{упр}}{k}, \quad (1)$$

где  $h$  – сдвиг штока;  $\rho$  – плотность воздуха;  $R$  – постоянная универсального газа;  $T$  – температура;  $M$  – молярная масса воздуха;  $S_M$  – поверхность мембраны;  $P_{упр}$  – управляющее давление;  $k$  – коэффициент жесткости пружины.

При построении статических моделей гидравлических исполнительных элементов учитывались потери давления по длине трубы, которые определялись по формуле Вайсбаха–Дартси

$$\Delta P_l^{AB} = \lambda \rho \frac{l_{AB} V_{AB}^2}{d_K^5}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления, вычисляемый для ламинарного режима по выражению  $\lambda = \frac{64}{Re}$ , а для турбулентного режима – по формуле  $\lambda = \frac{0,3146}{\sqrt[4]{Re}}$ ;  $l_{AB}$  – длина трубы;  $\rho$  – плотность жидкости;  $d_K$  – диаметр трубы;  $V_{AB}$  – скорость жидкости в канале АБ.

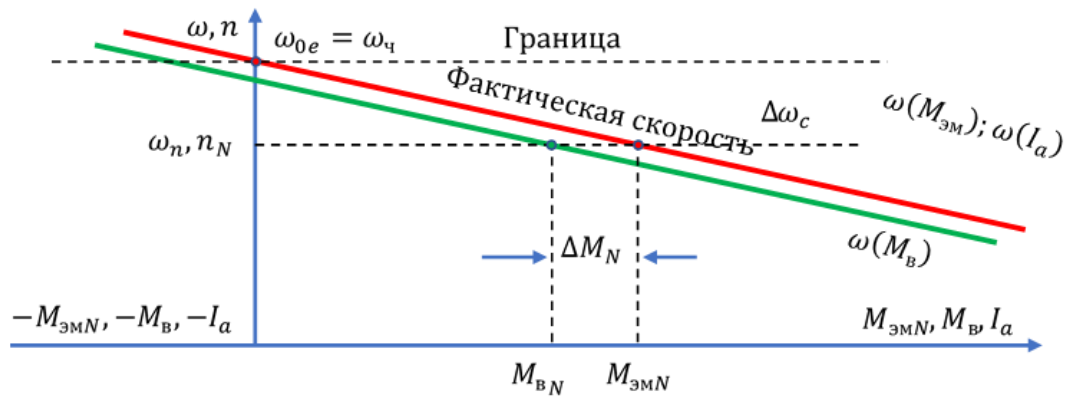
В результате скоростная характеристика гидравлики с дросселем на входе и выходе линейных приводов была определена с использованием следующего уравнения:

$$V = \sqrt{\frac{P_A - \frac{F}{S_B \eta_M}}{K_{AB} + K_{ВГ} K_S + K_{др}^X \frac{1}{(S_{др}^2)} + K_{др}^Ч \frac{1}{(S_{др}^2)} K_S}}, \quad (3)$$

где 
$$K_{AB} = (\Delta P_l^{AB} + \Delta P_M^{AB} + \Delta P_{АП}^{AB}) \frac{S_B^2}{Q_A^2}, \quad K_{BГ} = (\Delta P_l^{BГ} + \Delta P_M^{BГ} + \Delta P_{АП}^{BГ}) \frac{S_B^2}{Q_B^2},$$

$$K_{др}^X = \frac{\Delta P_{др}^{AB} S_B^2 S_{др}^2}{Q_A^2}, \quad K_{др}^Ч = \frac{\Delta P_{др}^{BГ} S_B^2 S_{др}^2}{Q_B^2}.$$

Как известно, основным приводом электрического исполнительного механизма является двигатель постоянного тока. Разработаны статические модели двигателей постоянного тока с учетом сопротивления якоря, на основе которых построен график статической характеристики, отображающий фактические и предельные значения скорости вращения двигателя (рис. 1).



**Рис. 1. Фактические характеристики двигателя постоянного тока**

Статические модели могут использоваться при проектировании систем автоматического управления, тогда как в вопросах управления необходимо обращаться к динамическим моделям. Для этой цели представлены результаты исследований по созданию динамических моделей пневматических, электрических и гидравлических элементов.

В частности, разработана динамическая модель на основе баланса прочности на сжатие силы давления в мембранной камере  $F_1$ , силы пружины  $F_2$ , силы трения при движении штока  $F_3$ , а также силы инерции подвижной части  $F_4$ , которые влияют на динамическое движение мембранного пневматического регулирующего клапана:

$$F_1 = P_m \cdot S_m, \quad (4)$$

где  $P_m$  – давление, приложенное к мембране;  $S_m$  – площадь мембраны;

$$F_2 = K_{прж} \cdot h, \quad (5)$$

где  $K_{прж}$  – коэффициент жесткости пружины;

$$F_3 = \psi \frac{v^2}{2}, \quad (6)$$

где  $\psi$  – коэффициент трения;  $v$  – скорость движения штока;

$$F_4 = m_{ш} a, \quad (7)$$

где  $m_{ш}$  – масса штока вместе с подвижными частями;  $a$  – ускорение движения штока.

