

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ҚАРШИ МУХАНДИСЛИК-ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ

«НЕФТ ВА ГАЗ» ФАКУЛЬТЕТИ
«ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРНИ АВТОМАТЛАШТИРИШ
ВА БОШҚАРИШ» КАФЕДРАСИ

Хасанова Севара Абдиқодир қизининг
«Динамик объектларни бошқариш системаларида ростлагичларни
параметрик синтезлаш алгоритмлари» мавзули
5311000 –Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни
автоматлаштириш ва бошқариш (ишлаб чиқариш) йўналиши
бўйича бакалавр даражасини олиш учун
БИТИРУВ МАЛАКАВИЙ ИШИ

Кафедра мудири

Хусанов С.Н.

Раҳбар

т.ф.н., доц. Севинов Ж.У.

Тошкент – 2016 й.

МУНДАРИЖА

КИРИШ	
I БОБ. ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАСИНИНГ СИНТЕЗЛАШ МАСАЛАСИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ	
1.1. Бошқариш системаларини қуришнинг асосий ёндошувлари ва усуллари	
1.2. Бошқариш системаларида идентификациялаш ва бошқариш усуллари ва алгоритмлари	
1.4. Масаланинг қўйилиши ва ишнинг мақсади	
II БОБ ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДА РОСТЛАГИЧЛАРНИ ПАРАМЕТРИК СИНТЕЗЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ	
2.1. Динамик объектларнинг структуралари ва моделлар тўпламларини тавсифлаш	
2.2. Бошқариш системаларини синтезлашнинг типик алгоритмлари	
2.2.1. Ростлагич синтези	
2.2.2. Параметрларни созлаш алгоритмларини синтез қилиш	
2.3. Тўлиқ тартибли кузатиш асосида ростлагич қуриш	
2.4. Ҳолат филтрини қўллаган ҳолда ростлагич қуриш	
2.5. Ростлагичнинг созлаш параметрларини баҳолаш алгоритмлари..	
2.7. Дискрет ростлагични параметрик синтезлаш	
III БОБ. ХАЁТ ФАОЛИЯТИ ХАВФСИЗЛИГИ	
IV БОБ. ТЕХНИК-ИҚТИСОДИЙ ҲИСОБ	
ХУЛОСА	
АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ	

К И Р И Ш

“Техник объект” термини кўпгина техникага оид қурилмаларга нисбатан қўлланилади: саноат ишлаб чиқариши, кемалар, самолётлар, автомобиллар, электрогенераторлар, реакторлар, кундалик турмуш техникаси ва ҳоказо. Бошқариладиган техник объектлар бошқариш назариясида – бошқариш объектлари (БО) деган ном олишади.

Ҳар бир БО турли ўзига ҳос хусусиятларга эга ва уларнинг ҳаммаси бошқариш мақсади (меъзони), кўрсаткичлар ҳолати оралиғи тушунчаси, бошқариш, кузатиш, идентификацияланиш ва мослашиш хусусиятлари билан жамланади.

БОнинг тўлиқ функция бажариши зарурий ҳолатини таъминлаш учун автоматик тизим ёки автоматлаштирилган бошқариш (АБС) қўлланилади. АБС ни синтез қилиш автоматик бошқариш назарияси (АБН) усуллари қўлланилиши билан амалга оширилади. Техник БО учун АБСни тузишда бошқариш мақсади функцияси, БО моделлари кўрсаткичлари ва четга оғишлар ҳақидаги априор ахборотлар керак бўлади ва бу ахборотнинг ишончлилиги бевосита синтез қилинадиган ростлагични танлаш усулини ва сифатини белгилаб беради. Техник БОлар учун ростлагичлар синтезида замонавий АБН усуллари қўлланилиши БОни бошланғич ишончли математик моделини таҳлил қилмасдан амалга ошириш кўпгина қийинчиликлар туғдиради.

Ҳозирги вақтда сушт шаклланган объектларни (априор ноаниқлик) бошқариш учун ростлагичларни параметрик синтез қилишнинг алтернатив ёндашув усуллари ишлаб чиқилган: мослашувчан, дағал, ноаниқ ва нейронли усуллар. Ҳар бир ёндашув ўзининг хусусиятларига, афзалликлари ва камчиликларига эга ҳамда маълум бир ноаниқлик даражасида қўлланилиши мумкин. Аммо улар ростлагичлар параметрини синтезидаги бошланғич маълумотлар етишмаслигидаги вазифаларни ечишда ёрдам беради. Юқоридагиларни ҳисобга олган ҳолда бугунги кунда динамик объектларни бошқариш системаларида ростлагичларни параметрик синтезлаш алгоритмлари ўрганиш долзарб масалалардан бири ҳисобланади.

