

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ
МАТЕМАТИКА ВА ИНФОРМАЦИОН ТЕХНОЛОГИЯЛАР ИНСТИТУТИ

Қўлёзма ҳуқуқида

УДК 621.9:519.8

АБДУЛЛАЕВ АЛИБЕК ҚОДИРАЛИЕВИЧ

**АСОСИ ҲАРАКАТЛАНУВЧАН САНОАТ РОБОТЛАРИ ҲАРАКАТИНИ
ОПТИМАЛ БОШҚАРИШНИНГ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАРИ ВА
АЛГОРИТМЛАРИ**

05.13.01 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва
маълумотларни қайта ишлаш

Техника фанлари номзоди илмий даражасини
олиш учун тақдим этилган диссертация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

Тошкент - 2010

Иш Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Математика ва
информацион технологиялар институтида бажарилган.

Илмий раҳбар

техника фанлари доктори
Онорбоев Баходир Очилбоевич

Расмий оппонентлар:

техника фанлари доктори, профессор
Рахматуллаев Марат Алимович

техника фанлари номзоди, катта
илмий ходим
Рўзиқулов Акбар Расулович

Етакчи ташкилот -

Тошкент Давлат техника
университети

Ҳимоя ЎзР ФА Математика ва информацион технологиялари институти
ҳузуридаги Д 015.17.02 ихтисослашган кенгашнинг “_____” _____ 2010
йил соат _____да ўтадиган мажлисида бўлади. Манзил: 100125, Тошкент ш.,
Дўрмон йўли кўчаси, 29.

Диссертация билан ЎзР ФА Математика ва информацион технологиялар
институти кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат 2010 йил “_____” _____ тарқатилган.

Ихтисослашган кенгаш илмий котиби

Исмаилов М.А.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНИНГ УМУМИЙ ТАСНИФИ

Мавзунинг долзарблиги. Ҳозир мамлакатимизда маҳсулотни сифатли қилиб тайёрлаш, ички ва ташқи бозорларни рақобатбардош маҳсулотлар билан таъминлаш учун чет эл инвестицияларини жалб қилиш, ишлаб чиқаришни модернизация қилиш ва техник ҳамда технологик жиҳатдан қайта жиҳозлаш, маҳсулотларни маҳаллийлаштириш дастурларига катта аҳамият берилмоқда. Бу йўлда йирик корхоналаримиз ишлаб чиқаришида автоматик воситалар асосида сифатли маҳсулот тайёрлаш талаби кундан-кунга ўсиб бормоқда. Автоматлаштирилган ишларни бажаришда роботларга, хусусан саноат роботларига бўлган қизиқиш катта. Сабаби, ишлаб чиқаришни автоматлаштириш даражаси бўйича саноат роботлари (СР) етакчилик қилса, иккинчидан бозор муносабатларидан келиб чиқиб, СР ўзгарувчан ишлаб чиқаришда кам сарф харажат эвазига турли хил ишлаб чиқариш функцияларини бажаради. Шунинг учун СР устида илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш бугунги кун талабидир.

Маълумки, асосининг ҳаракатчанлигига қараб, СР икки хил бўлади: асоси ҳаракатланувчан ва асоси ҳаракатланмайдиган (адабиётларда манипулятор ҳам дейилади). Асоси ҳаракатланувчан СРда ҳаракат икки қисмга бўлинади: асоснинг ҳаракати ва бажарувчи механизмнинг ҳаракати. СРнинг бажарувчи механизми звенолардан иборат. Звенолар сони ортиб бориши билан СР мураккаб техник тизим кўринишини намоён қилади. Ҳаракатда СРнинг конструкциясига боғлиқ қуйидаги мезонлар эътиборга молик: биринчи мезон - хавфсизлик; иккинчи мезон - эришувчанлик; учинчи мезон - турғунлик. Асоси ҳаракатланувчан кўп звеноли СРни бошқаришда баъзи бир звеноларни параллел, баъзиларини эса кетма-кет ҳаракат қилиши келтирилган мезонларни бажарилишини мураккаблаштиради. Бундан ташқари, СРга қўйилувчи тезкорлик, позицион аниқлик ва камхаражатлилик каби иқтисодий самарадорлик мезонларини бажарилиши пасаяди. Бу эса маҳсулот сифатига ва таннархига ўз таъсирини кўрсатади. Шунинг учун, СРдан самарали фойдаланиш учун кучли математик ва дастурий таъминот ишлаб чиқилган бўлиши лозим. Математик таъминотда, СРнинг ҳаракат модели аниқ, моделда қатнашувчи динамик коэффициентларнинг ўзгарувчанлигини ҳисобга олиб, бошқаришнинг аниқ математик моделини ишлаб чиқиш билан СРнинг ҳаракатини позицион аниқлигини таъминлаш мумкин. Бундай математик ва дастурий таъминотни ишлаб чиқиш ҳозирги кунда илмий ва амалий томондан ечилиши лозим бўлган масалалардан эканлиги диссертация мавзусининг долзарблигини кўрсатади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Асоси ҳаракатланувчан СРни икки қисмга - асосини алоҳида, бажарувчи механизмини алоҳида тизим сифатида қараб, ҳаракат ва бошқарув моделлари тузилади. Бунга мос равишда бошқарув тизими ҳам иккига бўлинади. Бошқарув тизими - асос қисми учун тўғри (бевосита) бошқарув, бажарувчи механизми учун тескари алоқали

бошқарув. Сўнгги 10-15 йилдаги мазкур соҳага тааллуқли адабиётлар таҳлил қилинди. Бу соҳада кўплаб ишлар қилинган ҳамда зарурий натижалар олинган. Лекин шундай бўлсада, бошқарув тизими тескари алоқали бошқарувга бўйсинувчи бажарувчи механизми учун бир қатор бўшлиқлар борлиги аниқланди.

1. Робот детал билан ҳаракатланганда келиб чиқувчи оғирлик кучи охирги звено, ушлаш қурилмага таъсир қилиши мавжуд моделларда ҳисобга олинади, лекин қолган оралик звеноларга бўладиган таъсири моделларда ҳисобга олинмайди.