Для определения динамики движения штока составлено уравнение равновесия с использованием выражений (4) – (7):

$$F_1 = F_2 + F_3 + F_4. \quad (8)$$

Смещение штока зависит от давления диафрагмы, а давление диафрагмы, в свою очередь, зависит от управляющего давления. Наконец, динамическая модель мембранного исполнительного механизма представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dP_M}{dt} = \frac{(K_T \sqrt{P_6 - P_M})}{(V_{K0} + S_K * h) K_R}, \\ \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{\psi}{2m_{ш}} \left(\frac{dh}{dt}\right)^2 = \frac{1}{m} (P_M S_M - K_{прж} h), \end{cases} \quad (9)$$

где  $K_T$  – сопротивление сетей, подключенных к камере;  $P_6$  – давление воздуха, подаваемого в камеру;  $P_M$  – давление, создаваемое в мембранной камере;  $V_{K0}$  – начальный объем камеры;  $K_R$  – константа, зависящая от молекулярной массы воздуха, универсальной газовой постоянной и температуры;  $m_{ш}$  – масса штока.

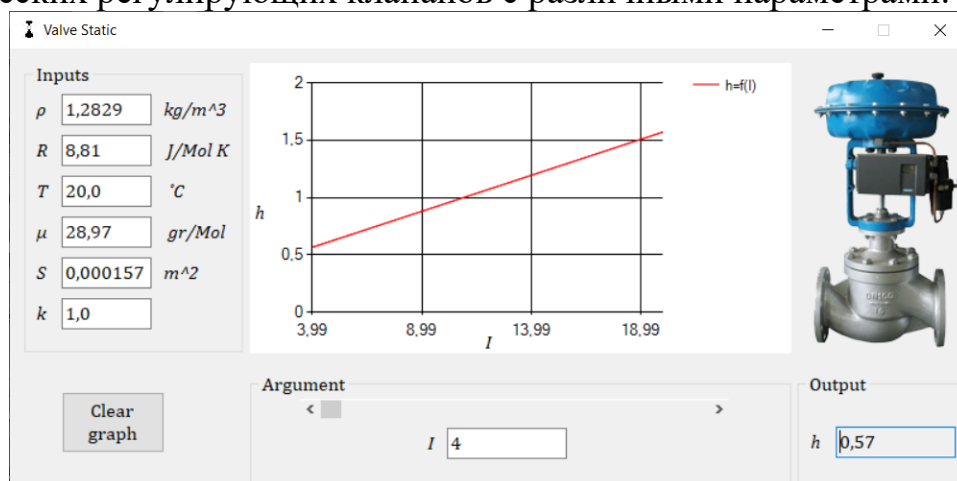
При разработке математической модели динамических характеристик винтовых электрических исполнительных механизмов также учитывается влияние осевых сил, а система исполнительного элемента делится на две части: электрическую и механическую. Соответственно, система уравнений двух систем математически выражается в следующем виде:

$$\begin{cases} T_э T_M \frac{d^2 \omega(\tau)}{dt^2} + T_M \frac{d\omega(\tau)}{dt} + \omega(\tau) = kU(t), \\ \varphi(\tau) = \int \omega(\tau), \\ Cl + \psi \frac{dl}{dt} + M \frac{d^2 l}{dt^2} = \varphi K C_{ж}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $T_э$  – электромагнитная постоянная;  $T_M$  – электромеханическая постоянная;  $\omega$  – скорость вращения якоря;  $U$  – линейное напряжение;  $\varphi$  – угол поворота вала;  $\psi$  – коэффициент трения;  $M$  – сумма масс;  $C_{ж}$  – коэффициент жесткости стержня с резьбой.

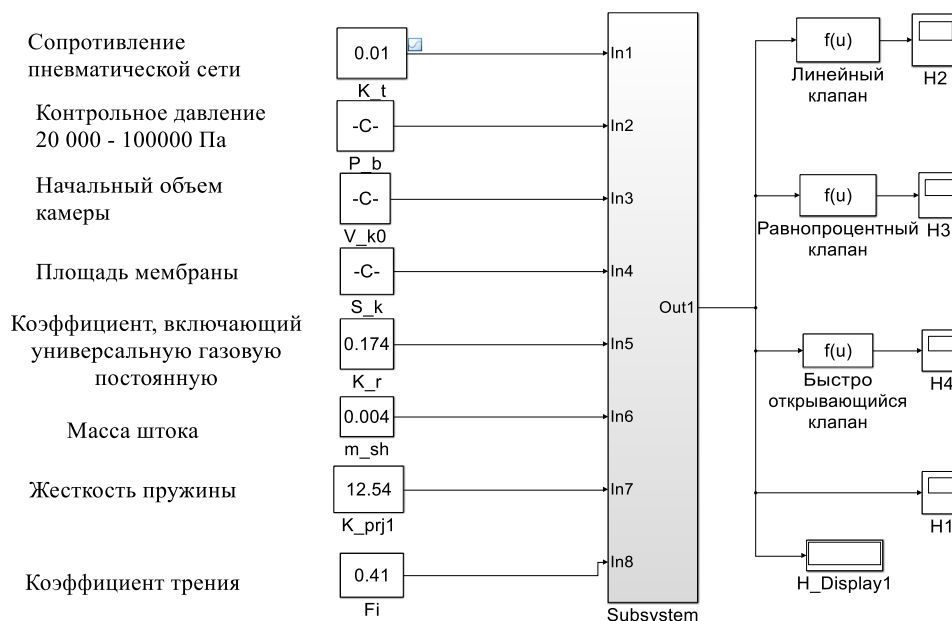
Компьютерная модель была создана на основе математической модели, сформированной для определения статических характеристик мембранного пневматического регулирующего клапана. Интерфейс этой программы показан на рис. 2 и выполнен в простой и удобной для пользователей форме. При задании входных параметров программа определяет график и значения зависимости входного сигнала от смещения штока в мембранных пневмоклапанах. Для использования программы значения входных параметров клапана вводятся в блок [Inputs]. Этими параметрами являются: плотность рабочего воздуха  $\rho$ , температура  $T$ , молярная масса рабочего воздуха  $\mu$ , рабочая поверхность мембраны  $S$ , коэффициент упругости  $k$ . Значение управляющего сигнала вводится через блок [Argument]. Величина управляющего сигнала может варьироваться в диапазоне 4–20 мА. Изменение этого значения осуществляется путем смещения ползунка в этом блоке. Когда ползунок сдвигается от минимума к максимуму или наоборот, статическая характеристика клапана отображается на графическом дисплее. Числовое значение смещения штока также отображается в блоке [Output].