I БОБ. ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАСИНИНГ СИНТЕЗЛАШ МАСАЛАСИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ

1.1. Бошқариш системаларини куришнинг асосий ёшдошувлари ва усуллари

Бошқариш назарияси ва техникаси ривожининг замонавий босқичи бошқариш системаларига талабни ортиши ва бошқарилаётган объектларни мураккаблашуви, юқори савияда лойиҳалаштириш ва системани ҳаракатга келтириш билан тавсифланади. Бу вазиятлар, одатда, юқори сифат кўрсаткичли системаларни куришда бошланғич маълумот етарли эмаслигидан келтириб чиқаради ва системани ишлаш жараёнида маълумотлар билан тўлдиришга тўғри келади. Ишлашини яхшилайдиган маълумотларни иш жараёни вақтида йиғиладиган ва шу заҳоти таҳлил қилиниб бошқаришда ишлатиладиган бундай системалар адаптив деб аталади [1-9].

Адаптив системалар назариясида динамик объектларни хусусиятини аниқлаштирувчи бир қанча муҳим параметрлари ва омиллари номаълум бўлган шароитда бошқариш усулларини ўрганиб чиқади. Керакли бошқариш қонуниятлари, ишлаш жараёнида бошқарув таъсири берилганда объектнинг реакциясидан адаптив ростлагич орқали топилади. Демак бундай ростлагичлар системада бор экан, бутун системада мослашиш, кўникиш хусусияти пайдо бўлади: агар топилган бошқариш қонуниятлари ташқи шартларни ўзгариши туфайли қониқарсиз бўлиб қолса, адаптив ростлагич система ҳолатини яна қониқтирадиган янги бошқариш қонуниятини топади.

Адаптив системалар назарияси ривожланиши замонавий техникани эҳтиёжларидан келиб чиқади. Амалиёт нотаниш бўлган турли хил ва ҳар хил даражадаги бошқариш объектларни, уларнинг ишлатиш шартларини,

ғалаёнланиш таъсири масалаларини келтириб чиқаради. Адаптив бошқарув усуллари технологик жараёнларни бошқаришда, турли йўналишдаги автоматик бошқариш системаларида кенг қўлланилмоқда. Адаптив усулларни амалиётга кенг-қўламда сингдираётган бу, адаптация алгоритмларини амалиётда қўллашга катта имкониятлар яратувчи – турли жойларда ишлатилувчи ҳисоблаш техникаси воситаларидир.

Адаптив системаларни ишлатишда, фақат ростлаш масаласи қўйилмаган. Системани бутунлигича оптимал ишлаш шароитини топиш, тез ўзгарувчан шароитдаги бошқариш объектлари, ғалаён таъсиридаги бошқариш каби катта доирадаги масалаларни ҳисоблаш мумкин [1,3,8,9]. Одатда адаптив системалар созланувчи модели адаптив системалар (СМАС)га ва эталон модели адаптив системалар (ЭМАС)га бўлинади [1,2,4,5]. СМАС да объект идентификацияланади, ЭМАС да эса асосий бошқариш системасини эталон моделга тўғриланади. Адаптив системалар назарияси ҳозирда ўзининг ривожланиш босқичидадир. Унда турли қарашлар, йўналишлар ва усуллар кўп.

Асосий назарий натижаларни содда қилиб кўрсатиш учун олдинги йиллардаги ишларга мурожат қиламиз, уларда аввалроқ олинган умумлашган, ривожланган ва замонавий тушунтириб бериш орқали асосий натижалар олинган.

Умумий ҳолда [6] кечикувчи объектларни бошқарувчи адаптив системалар қуришнинг асосий усуллари ва адаптив, турғун системаларни чиқиш сигналларини ҳосиласи, ҳисоблаб бўлмайдиган турли типдаги объектларни чиқишига қараб қуришда янги усуллари ишлаб чиқилган. Турли типдаги кечикувчи объектларга кенг хатолик ва юқори даражадаги алгоритмлар ишлатилиш усуллари натижалари келтирилади. Юқори даражадаги адаптациянинг янги алгоритминини қуриш принципи таклиф қилинган ва асосланган. Адаптив башоратловчи ва башоратловчисиз

қўлланиладиган кечикувчи объектларни бошқаришнинг адаптив система бошқаруви синтезланган. Турли типдаги динамик объектлар учун изчил компенсатор қўлланиладиган адаптив ва турғун система бошқарувининг янги принципларини қуриш ўрганилмоқда: кечикувчи ва кечикишсиз, чизиқли ва нозизиқли объектлар учун.