2. СР ҳаракатланганда келиб чиқувчи кучларнинг бирикмаларга таъсирининг чизиқсизлиги мавжуд моделларда ҳисобга олинмайди; оралик звенолар ҳаракати, назарияда келтирилганидек, иккинчи тартибли ўзгармас коэффициентли чизиқли дифференциал тенглама билан эмас, балки амалиёт тасдиқлаганидек, ўзгарувчан коэффициентли дифференциал тенглама билан берилади.

3. Асоси ҳаракатланувчан СР ҳаракатида биринчи хатоликни аниқлашда мантикий имкониятлар дарахти (МИД) ва статистик тажрибалар усулларидан фойдаланилади. МИД дискрет кўринишда биринчи хатолик тақсимоти қонунлари кўринишида робот позицион аниқлигини таъминловчи қисқа ва содда усулдир. Лекин бу усулда ҳам ўзига хос камчилик мавжуд. Усулда модел норавшан кўринишда бўлиб, кўпроқ қарор қабул қилувчининг билими ва хулосаларига таянади. Бунда манипуляция вақтида қатнашувчи параметрлар ҳисобга тўла олинмасдан, фақат звеноларнинг мантикий кўчишлари дарахтсимон кўринишда берилади. МИД кўпроқ кетма-кет ҳаракатланувчи звеноларга хос бўлиб, параллел ҳаракатланувчи звенолар учун ўринли бўлмайди.

4. Ишлаб чиқаришда роботдан фойдаланишнинг асл мақсади, жараёни тез, аниқ бажариш билан бирга олинadиган маҳсулот ёки яримфабрикатни сифатли қилиб истеъмолчига етказишга қаратилган бўлади. Айниқса, бу машинасозликнинг механик ишлов бериш жараёнлари мисолида ўз аксини топган. Айрим ҳолларда таъсир этувчи ташқи кучлар роботнинг ҳаракат тенгламасини тузишда ҳисобга олинади, аммо ички кучлар таъсири эътиборга олинмайди. Ваҳоланки, робот детал билан биргаликда ҳаракат қилар экан, ташқи ва ички кучлар бу жараёнда баробар иштирок этишади.

Тадқиқ қилинаётган объект учун келтирилган камчиликлардан ҳоли бўлган бошқарув усулини таклиф қилиш долзарб масалалар қаторига киради.

Диссертация ишининг илмий–тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация иши қуйидаги ИТИ режасига киради:

Лойиха А-14-013. IDEF услубиятлари асосида деталларга шакл бериш жараёнларида мураккаб технологик тизимларнинг ташкил қилувчиларини ташхислаш ва бошқаришнинг дастур воситаларини ишлаб чиқиш (2006-2008й.);

Лойиҳа А-17-Ф008: «Ишлаб чиқариш тизимларини тафаккурли бошқариш ва лойиҳалашнинг моделлари, алгоритмлари ва дастур воситаларини ишлаб чиқиш»

Тадқиқотнинг мақсади. Асоси ҳаракатланувчи СР ҳаракат траекторияси ва позицион аниқлигини таъминлаш учун оптимал бошқаришнинг математик моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот вазифалари:

- асоси ҳаракатланувчан СРнинг мавжуд ҳаракат моделлари ва бошқарув усулларини тадқиқ қилиш;
- асоси ҳаракатланувчан СРнинг ҳаракат моделини ёзиш ва у асосида оптимал бошқаришнинг математик моделини ишлаб чиқиш;
- асоси ҳаракатланувчан СРнинг мураккаб манипуляция операциясини амалга оширишида тезкорлик ва позицион аниқликни оширишнинг математик моделларини ишлаб чиқиш;
- асоси ҳаракатланувчан СРнинг умумий бошқарув алгоритмлари ва дастурий воситасини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Тадқиқот объекти - Асоси ҳаракатланувчан СР; тадқиқот предмети - асоси ҳаракатланувчан СР ҳаракатини моделлаштириш ва бошқариш.

Тадқиқот усули. Технологик жараёнларни математик моделлаштириш, оптимал бошқариш ва машина механизмлари назарияси усулларида фойдаланилган.

Тадқиқот фарази. Асоси ҳаракатланувчан СРни мураккаб фазовий ҳаракатида тезкорлик ва позицион аниқликни ошириш мақсадида зарурий динамик кўрсаткичларни олиш учун бошқариш моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Ҳимояга олиб чиқилаётган асосий ҳолатлар:

- асоси ҳаракатланувчан СР ҳаракатининг динамик тенгламаси ва унинг асосида қурилган оптимал бошқаришнинг математик модели;
- динамик коэффициентларнинг ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда СР бажарувчи механизми мураккаб фазовий ҳаракатининг тезкорлигини таъминловчи математик модел;
- асоси ҳаракатланувчан СРни позицион аниқлигини оширишнинг математик модели;
- мураккаб манипуляцияни амалга оширишда СР бажарувчи механизмни оптимал бошқаришнинг умумлашган алгоритми.

Ишнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- асоси ҳаракатланувчан саноат роботларининг мавжуд бошқарув усуллари ва моделлари тизимли таҳлил қилинган бўлиб, унинг ҳаракат траекториясида динамик хатолик борлиги аниқланди;
- асоси ҳаракатланувчан саноат роботларининг асоси, оралик звенолар ва ушлаш қурилмасини ҳаракат тенгламаси ёзилган бўлиб, улар асосида оптимал бошқаришнинг математик модели ишлаб чиқилган;

- асоси ҳаракатланувчан саноат роботлари ҳаракатини ифодаловчи динамик тенглама коэффицентларига қўйилувчи шартларни ҳисобга олган ҳолда уни оптимал бошқариш учун тезкорлик масаласи ҳал қилинган;

- асоси ҳаракатланувчан саноат роботларининг позицион аниқлигини ошириш учун содда ва қулай математик модел таклиф қилинган;

- асоси ҳаракатланувчан саноат роботларининг умумий бошқарув алгоритмлари ва унинг асосида саноат роботининг ижрочи механизмини оптимал траекториясини ҳисоблашнинг дастур воситаси яратилди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти:

Диссертация ишининг илмий аҳамияти - асоси ҳаракатланувчан СРнинг мураккаб фазовий технологик операцияни амалга оширишида келиб чиқувчи динамик хатоликни аниқлаш ва баҳолаш, тезкорлик ва позицион аниқликни ошириш орқали бажарувчи механизмларини мақбул ҳаракат траекториясини оптимал бошқаришнинг математик моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни назарий асослаш билан изоҳланади.