Эта программа позволяет изучать статические характеристики пневматических регулирующих клапанов с различными параметрами.



**Рис.2. Интерфейс программы “Valve Static”**

На основе дифференциальных уравнений, разработанных для пневматических регулирующих клапанов, была сформирована компьютерная модель, которая рассчитывает динамические свойства этого привода. Модель основана на программном пакете Matlab/Simulink, структура которого показана на рис. 3.

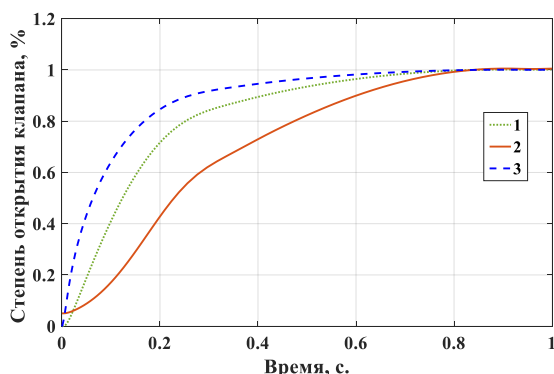


**Рис.3. Универсальная компьютерная модель клапана регулировки мембраны**

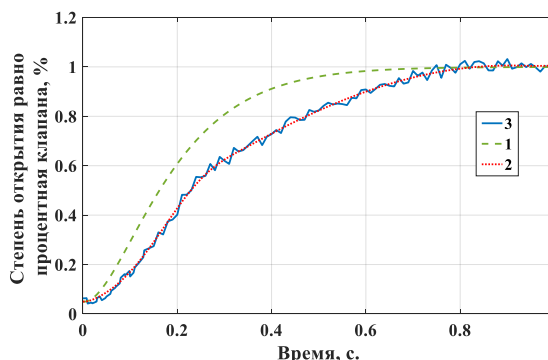
Эта модель позволяет изучать динамические характеристики и оценивать состояние мембранных пневматических клапанов с различными параметрами.

Используя данную модель, можно оценить динамические состояния быстро открывающихся, равно процентных и линейных клапанов (рис. 4). Для проверки адекватности разработанной математической модели был выбран

мембранный пневмопривод. Приняв результаты эксперимента как реальные значения, сопоставляем с ними предложенные и существующие математические модели. Полученные результаты приведены на рис. 5.



**Рис.4. Переходные характеристики различных мембранных клапанов:**  
 1–линейный клапан; 2–равнопроцентный клапан; 3–быстро открывающийся клапан



**Рис.5. Переходный график объекта и математической модели:** 1–текущая модель; 2–предлагаемая математическая модель; 3–переходный график реального процесса