Диссертация ишининг амалий аҳамияти - тадқиқ қилинувчи роботларни оптимал бошқаришни дастурий воситасидан робототехник тизимлар билан жиҳозланган халқ хўжалигининг барча тармоқларида тезкорлик ва позицион аниқликни ошириш орқали умумий ишлаб чиқариш вақтини минималлаштиришда ҳамда энергетик ресурсларни тежашда фойдаланиш мумкин.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Асоси ҳаракатланувчан СРни оптимал бошқариш учун математик моделлар асосида ишлаб чиқилган алгоритмлар ва дастурий восита “Технолог» акционерлик жамиятида қўлланилган. Қўллаш механик ишлов бериш жараёнлари мисолида амалга оширилган бўлиб, СРни бошқаришда тезкорлик ва позицион аниқлик сезиларли ошганлиги аниқланди. Йиллик иқтисодий самараси бир СР учун 535 минг сўмни ташкил қилди (2009 йил таннарида).

Ишнинг апробацияси. "Авиаконот техникасини яратиш ва ишлатиш муаммолари" илмий-техника ва ишлаб чиқариш анжумани (Тошкент, 2008 й.); “Ахборот технологияларининг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш йўллари” республика илмий-техник анжумани (Тошкент, 2008); ЎзР ФА Математика ва информацион технологиялар илмий-тадқиқот институтининг "Техник тизимларда бошқарув", “Мураккаб тизимларни моделлаштириш” лабораторияларида ва институтнинг Д015.17.02 ихтисослашган кенгаш қошидаги умумлашган илмий семинарида (Тошкент, 2010) маъруза қилинган.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация ишининг асосий илмий натижалари 6 та илмий ишда, жумладан 3 журнал мақолаларида эълон қилинган. Диссертация ишининг бир қисми ЎзР ФА Математика ва информацион технологиялар институтининг илмий ҳисоботида киритилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, тўрт боб, хулоса, 108 номдаги фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат.

Ишнинг умумий ҳажми - 122 саҳифадаги машина матнидан иборат бўлиб, унда 21 та расм ва 4 та жадвал акс эттирилган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида мавзунинг долзарблиги асосланган, тадқиқот мақсади шакллантирилган, ишнинг илмий янгилиги ва амалий аҳамияти келтирилган. Диссертация ишининг боблар бўйича қисқача мазмуни келтирилган.

Диссертация ишининг **биринчи бобида** робототехник тизимларни яратиш ва ишлаб чиқаришга самарали қўллаш бўйича назарий ва амалий натижаларининг таҳлили келтирилган. Бу масала билан боғлиқ бўлган асосий илмий йўналишлар ёритилган. СРни бошқаришдаги мавжуд камчиликлар келтирилган ва улар асосида тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган. Қўйилган масалаларнинг ечиш усуллари қабул қилинган.

Танлаб олинган тадқиқот мавзуси юзасидан робототехник тизимлар иштирок этувчи жараёнларни моделлаштириш ва бошқариш соҳасида мавжуд фундаментал ва амалий тадқиқот ишлари атрофлича таҳлил қилинган. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, асоси ҳаракатланувчан СР ҳаракатини моделлаштириш ва бошқариш устида олиб борилган изланишлар натижасида ҳаракат тизимининг аниқлиги, ҳаракат модели ва бошқарув тизими бўйича ўзига хос камчилик ва афзалликлари қуйидагича келтирилган:

1. Ҳаракат тизими аниқ.
2. Бошқарув тизими - детерминирланган.
3. Ҳаракат моделининг кўриниши - чизиксиз дифференциал тенглама

$$\tau(t) = D(q(t))\ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) + c(q(t)),$$

$\tau(t)$ - СР бирикмаларида ҳосил бўлувчи $(n \times 1)$ ўлчовли умумлашган куч вектори;

$q(t)$ - СРнинг $(n \times 1)$ ўлчовли умумлашган ўзгарувчилар вектори;

$\dot{q}(t)$ - $(n \times 1)$ ўлчовли умумлашган тезлик вектори;

$\ddot{q}(t)$ - $(n \times 1)$ ўлчовли умумлашган тезланиш вектори;

$D(q(t))$ - СРнинг конфигурацияси билан боғлиқ бўлган $(n \times n)$ ўлчовли симметрик матрица;

$h(q(t), \dot{q}(t))$ - $(n \times 1)$ ўлчовли матрица бўлиб, кориолиц, марказдан қочирма куч вектори;

$c(q(t))$ - гравитацион куч вектори.

4. Моделнинг афзалликлари:

- Модел коэффициентлари синус ва косинусларга боғлиқ бўлиб, бу функцияларни ихтиёрий тартибдаги ҳосиласини мавжудлигидан чизиклаштириш орқали чизикли кўринишга келтириш мумкин.

- Чизикли кўриниш таҳлил қилиш учун қулай ва уни бошқарилувчанлик хоссасини билиш учун содда бўлган Кальман мезонидан фойдаланиш мумкин.

5. Моделнинг камчиликлари:

- Робот детал билан ҳаракатланганда келиб чиқувчи оғирлик кучи охирги звено, ушлаш қурилмага таъсир қилиши тузилган моделда ҳисобга олинади, лекин қолган оралиқ звеноларга бўладиган таъсири моделда ҳисобга олинмайди.

- Робот ҳаракатланганда келиб чиқувчи кучларнинг бирикмаларга таъсирининг чизиқсизлиги моделда ҳисобга олинмайди.

- СРнинг бажарувчи механизми бошқарув тизимини акс боғланишли кўринишида эканлиги ҳисобга олинса, у ҳолда оралиқ звенолар ҳаракати иккинчи тартибли ўзгармас коэффицентли чизиқли дифференциал тенглама билан эмас, балки ўзгарувчан коэффицентли дифференциал тенглама билан берилади.

Ҳаракат моделини тузишда эътиборга олинмаган юқорида санаб ўтилган омиллар робот оптимал бошқарувининг математик моделига ҳам таъсир кўрсатади. Натижада, ҳаракат траекториялари ўртасида ўзаро номутаносиблик - динамик хатоликлар келиб чиқади ва позицион аниқлик пасайиб кетади.

Қаралаётган илмий соҳанинг ҳозирги замон муаммоларини таҳлил қилиш натижасида келиб чиққан масалаларни ҳал қилиш учун янгича ёндашув ишлаб чиқилган.

Иккинчи бобда уч звеноли робот мисолида СРнинг асосий характеристикалари ва фазовий конфигурацияси келтирилган. СРнинг ҳаракатчанлиги, маневрлиги ва сервис коэффицентларини топиш формулалари келтирилган. Бу коэффицентларни ҳисоблаш уч звеноли робот учун амалга оширилган. Асоси ҳаракатланувчан СРнинг ҳаракат моделлари икки кўринишда - кинематик ва динамик ҳаракатлар бўйича берилган. Кинематик ҳаракат ҳам икки турда - асоси ҳаракатланувчан ва ҳаракатланмайдиган кўринишлари бўйича келтирилган. Динамик моделда асосининг ва бажарувчи механизмининг ҳаракат моделлари йиғиндиси қаралган.

СРнинг ҳаракатида динамик хатоликни ҳисоблаш формулалари келтирилган. Ушлаш қурилмасининг ишчи зонасини характерловчи геометрик фигурага тушишининг математик қутилмаси ва дисперсияси берилган ва улар уч звеноли робот учун татбиқ қилинган.

СРнинг фазовий мураккаб манипуляция операциясини бажариши жараёнидаги чегараланишлар келтирилган. Чегараланишлар уч турли бўлиб, конструктив, технологик тўсиққа урилмаслик ва звенолар ҳаракатида ўзаро кесишмаслик шарт қилиб қўйилади. Бу шартлар кўпзвеноли асоси ҳаракатланувчан СРга хос.

Асоси ҳаракатланувчан СРни ҳаракати икки қисмга бўлинади.

1. Асосининг ҳаракати.

2. Бажарувчи механизмининг ҳаракати.

Асоси ҳаракатланувчи СРнинг ҳаракатига асоснинг ҳаракати ва бажарувчи механизмининг ҳаракати киради.

СР асосининг ҳаракати қуйидаги кўринишда:

$$\tau(t) = Hu - S\dot{q}(t) + Gq_m(t) + Gq(t) \quad (1)$$

СР бажарувчи механизмининг ҳаракати эса қуйидагича:

$$\tau(t) = D(q(t))\ddot{q}(t) + h(q(t), \dot{q}(t)) + c(q(t)) \quad (2)$$

(1) ва (2) тенгламаларни чап томонлари тенг бўлгани учун уларни ўнг томонларини ҳам тенглаймиз:

$$D\ddot{q} + h\dot{q} + c = Hu - S\dot{q} + Gq_m + Gq$$

ёки

$$D\ddot{q} + (h + S)\dot{q} + c - Gq = Hu + Gq_m \quad (3)$$

бу ерда H, S, G – диагональ ўзгармас матрицалар;

q_m – шарнирдаги пружинанинг ўзгармас турғун ҳолати.

(3) тенглама асоси ҳаракатланувчан СРнинг динамик тенгламаси дейилади.

(3) тенглама асосида СРни бошқариш масаласи иккига бўлинади. Биринчиси асос ва бажарувчи механизм учун оптимал ҳаракат траекториясини лойиҳалаш, иккинчиси лойиҳаланган траектория бўйлаб роботни ҳаракатлантириш.

СР ҳаракатини лойиҳалаш, моделлаштириш ва бошқариш жараёнларини ҳар икки Декарт ва умумлашган координаталар системасида бериш мумкин. Бу соҳада умумлашган координаталар қуйидаги афзалликларга эга:

1. СР ҳаракатини бевосита бошқариш жараёнида ўзгарувчилар ҳолатини бериш мумкин.

2. СР ҳаракатини лойиҳалаш, моделлаштириш ва бошқариш реал вақтда амалга оширилади.

3. СР ҳаракатини моделлаштириш ва бошқариш умумлашган координаталарда содда ва қулайдир.

СР ҳаракат жараёнида ушлаш қурилмаси ва звенолар ҳолатини аниқлашнинг мураккаблиги умумлашган координаталар системасини бирдан-бир камчилиги ҳисобланади. Бундай процедура СР йўлида технологик тўсиқни пайдо бўлишини юзага келтиради. Бундан ташқари, $\{q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t)\}$ векторлар кетма-кетлиги умумлашган ўзгарувчилар фазосида СР динамикаси чегарасиз шаклланади, натижада СРнинг бажарувчи механизмини бошқаришда катта хатоликларни келтириб чиқаради. Декарт фазосида траекторияни лойиҳалаш, моделлаштириш ва бошқаришда шартли қаноатлантирувчи траектория декарт координаталарида, лекин шу вақтда куч ва моментларга қўйилган чегараланишлар умумлашган координаталарда берилади. Бундан эса СРнинг ҳаракатига қўйилувчи оптимизацион масала ҳар хил координаталарда қўйилишига сабаб бўлади. Агар траектория участкаларини ифодаловчи полиномлар паст даражада берилса, у ҳолда аппроксимация қилиш орқали бир координаталар системасидан иккинчисига ўтиш мумкин. Агар у юқори даражали полиномлар билан ифодаланса, бир координаталар системасидан иккинчисига ўтишда қийинчилик туғдиради.

Учинчи бобда асоси ҳаракатланувчан СРни бошқариш учун мавжуд бўлган МИД ва статистик тажрибалар усули етарлича таҳлил қилинган ва уларни камчиликлари аниқланган. СРнинг звенолари назарияда берилган ўзгармас коэффицентли дифференциал тенглама кўринишида эмас, балки амалиётда ўзгарувчан коэффицентли дифференциал тенглама кўринишида эканлиги аниқланган. Бу тенгламалар ўртасидаги динамик хатолик аниқланган. СРни оптимал бошқариш учун зарур бўлган динамик коэффицентларни аниқлаш усуллари келтирилган. Келтирилган икки кўринишда, яъни СРни ушлаш қурилмасида юк бор ҳолати ва юк йўқ ҳолатида коэффицентларни аниқлаш йўллари келтирилган. Асоси ҳаракатланувчан СРнинг бажарувчи механизми қисми учун тезкорлик масаласи ечилган. Тезкорлик масаласи уч хил кучсиз демпфер, кучли демпфер ва критик демпфер шартлари остида қаралган. Асоси ҳаракатланувчан СР учун позицион аниқликни оширишдаги мавжуд математик моделлар таҳлил қилинган ва камчиликлари топилган. Камчиликлардан ҳоли бўлган янги ёндашув таклиф қилинган.