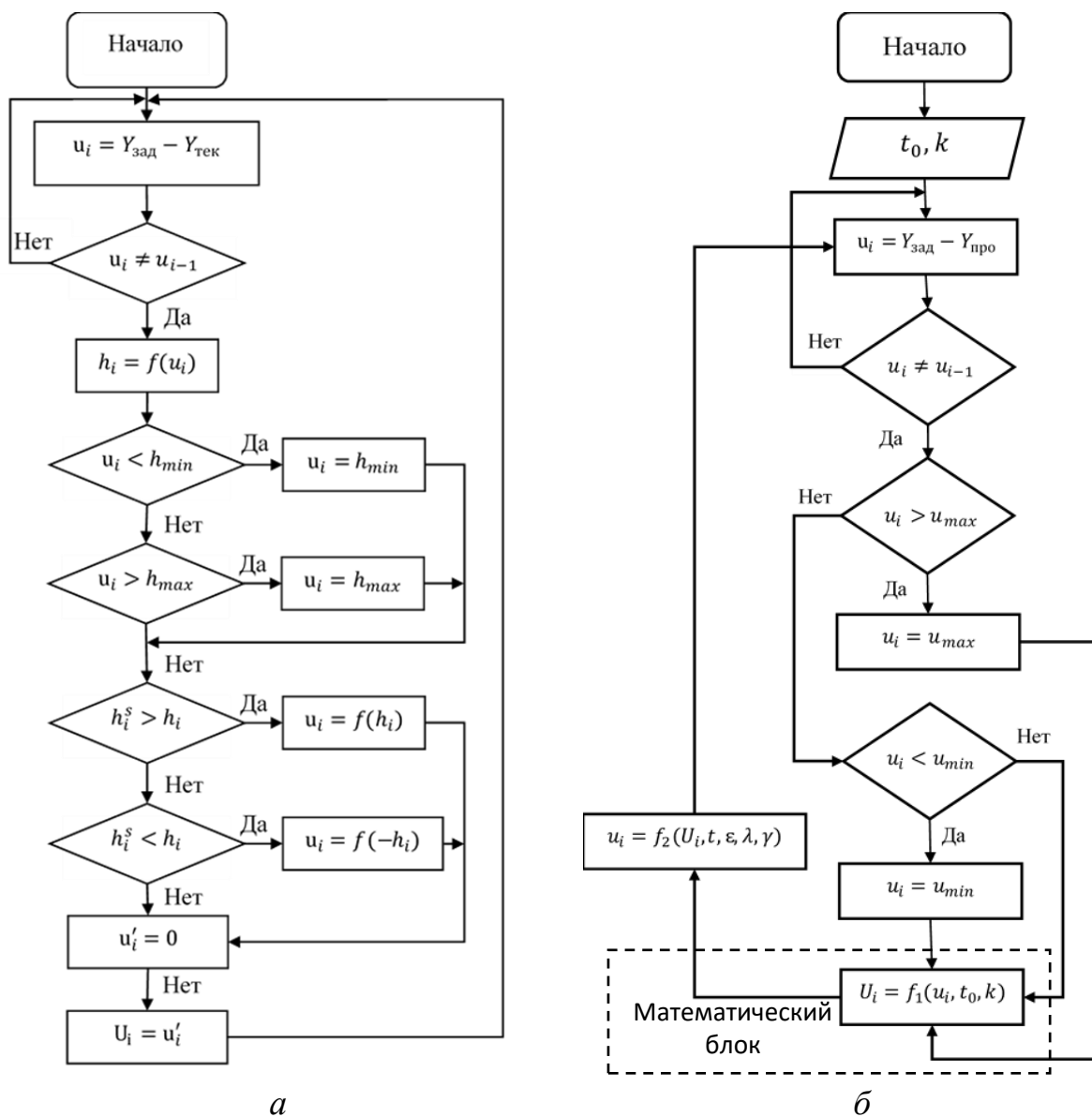
Как установлено из графиков рис. 4 и 5, по существующей математической модели можно точно получить только начальные и конечные значения мембранного клапана. Значительные ошибки наблюдались в промежуточных показателях. В результате статические ошибки накапливаются со временем в процессе работы клапана, что приводит к отказу системы управления.

Согласно расчетам, наибольшая абсолютная ошибка между реальным процессом и существующей моделью определена на основе уравнения  $\delta_{max} = \max(A_i^{\text{реал}} - A_i^{\text{тек.мод}})$ ,  $i = 1, 2, \dots N$ . Для предлагаемой модели этот показатель определяется уравнением  $\delta_{max} = \max(A_i^{\text{реал}} - A_i^{\text{пред.мод}})$ ,  $i = 1, 2, \dots N$ . Максимальная абсолютная ошибка между реальным процессом и существующей моделью составляла 0,22, а в предлагаемой математической модели – 0,03. В то время как средняя абсолютная ошибка равнялась 0,09 в существующей математической модели, в предлагаемой модели она составляла 0,01.

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Алгоритмы управления исполнительными элементами», исследуются вопросы синтеза открытых, замкнутых и комбинированных структур систем управления по отношению к исполнительным элементам.

Если можно создать обратную связь, установив датчик на подвижной части исполнительного механизма, система считается замкнутой по отношению к исполнительному механизму. Состояние элемента оценивается на основе информации, поступающей от сенсора. Алгоритм управления, созданный для этого типа систем, показан на рис. 6, а.





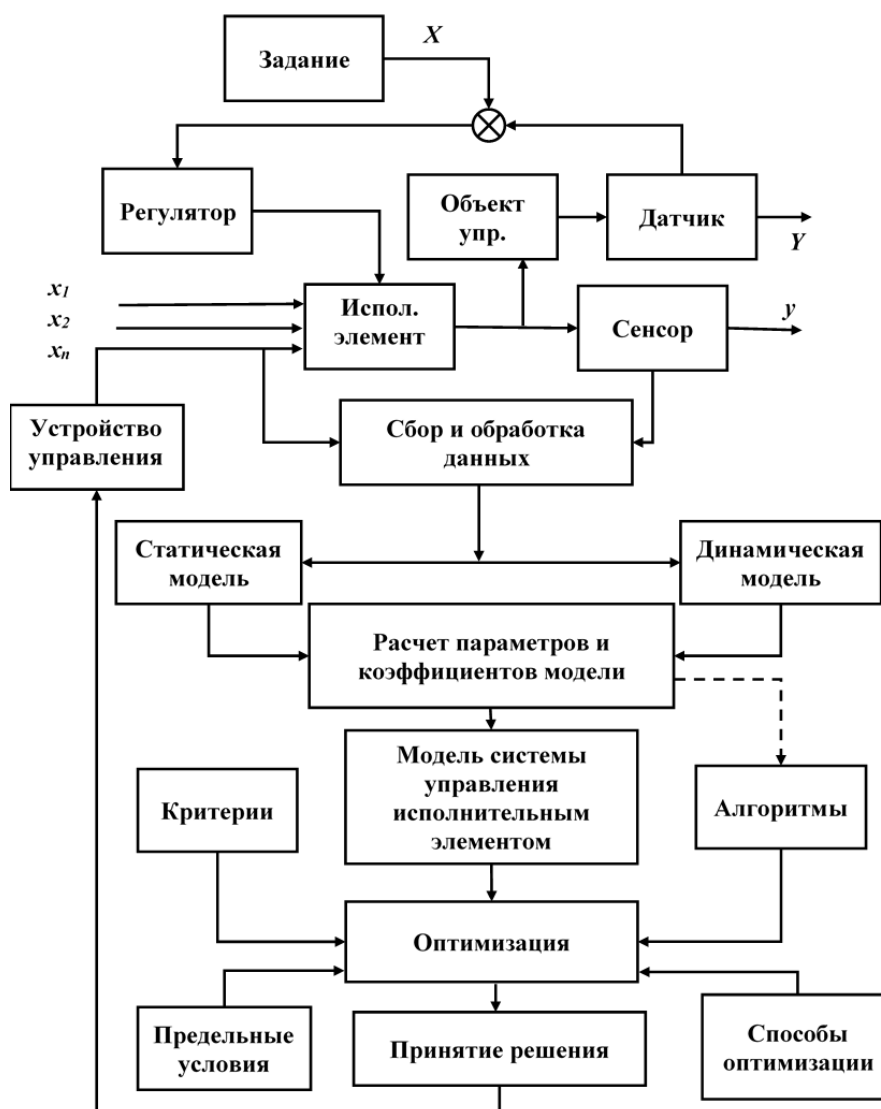
**Рис.6. Алгоритм замкнутой (а) и разомкнутой (б) систем управления относительно исполнительного элемента**