Маълумки, СР ҳаракат тенгламаси Лагранж ва Ньютон механикаси қонуниятлари асосида тузилади. Тенгламада оралик звенолар ҳаракати ўзгармас коэффицентли дифференциал тенглама орқали қуйидагича ифодаланади:

$$a_i \ddot{y}_1(t) + b_i \dot{y}_1(t) + c_i y_1(t) = \tau_i(t) \quad (4)$$

бу ерда $a_i - i$ – бирикманинг тебраниш коэффиценти;

$b_i - i$ – бирикманинг демпфир коэффиценти;

$\tau_i(t)$ – СР i – бирикмасида кучларни ҳосил қилувчи $(n \times 1)$ - ўлчовли вектор.

Лекин амалиётда (4) тенглама узлуксиз коэффицентли эканлиги маълум бўлди ва у қуйидагича:

$$\alpha_i(t) \ddot{y}_2(t) + \beta_i(t) \dot{y}_2(t) + \gamma_i(t) y_2(t) = \tau_i(t) \quad (5)$$

Бу икки тенгламани ўнг томонлари тенг, шунинг учун чап томонларини ҳам тенгланса:

$$a_i \ddot{y}_1(t) + b_i \dot{y}_1(t) + c_i y_1(t) = \alpha_i(t) \ddot{y}_2(t) + \beta_i(t) \dot{y}_2(t) + \gamma_i(t) y_2(t) \quad (6)$$

ёки

$$a_i \ddot{y}_1(t) + b_i \dot{y}_1(t) + c_i y_1(t) - (\alpha_i(t) \ddot{y}_2(t) + \beta_i(t) \dot{y}_2(t) + \gamma_i(t) y_2(t)) = 0$$

Тенгламаларда берилган динамик коэффицентлар СРни мувозанатда ишлаш коэффицентлари деб олинади ва қуйидаги белгилашлар асосида тенгламанинг кўриниши:

$$y(t) - x(t) = e(t), \quad \dot{e}(t) = \dot{y}(t) - \dot{x}(t), \quad \ddot{e}(t) = \ddot{y}(t) - \ddot{x}(t).$$

$$k_i' \ddot{e}(t) + k_i'' \dot{e}(t) + k_i''' e(t) = 0 \quad (7)$$

(6) ва (7) тенгламалар коэффициентларга нисбатан локал минимум масаласини характерлайди.

Агар (7) тенгламанинг ечими асимптотик турғун бўлса, у ҳолда $y(t) - x(t)$, $\dot{y}(t) - \dot{x}(t)$, $\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t)$ лар ҳам чегараланган бўлади.

Асоси ҳаракатланувчан СР учун тезкорлик масаласини фақат унинг бажарувчи механизми учун қўйиш мумкин.

(4) ва (5)-тенгламаларни бошқарув функциясига нисбатан қаралса:

$$\ddot{y}_1(t) + \bar{b}_i \dot{y}_1(t) + d_i y_1(t) = \bar{u}_i(t); \quad (8)$$

$$\ddot{y}_2(t) + \xi_i(t) \dot{y}_2(t) + \zeta_i(t) y_2(t) = u_i(t). \quad (9)$$

(8) ва (9) тенгламалар бир-биридан айирилса:

$$\ddot{y}_2(t) - \ddot{y}_1(t) + \xi_i(t) y_2(t) - \bar{b}_i \dot{y}_1(t) + \zeta_i(t) y_2(t) - d_i y_1(t) = u_i(t) - \bar{u}_i(t). \quad (10)$$

(10) тенглама учун (7)даги белгилашлардан фойдаланамиз.

$$\ddot{e}(t) + k_i'' \dot{e}(t) + k_i''' e(t) = \delta u_i(t) \quad (11)$$

(11) тенгламага қуйидагича Лагранж типдаги функционал қўйилган ва бошқариш масаласи қуйидагича бўлсин.

Вақтнинг бошланғич $t=0$ моментида роботнинг бажарувчи механизми ҳолати $e = e_0(0)$ $\dot{e} = \dot{e}_0(0)$ механизмни бошланғич ҳолатдан охириги ҳолатга олиб ўтиш учун шундай бошқариш параметри $u(t)$ ни топиш керакки

$$e(t) = e_0(t) \quad \dot{e}(t) = \dot{e}_0(t) \quad 0 < t < T \quad (12)$$

берилган вақт моментида функционал (12) шарт остида ва $\dot{e}(t) = \int (e(t), u(t), t)$

$u \in U$, $t_0 \leq t \leq T$, қонун бўйича минимумга эришсин

$$J(e_0, u(t)) = \int_{t_0}^T f^0(e(t), u(t), t) dt \quad (13)$$

бу ерда $f(\dots)$ - ҳосилалари бўйича узлуксиз дифференциалланувчи;

$u(t)$ - $[t_0, T]$ вақт оралиғида бўлакли-узлуксиз функция.

(11) тенгламада динамик коэффициентларга нисбатан иккита ҳол бўлиши мумкин:

1) Агар вақтнинг ҳар бир вазиятида $k_i'' - k_i'''^2 < 0$ шарт бажарилса, у ҳолда кучсиз демпфер ҳолати;

2) Агар вақтнинг ҳар бир вазиятида $k_i'' - k_i'''^2 \geq 0$ шарт бажарилса, у ҳолда кучли ва критик демпфер ҳолати.

(11) тенглама учун янги ўзгарувчилар киритилса, яъни $\delta u_i(t) = v_i(t)$ бўлса, у ҳолда $|v_i(t)| \leq 1$ бўлади. Коэффициентларга аввалдан, вақтнинг ҳар бир вазиятида $k_i'' > 0, k_i''' > 0$ деб шарт қўйилсин.