В случае, если нет возможности установить датчик на подвижной части исполнительного механизма, система считается разомкнутой по отношению к исполнительному механизму. Состояние элемента оценивается на основе математического блока. Алгоритм управления, созданный для этого типа систем, показан на рис. 6, б.

Как алгоритм управления с замкнутым контуром, так и с разомкнутым контуром включают целевые алгоритмы управления. Порядок выполнения этих алгоритмов определяется системой на основе оценки целей.

В результате исследования разработана функциональная структура для синтеза системы управления исполнительным элементом (рис. 7). Синтез системы управления исполнительными элементами опирается на два основных обеспечения – аппаратное обеспечение и программное обеспечение. Техническое обеспечение играет большую роль в формировании системы точного управления. Информация о координатах состояния исполнительного

механизма определяется датчиками, после чего оценивается их состояние. Если технически невозможно получить информацию о состоянии исполнительного механизма в системе, тогда следует использовать программное обеспечение.



**Рис. 7. Функциональная схема синтеза системы управления исполнительными элементами**

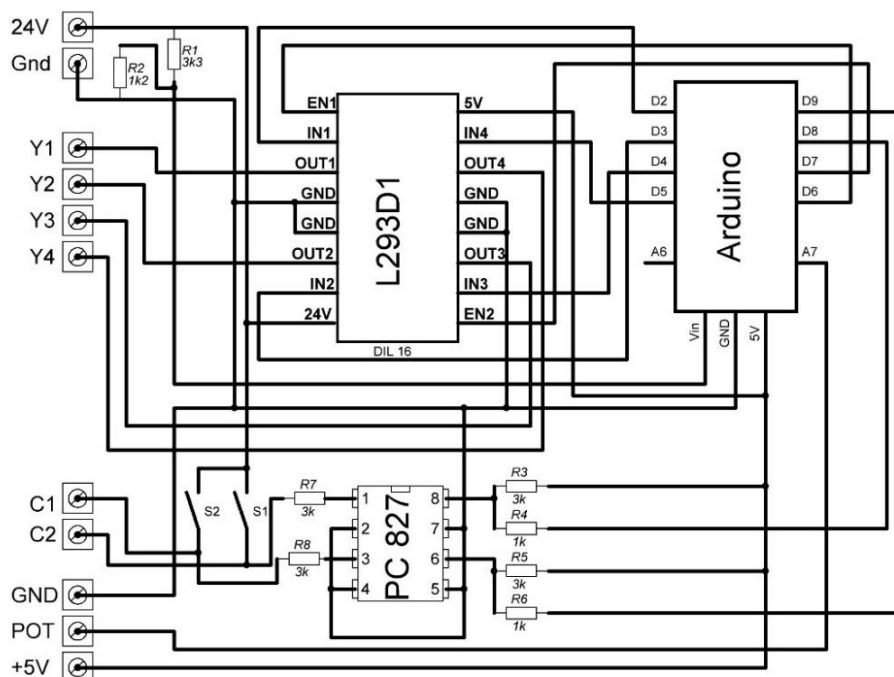
Блок сбора и обработки данных анализирует значения доступной информации и ее достоверность, фильтрует и обрабатывает ее, а при необходимости трансформируется в безразмерные величины. Статические и динамические модели исполнительного элемента строятся на основе собранных данных.

При принятии решения базовые расчеты выполняются по выбранному алгоритму или группе алгоритмов. В результате формируется управляющее воздействие исполнительного механизма.

Четвертая глава диссертации – «**Внедрение системы управления исполнительными элементами**» – описывает практическое применение результатов проделанной работы. Кратко описан технологический процесс

автоматизированного производства маргарина на Ташкентском масло-жировом комбинате. Охарактеризованы порядок и условия проверки механизма управления исполнительным элементом.

Для получения информации о состоянии клапана из конструкции клапана пневматической регулировки позиционера была удалена электронная часть, а на позиционере установлено изготовленное новое устройство управления, соединяющее позиционер с компьютером. Данное устройство управления (рис. 8) передает на компьютер в реальном времени информацию о состоянии штока клапана и отправляет сигнал управления на позиционер.



**Рис. 8. Электрическая схема устройства управления позиционера**

Структура управления клапанного устройства состоит из основного процессора – микроконтроллера Arduino, двухканального драйвера – микросхемы L293D, микросхемы оптической связи PC827, а также кнопок управления S1 и S2. Пьезоклапаны мембранного клапана пневматической регулировки позиционера подключены к колодкам Y1, Y2, Y3, Y4. Потенциометр, определяющий состояние штока, подключен к колодкам GND, POT, +5V. Управляющие сигналы от внешнего управляющего устройства (ПЛК, рабочая станция, контроллер) подключаются к колодкам C1, C2.

Чтобы оценить эффективность внедрения новой системы управления в производство, необходимо их сравнить с результатами работы существующей системы управления. Для этой цели пневматический регулирующий клапан был оборудован потенциометрическим датчиком и аналого-цифровым трансмиттером для приема информации от предыдущей системы управления и записи ее на компьютер. Динамика изменения штока клапана получена под воздействием ступенчатой задачи. После того как исполнительному элементу было дано задание, информация о состоянии исполнительного элемента

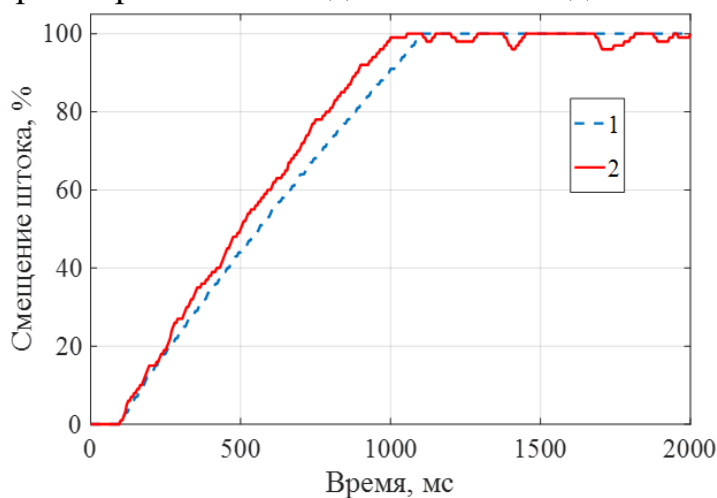
(координаты штока) записывалась каждые 5 миллисекунд и была сформирована таблица.

**Динамика пневморегулирующего клапана в существующей системе  
управления**

Время, мс	Сдвиг штока, %		Время, мс	Сдвиг штока, %		Время, мс	Сдвиг штока, %	
	изме- ренный	сгла- женный		изме- ренный	сгла- женный		изме- ренный	сгла- женный
0	0	0	155	9	9	260	24	21
95	0	0	160	9	9	265	21	22
100	0	1	165	14	10	270	24	24
105	0	1	195	18	15	275	23	25
110	0	2	215	13	15	280	28	26
115	4	3	220	17	16	285	28	26
120	7	5	225	15	16	325	32	30
125	7	6	230	16	17	330	30	31
130	3	6	235	22	18	335	31	32
135	9	7	240	17	18	340	30	32
140	11	7	245	17	19	345	32	33
145	5	8	250	18	19	350	37	34
150	6	8	255	19	20	355	36	35

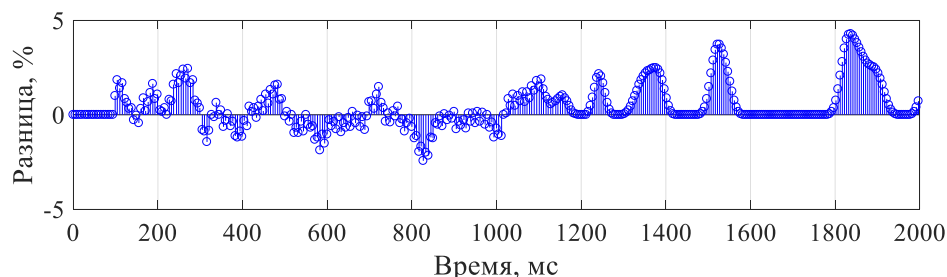
Результаты эксперимента обрабатывались методом сглаживания относительно средней точки. Результаты работы существующей и предлагаемой систем управления можно сравнить на графике, приведенном на рис. 9.

Как установлено, переходный процесс пневморегулирующего клапана при постановке задачи имеет вид почти прямой линии. После выполнения поставленной задачи положение клапана поддерживается на постоянном уровне. В предлагаемой системе управления нет необходимости сглаживать информацию о состоянии штока, так как внутри устройства управления имеется алгоритм, сглаживающий полученный результат. Это положительно сказывается на скорости работы последовательно соединенных систем.



**Рис. 9. Динамические характеристики исполнительного элемента в предлагаемых (1) и существующих (2) системах управления**

Показатели качества работы существующей системы управления исполнительными элементами определялись путем сравнения с предлагаемой системой управления. По этим данным максимальное значение абсолютной ошибки составило 4%. График зависимости абсолютной ошибки от времени представлен на рис. 10.