(11) тенгламани қуйидагича тенгламалар системаси кўринишида ёзсак:

$$\begin{aligned} \dot{e} &= z, \quad \ddot{e} = \dot{z} \\ \begin{bmatrix} \dot{e} \\ \dot{z} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k_i''' & -k_i'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} v \end{aligned}$$

Бу тенглама учун Гамильтон функциясини:

$$H = \eta_1 z + \eta_2 (-k_i'' z - k_i''' e) + \eta_2 v$$

ва қўшма системани тузайлик:

$$\begin{cases} \dot{\eta}_1 = -\frac{\partial H}{\partial e} = -k_i''' \eta_2 \\ \dot{\eta}_2 = -\frac{\partial H}{\partial z} = -\eta_1 + k_i'' \eta_2 \end{cases}$$

Маълумки,

$$\eta_2 \neq 0, \quad \eta_1 = k_i'' \eta_2 - \dot{\eta}_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{\eta}_1 = k_i'' \dot{\eta}_2 - \ddot{\eta}_2,$$

$$k_i'' \dot{\eta}_2 - \ddot{\eta}_2 = k_i''' \eta_2$$

$$\ddot{\eta}_2 - k_i'' \dot{\eta}_2 + k_i''' \eta_2 = 0.$$

Охирги тенгламанинг ечимини топайлик

$$\eta_2 = c_1 e^{k_i''' t} \sin(\omega t + c_2), \quad \eta_1 = -\int c_1 k_i''' e^{k_i''' t} \sin(\omega t + c_2) dt.$$

Бу ерда $c_1 \neq 0$, c_2 – ихтиёрий ўзгармаслар; $\omega = \sqrt{k_i''' - (k_i'')^2}$.

Бошқарув функцияси ўзининг максимум ва минимум қийматларига чегарада эришишини ҳисобга олиб, (11) тенгламани қуйидагича тенгламалар системаси кўринишида ёзамиз:

$$\dot{e} = z, \quad \dot{z} = -k_i''' e - k_i'' z - 1 \quad (14)$$

$$\dot{e} = z, \quad \dot{z} = -k_i''' e - k_i'' z + 1 \quad (15)$$

(11) тенглама ечими вақтнинг ҳар бир вазиятида (4) тенглама ечими билан солиштирилиб борилади. (14) тенглама СРнинг ҳаракатини тўла ифодалаш учун берилган траектория бўйлаб $\delta u(t)$ ва $e(t)$ нолга интилиши керак. Лекин бу вариант динамик коэффициентларни ўзгаришига зид.

(11) тенглама учун ечимни синтез қилувчи функция $\psi(e, z)$ қуйидагича аниқланади:

$$\ddot{e}(t) + k_i \dot{e}(t) + k_p e(t) = \psi(e, z)$$

$$U = \text{sign} \psi(e, z) = \begin{cases} -1, & \text{агарда } z > 0, & (14) & \text{тенглама учун.} \\ 1, & \text{агарда } z < 0, & (15) & \text{тенглама учун.} \end{cases}$$

Биз кучсиз демпфер ҳолати учун тезкорлик масаласини ҳал қилдик.

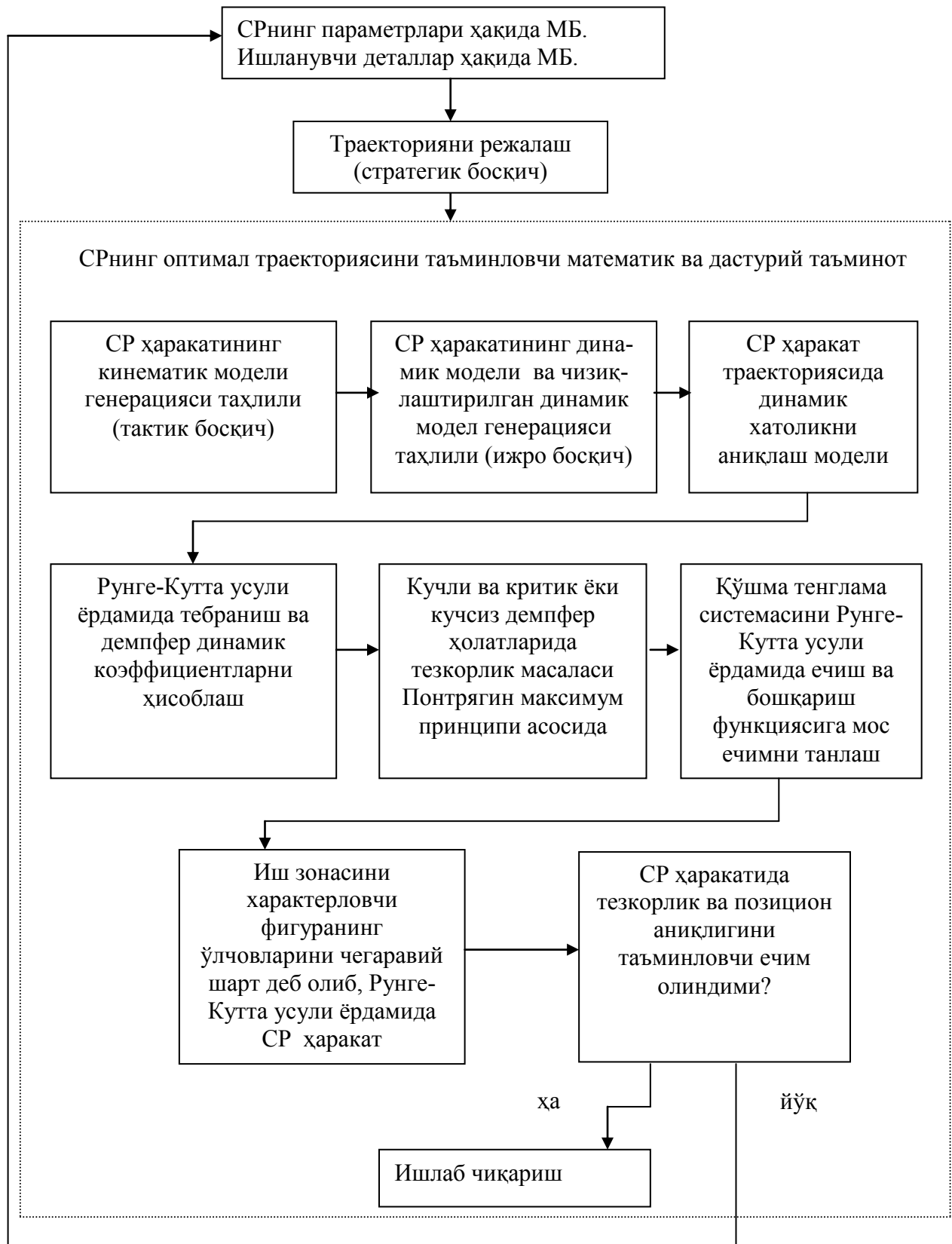
Критик ва кучли демпфир ҳолати учун ҳам тезкорлик масаласи шундай ҳал қилинади.

(14) ва (15) тенгламаларнинг ечимлари ўзгармайди. Уларнинг ечимлари траекторияси текисликда Декарт координаталар системасида иккинчи ва тўртинчи чоракларда ётади.

СР ҳаракатида тезкорликдан ташқари позицион аниқлик масаласи муҳим ҳисобланади. СРнинг ушлаш қурилмасининг позицион аниқлигини ошириш учун ёндашув таклиф қилинган. Бу ёндашувга асосан СРнинг иш зонаси параллелепипед шаклигача тўлдирилади. Параллелепипеднинг ҳар бир бурчаги ва бош диагоналар кесишган жой кичик тўққизта параллелепипедлар билан тўлдирилади. Кичик параллелепипедлар узунликлари ўлчанган. Шу асосда бизгача ишлаб чиқилган СРни ушлаш қурилмасини йўналтирувчи ҳаракат тенгламасига бошланғич ва чегаравий масалалар шарт қилиб қўйилган.

Тўртинчи бобда диссертация ишида олинган натижаларнинг амалий татбиқлари муҳокама этилган. Асоси ҳаракатланувчан СРни оптимал бошқаришнинг математик ва дастурий таъминотининг кўриниши расмда келтирилган. Бунда СРнинг ҳаракатини ўрганиш уч босқичга бўлинади: стратегик босқич, тактик босқич ва ижро босқичи. Стратегик босқичда СРнинг ҳаракат траекторияси режалаштирилади. Тактик босқичда эса роботнинг кинематикаси ўрганилади. Кинематиканинг тўғри ва тесқари масалалар атрофлича қаралган. Ижро босқичида СРнинг динамикаси ўрганилган бўлиб, динамик коэффициентлар, робот ҳаракатига қўйилган тезкорлик масаласи ва позицион аниқликни ошириш масалалари дифференциал тенгламалар билан ифодаланган ва улар ҳисоблаш усулларида Рунге-Кутта усули билан ечилган.

Амалиётга қўллаш бўйича тўрт звеноли СР олинган бўлиб, унинг ҳаракат хатоликлари аниқланган ва баҳоланган. СРнинг реал ҳаракатида динамик коэффициентлар аниқланган ва бажарувчи механизм учун тезкорлик масаласи ечилган. СРнинг дастлабки ҳаракат траекторияси билан назарий натижалар татбиқ этилган ҳолатда олинган ҳаракат траекторияси солиштирилган.



Расм. СРнинг оптимал траекториясини таъминловчи математик ва дастурий таъминотнинг схемаси.

ХУЛОСА

Диссертация иши доирасида олинган асосий илмий натижалар қуйидагилардан иборат:

1. Робототехник тизимларни тизимли таҳлил қилиш натижасида, асоси ҳаракатланувчан СРни бошқаришнинг мавжуд математик моделлари тезкорлик ва позицион аниқлигини юқори даражада таъминламаслиги аниқланган.

2. Мураккаб манипуляция операциясини амалга оширишида асоси ҳаракатланувчи СРни ҳаракат тенгламаси тузилган ва у асосида бошқаришнинг математик модели ишлаб чиқилган.

3. Назария ва амалиёт таклиф қилган тенгламалар бошқарув функциясига нисбатан қаралган, натижада хатолик тенгламаси олинган ва коэффицентларга нисбатан локал минимум масаласи шакллантирилган.

4. Асоси ҳаракатланувчан СРнинг бажарувчи механизми қисми учун тезкорлик масаласи ечилган. Тезкорлик масаласи Понтрягиннинг максимум принципи асосида динамик коэффицентларни уч хил кучсиз демпфир, кучли демпфир ва критик демпфир шартлари остида амалга оширилган.

5. Турли юкланишларни ҳисобга олган ҳолда асоси ҳаракатланувчи СРни охирги звеносининг позицион аниқлигини 3,1-3,4% га ошириш, СРни ҳаракатини ишончлилигини ва техник-иқтисодий кўрсаткичларини кўтаришга имкон берувчи ўзгарувчан коэффицентли математик моделлар ва бошқариш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

6. Асоси ҳаракатланувчан СРни оптимал бошқаришнинг математик моделлари асосида умумлашган алгоритм ва дастурий восита ишлаб чиқилган. Умумлашган алгоритм уч босқичга стратегик, тактик ва ижро босқичларига бўлинган.

Диссертация иши натижалари битта СР учун йилига 535 минг сўм иқтисодий самара билан "Технолог" акционерлик жамиятида қўлланилган.

ДИССЕРТАЦИЯ МАВЗУСИГА ОИД ЧОП ЭТИЛГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

1. Онорбоев Б.О., Хонбобоев Х.И., Абдуллаев А.К., Сиддиков Р.У. Узгарувчан тузилмалар саноат роботларини бошқариш модели//Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». - Ташкент, 2007. - №2. - С.8-12.
2. Онорбоев Б.О., Хонбобоев Х.И., Абдуллаев А.К. Асоси ҳаракатланувчан саноат роботларининг бошқарув масалаларига доир//Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики».- Ташкент, 2008. - №1. – С.19-23.
3. Абдуллаев А.К. Самолётсозликда кулланилувчи роботнинг бошқарув объекти сифатида математик модели ва дастурий таъминотини куринишлари// Авиакосмос техникасини яратиш ва ишлатиш муаммолари: Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. – Ташкент, 2008. – С.41-42.
4. Онорбоев Б.О., Хонбобоев Х.И., Абдуллаев А.К. Самолётсозликнинг технологик жараёнларида кулланилувчи асоси ҳаракатланувчан саноат роботининг динамик тенгламаси ҳақида// Авиакосмос техникасини яратиш ва ишлатиш муаммолари: Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. – Ташкент, 2008. – С.43-45.
5. Онорбоев Б.О., Абдуллаев А.К., Сиддиков Р.У. Робототехника тизимларини бошқаришда позицион аниқлик ва сезгирликни ошириш масалалари// Современное состояние и пути развития информационных технологий: Тез. докл. Респ. научно-техн. конф. –Ташкент, 2008. – С.209-212.
6. Абдуллаев А.К. Асоси ҳаракатланувчан саноат роботи ҳаракатининг математик модели//Научн-технический журнал ФерПИ. - Фергана, 2008. - №4 – С. 27-32.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Абдуллаев Алибек Қодиралиевичнинг 05.13.01 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш ихтисослиги бўйича «Асоси ҳаракатланувчан саноат роботлари ҳаракатини оптимал бошқаришнинг математик моделлари ва алгоритмлари» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕ СИ

Таянч сўзлар: мураккаб тизим, саноат роботи, тезкорлик, позицион аниқлик, кучсиз, кучли ва критик демпфер.