**Рис.10. График разницы между существующими и предлагаемыми системами управления с временной зависимостью**

Как видно из графика рис. 10, приводные механизмы имеют чистое запаздывание порядка 100 мс. В существующей системе наблюдались колебания при переходе исполнительного механизма на заданное значение и даже в установившемся режиме наблюдались случайные отклонения (провалы).

С помощью предложенной системы управления эти недостатки были устранены и обеспечена бесперебойная работа регулирующего клапана.

На основании анализа результатов внедрения системы управления исполнительными элементами в производство можно сделать следующие выводы:

- в процессе управления пневморегулирующим клапаном при текущей системе управления в переходном процессе возникают чрезмерные колебания, а в установившемся режиме осуществляются с ошибками;

- возникновение чрезмерных вибраций при работе пневматического регулирующего клапана вызывает поломку механических частей и, кроме того, образование в трубе через клапан гидравлических колебаний, которые могут повредить соединительные части труб;

- неспособность поддерживать на требуемом постоянном уровне состояние диафрагмы вызывает частые колебания в расходе жидкости, протекающей через клапан, что приводит к внутренним ошибкам в гибких системах управления.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе результатов исследования по разработке алгоритмов оценки состояния исполнительных механизмов в задачах управления технологическими объектами и их применения в технологических процессах сформулированы следующие выводы:

1. Разработаны статические и динамические модели оценки состояния исполнительных механизмов в системах автоматического управления с учетом силы, направленной вдоль оси, и сил трения. Управление

исполнительными элементами улучшено на 4% по сравнению с аналогами представленных моделей.

2. На основе метода интерактивного моделирования создана программа Valve Static, определяющая характеристики регулирующих клапанов. Данная программа имеет удобный интерфейс, который позволяет визуализировать состояние исполнительного механизма в дополнение к рассчитанному значению.

3. Для оценки реального состояния исполнительных механизмов разработана улучшенная структура управления с датчиками, установленными на движущихся частях. Для этой структуры создан алгоритм оценивания и управления состоянием исполнительного элемента в замкнутой системе.

4. Разработана структура управления на основе математической модели для условий, в которых исполнительные механизмы не могут быть оснащены датчиком. Алгоритм управления системой в такой структуре позволяет оценить состояние исполнительных элементов даже в условиях недостаточной информации.

5. Создана функциональная структура процесса построения систем автоматического управления с учетом состояния исполнительных элементов, которую можно использовать в качестве дорожной карты для оценки и управления исполнительными элементами.

6. На базе контроллеров Arduino разработана платформа, которая предоставляет информацию о состоянии пневморегулирующего клапана и отправляет ему сигналы задания. Данную платформу можно использовать для управления приводами, относящимися к классу мембранных регулирующих клапанов путем изменения программы управления.

7. В технологический процесс дозирования сырья в маргариновом цехе Ташкентского масложирового комбината внедрена система управления пневморегулирующим клапаном. В результате был увеличен суточный объем производства, а экономическая эффективность составила 180 616 523 сумов в год.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02 ON THE ADMISSION  
OF SCIENTIFIC DEGREE AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**KASIMOV FARKHOD ORIFJANOVICH**

**ALGORITHMS FOR EVALUATING THE STATE OF EXECUTIVE  
MECHANISMS IN PROBLEMS OF CONTROL OF TECHNOLOGICAL  
OBJECTS**

**05.01.06 - Elements and devices of computing technology and control systems**

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

**Tashkent– 2021**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was restarted on the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.1.PhD/T2083.**

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

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

**Scientific adviser:** **Ismailov Mirxalil Agzamovich**  
doctor of technical science, professor

**Official opponents:** **Uljaev Erkin**  
doctor of technical science, docent  
**Sapaev Mamatkarim**  
candidate of technical science, docent

**Leading organization:** **Navoi state mining institute**

Defense of dissertation will take place in « 14 » 07 2021 at 10<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-46-00; fax: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 13) (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41).

Abstract of dissertation sent out on « 01 » 07 2021 year.  
(milling report № 11 on « 19 » 06 2021 year).



*N.R. Yusupbekov*  
**N.R. Yusupbekov**  
Chairman of the Scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical science, professor, academician

*U.F. Mamirov*  
**U.F. Mamirov**  
Scientific secretary of Scientific Council,  
on awarding scientific degrees,  
PhD in Technical Sciences

*H.Z. Igamberdiev*  
**H.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the Academic Seminar  
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,  
doctor of technical science, professor, academician



## INTRODUCTUON (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is creation of express algorithms for accurate assessment of the state of executive mechanisms, which are widely used in the management of technological objects.

**The object of research** are the executive elements used in the control of technological processes at industrial enterprises.

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

on the basis of methods and experimental-statistical modeling, mathematical models have been developed to assess the state of actuators, taking into account the factors of friction and forces of analytical movement along the axes of moving elements;

a compensation algorithm has been developed, obtained on the basis of a comparison of the working mechanisms operating under normal and exciting influences, and the output data of its reference model;

a closed structure for direct estimation of the actual position of the actuators has been developed, on the moving elements of which sensitive sensors can be installed;

algorithms for analysis and synthesis, adjustment of the control system of the moving elements of the actuators have been developed.

**Implementation of the research results.** Based on the results of the synthesis of algorithms for assessing the state of implementation mechanisms in the management of technological objects:

mathematical models for assessing the state of actuators based on analytical and experimental-statistical data, taking into account the factors of friction and forces directed along the axes of the moving elements, have been introduced at the Tashkent Oil and Fat Plant JSC (Reference KS / 3-509 of the Association of Oil and Fat Industry Enterprises dated May 12 2021). As a result, the efficiency of the raw material dosing process at the margarine plant increased by 1.5%;

the control device and the system of executive bodies have been introduced at the Tashkent Oil and Fat Plant JSC (Reference KS / 3-509 of the Association of Fat and Oil Industry Enterprises dated May 12, 2021). As a result, the number of failures in the actuators was reduced, which made it possible to ensure the continuity of the process for a long time.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The total volume of the thesis is 115 pages.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Ru Jang, Farkhod Kasimov, Dong Zhang and Kulyash Kaliyeva. Design and Implementation of Unmanned Agricultural Machinery // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 799. China, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/799/1/012032 (Scopus).

2. Ru Jiang, Farkhod Kasimov, Dong Zhang and Kulyash Kaliyeva. Development of Intelligent Agricultural Machinery Control Device // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1617. China, 2021. DOI:10.1088/1742-6596/1617/1/012087 (Scopus).

3. Qosimov F.O., Nematov E.H., Ahmedov A.H., Ismailov M.A. Drive Control Algorithm in Conditions of Insufficient Information. 11th World Conference “Intelligent System for Industrial Automation” (WCIS-2020), WCIS 2020, Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1323. Springer, Cham. – P.504–511, [https://DOI.org/10.1007/978-3-030-68004-6\\_66](https://DOI.org/10.1007/978-3-030-68004-6_66).

4. Kasimov F. O., Ismailov M.A. Modeling the statistical characteristics of a membrane pneumatic valve in Matlab // “Technical science and innovation”. Vol. 2021: Iss. 2. –P. 97–102 (05.00.00 №16).

5. Farkhod Kasimov, Ru Jiang, Dong Zhang, Mirkhalil Ismailov, Development of a control device and algorithm for autonomous-moving systems // “Chemical technology. Control and management” International scientific and technical journal. 2021. – №2 (92). –P.62–69. DOI: <https://doi.org/10.34920/2021.2.62-69> (05.00.00 №12).

6. Kasimov F.O. Mathematical modeling of the dynamics of membrane actuator // Problems of Computational and applied mathematics. 2021. –№4(28). – P. 40–47 (05.00.00 №23).

7. Қосимов Ф.О., Исмаилов М.А. Ижро механизмларини бошқариш қурилмаси ва унинг алгоритминини шакллантириш // “Informatika va energetika muammolari” O‘zbekiston jurnali. 2019. –№3. 57–64 б (05.00.00 №5).

8. Қосимов Ф.О., Тўрақулов З.С., Исмаилов М.А. Бошқарув тизиминини тадрижий ёндашув асосида моделлаштириш // “Informatika va energetika muammolari” O‘zbekiston jurnali. 2020. – №2. 46–52 б (05.00.00 №5).

**II бўлим (Часть II; Part II)**

9. Қосимов Ф., Исмаилов М. Автоном ҳаракатланувчи тизимларда адаптив бошқаришни қўллаш // «Умидли кимёгарлар-2020» Ёш олимлар, магистрантлар ва бакалаврият талабаларининг ХХІХ илмий-техникавий анжуманининг мақолалар тўплами. – Тошкент, 2020. –344–345 б.

10. Тўрақулов З.С., Қосимов Ф.О., Суюқликларни аралаштириш жараёнининг амалга оширишнинг автоматлаштириш ва бошқариш тизимларининг

яратиш // “Кимё ва озик овқат саноатлари ҳамда нефт-газ қайта ишлашнинг инновацион технологияларини долзарб муаммолари” илмий-техникавий анжуманининг мақолалар тўплами, 18 ноябрь 2014 йил. –Тошкент, 2014. –100–102 б.

11. Исмоилов М.А., Қосимов Ф.О. Қийин ифодаланувчи бошқарув объектларининг билмлар моделини шакллантириш // “Давлат ва жамият бошқарувида замонавий ахборот технологияларни жорий этишнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги республика илмий-амалий конференциясининг маърузалар тўплами. –Тошкент, 2015. 12–14 б.

12. Юнусов Б., Қосимов Ф., Тўрақулов З. Сочилувчан махсулотларни пневмосепарациялаш жараёнини нейробошқарув асосида бошқариш // Кон-металлургия комплекси: Ҳутоқлар, муаммолар ва ривожланish истиқболлари VIII – халқаро Илмий-Техникавий анжумани материаллари. –Навоий, 2015. –455–456 б.

13. Исмаилов М., Қосимов Ф. Моделирование биотехнологических систем: принципы, методы и задачи // “Современные состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении”. Доклады Республиканской научно-технической конференции. –Самарканд, 2019. –С. 44–47.

14. Қосимов Ф.О., Исмоилов М.А. Винтли электр ижро механизмининг динамик характеристикасини ҳисоблаш учун дастурий таъминот / ЭҲМ учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги 12.06.2020 санадаги DGU 20210934 рақамли гувоҳнома.

15. Қосимов Ф.О., Исмоилов М.А. “Valve Static” дастурий таъминот / ЭҲМ учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги 12.06.2020 санадаги DGU 20211951 рақамли гувоҳнома.

Автореферат “Technical science and innovation” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Нашрга руҳсат этилди: 30.06.2021 й.  
Бичими: 84x60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 60. Буюртма №43-8/2021.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100167, Тошкент шаҳар, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.