Тадқиқот объектлари. Асоси ҳаракатланувчан саноат роботи (СР) қаралган.

Ишнинг мақсади. Асоси ҳаракатланувчи СР ҳаракат траекторияси ва позицион аниқлигини таъминлаш учун оптимал бошқаришнинг математик моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқот методлари. Технологик жараёнларни математик моделлаштириш усуллар, оптимал бошқарув ва машина механизмлари назарияси усулларида фойдаланилган.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги. Асоси ҳаракатланувчан СРнинг мавжуд ҳаракат моделларининг хатоликлари аниқланган. Роботнинг ҳаракат тенгламаси қайта қурилган ҳамда ундан фойдаланиб, СРнинг тезкорлигини ва позицион аниқлигини ошириш орқали оптимал бошқаришнинг математик моделлари, алгоритмлари ва дастурий воситалари ишлаб чиқилган.

Амалий аҳамияти. Тадқиқ қилинувчи роботларни оптимал бошқаришнинг дастурий воситасидан халқ хўжалигининг робототехник тизимлар билан жиҳозланган барча тармоқларида тезкорлик ва позицион аниқликни ошириш орқали умумий ишлаб чиқариш вақтини минималлаштиришда ҳамда энергетика ресурсларини тежашда фойдаланиш мумкин.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги. Асоси ҳаракатланувчан СРни оптимал бошқариш учун математик моделлар асосида ишлаб чиқилган алгоритмлар ва дастурий восита «Технолог» акционерлик жамиятида қўлланилган. Қўллаш агрегат-йиғув жараёнлари мисолида амалга оширилган бўлиб, СРни бошқаришда тезкорлик ва позицион аниқлик сезиларли ошганлиги, бундан ташқари, ишланмалардан механик ишлов бериш жараёнларида ҳам фойдаланиш мумкинлиги аниқланди. Йиллик иқтисодий самараси бир СР учун 535 минг сўмни ташкил қилди (2009 йил нархларида).

Қўлланиш соҳаси. Ишлаб чиқилган математик моделлар ва алгоритмлардан халқ хўжалигининг робототехник тизимлар билан жиҳозланган бошқа тармоқларида оптимал бошқариш мақсадида фойдаланиш мумкин.

РЕЗЮМЕ

диссертации Абдуллаева Алибека Кодиралиевича на тему: «Математические модели и алгоритмы оптимального управления функционированием промышленных роботов на подвижном основании» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

Ключевые слова: сложная система, промышленный робот, быстродействие, позиционная точность, сильный, слабый и критический демпферы.

Объект исследования: промышленные роботы (ПР) на подвижном основании.

Цель работы: Разработка математических моделей и алгоритмов оптимального управления функционированием промышленных роботов на подвижном основании для обеспечения точности траектории движения и позиционирования.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы были использованы методы моделирования технологических процессов, теории оптимального управления и механизмов машины.

Полученные результаты и их новизна: определена ошибка существующей модели движения ПР на подвижном основании, вновь построено уравнение его движения, на основе которого разработаны математические модели, алгоритмы и программные средства, позволяющие увеличить быстродействие и точность позиционирования ПР.

Практическая значимость: программные средства оптимального управления исследованными роботами, благодаря увеличению быстродействия и позиционной точности, могут быть использованы во всех отраслях народного хозяйства, которые снабжены робототехнической системой, что способствует минимизации общего времени производства и экономит энергетические ресурсы.

Степень внедрения и экономическая эффективность: разработанные математические модели алгоритмы и программное средство оптимального управления ПР на подвижном основании внедрены в Акционерном обществе «Технолог». В процессе сборки агрегатов значительно увеличиваются быстродействие и позиционная точность управляемого ПР. Годовая экономическая эффективность внедрения на одном ПР составляет 535 тысячи сум (по ценам 2009 года).

Область применения: Разработанные математические модели и алгоритмы могут быть использованы при оптимальном управлении в различных отраслях народного хозяйства, которые снабжены робототехническими системами.

RESUME

Thesis of Abdullaev Alibek Kodiralievich on the scientific degree competition of the doctor of sciences (philosophy) in 05.13.01 – “System analysis, management and information professions”

subjects:

"Mathematical models and algorithms of optimum governing an operation of earning one's living robots on rolling base"

Key words: complex system, industrial robot, speed, positional accuracy, strong, weak and critical air-cushions.

Subject of research: earned one's living (PR) on the rolling base.

Purpose of work: Define and value a dynamic inexactness of motion path and develop mathematical models and algorithms of optimum management, allowing enlarge a speed and PR positional accuracy on the rolling base.

Methods of research: methods of mathematical modeling of technological processes, theories of probability, mathematical statistics, algebras, theories and theory of optimum management.

The results obtained and their novelty: Determined mistake existing motion models PR on the rolling base, newly built equation of its motion, on the base which designed mathematical models, algorithms and software programs, allowing enlarge a speed and PR positional accuracy.

Practical value: Software programs of optimum governing the explored robots, due to increasing a speed and positional accuracy, can be used in all branches of public facilities, which provided with by the system that promotes minimization of general time of production and spare an energy facility.

Degree of embed and economical effectivity: Developed on the base mathematical optimum management models PR on the rolling base algorithms and software programs are introduced in the Join-stock company "Technologist". On the example of introduction in the process of assembly of units proved that are vastly enlarged speed and positional accuracy operated by PR; their possible use mechanical processing in the process of. Annual cost-performance of introduction on one PR forms 535 thousand (on prices 2009).

Field of application: Developing mathematical models and algorithms can be used under optimum governing the different branches of public facilities, which provided with by systems.