[7, 8] да нотўлиқ ва ноаниқ шароитда керакли бошқаришни топишга имкон берувчи усуллар, бошқариш объекти тавсифи ва объект жойлашган атроф-муҳит тавсифи ҳақидаги билимлар келтирилган. Турғун бошқаришнинг асосий тушунчаларидан бири ноаниқлик тушунчасидир. Ноаниқлик объект моделини параметрик ва структур ноаниқлигини кўрсатиб беради. Ноаниқлик шароитида ҳаракатни яхши вариантини танлаш, ечим қабул қилишнинг назария ва усулларини ривожланишига олиб келди.

[9] да ташқи ғалаёнлар билан ишлайдиган ноаниқ математик модели динамик системаларни адаптив ва турғун бошқариш усуллари ривожланишига бағишланган. Оригинал ёндашув тасвирланган ташқи ғалаён ноаниқлигини чизиқли регрессион моделнинг параметрик ноаниқлиги билан боғловчи махсус синфдаги кузатувчилар ишлатилишига асосланган. Моделнинг базис функцияси (регрессор) системанинг иш ҳолатидаги функциялаштиришда шаклланади.

[10] да катта ҳажмли ва нозизиқли модели, кўп миқдордаги кириш ва чиқиш ўзгарувчилари, параметрик ва структур ноаниқликлари билан тавсифланадиган мураккаб динамик системаларни назарий асослари ва усуллари келтирилган. Ўрта қийматга келтирилган ва сингуляр ғалаён усули билан моделини қисман чизиқли аппроксимациялаш орқали яқинлашув декомпозиция усубияти келтирилган. Авторлар томонидан бир қанча оригинал меъзон ва усуллар келтирилган, булар олдиндан ўрганилган фазодаги ҳаракат ва келишилган бошқарув, тезлик градиенти, пассификация ва ноаниқ эталон моделлар базаси усулида бошқариш ва адаптация, юқори

тартибли адаптив алгоритмларнинг соддалашган турғун ҳолати ва бошқалар. Механик системаларни ночизиқли бошқариш масалаларини таърифланган усуллар татбиқи кўрсатиб ўтилган.

[11] да чизиқли стационар объектни эталон модел билан адаптив бошқариш системаси синтези масаласи кўрсатиб ўтилган. Бу ерда дискрет адаптив алгоритмининг оптимал фильтрация усулига асосан асимптотик ўхшашлиги шароитини текшириш таклиф этилган.

[12] да ноаниқлик шароитида созланувчи модели адаптив бошқаришнинг синтези усуллари баён этилган. Параметрик идентификация масалаларидан олинадиган ечимлар орқали кафолатланган баҳолаш ишлатилиши асосида адаптив бошқариш системасидан турғун бошқарув системасига мақсадга кўра ўтувчи чегарани аниқлайдиган мезон таклиф этилган.

[13] да номаълум амплитуда ва частота билан чексиз гармоник сонли чегараланган ярим гармоник ғалаёндаги номаълум доимий коэффициентли кўп ўлчамли объектларни адаптив бошқариш усули таклиф этилган.

[14] да адаптив чизиқли дискрет бошқариш системаларида идентификациялашнинг асимптотик оптимал алгоритмлари кўриб чиқилган. Таъкидланганки, ушбу идентификациялаш алгоритмлардан фойдаланиш, адаптив бошқариш алгоритмларини тезлик силжиши бўйича яхшиланмаслигини келтириб чиқаради.

[15] да адаптив субоптимал интегратор типдаги функционали минимакс мазмунидаги бошқариш масаласи кўриб чиқилган. Кўрсатилганки, параметрик ноаниқлик шароитида ҳам бошқариш объектининг параметрлари маълум ҳолатда бўлса, функционал сифатини кафолатланган баҳолаш қийматини таъминлаш мумкин. Халақит бўйича бир хил функционалларда халақит номаълумлик даражасини адаптацияланувчи алгоритмлар кўриб чиқилган.

[16] да объект параметрлари номаълум бўлган шароитда дискрет стохастик чизиқли динамик объектни бошқариш масаласи кўриб чиқилган. Кенг синфдаги стратегик бошқаришга кичик квадратларнинг замонавий усули ҳисобланган бир параметрли оилага мансуб адаптив алгоритмлари таклиф этилган. Системанинг чиқишида ва бошқаришда кучли адаптивлик исботланган, унда объект параметрлари маълум бўлганда объект чиқиш ўзгарувчиси y_t ва бошқарув u_t идеал жараёнлар y_t^* ва u_t^* га вақт бўйича асимптотик интилади. Кучли адаптивлик шарти етарлича оддий структурага эга ва аниқ татбиқларда осон текширилади.

[17] да объектнинг кириш ва чиқишида қўлланиладиган бошқариш учун, киришдаги кечикувчи объектлар учун эталон модели янги адаптив бошқариш схемаси таклиф қилинган. Синтезлаш муолажаларида кенгайган хатоликларни қўллаш билан эталон модели оғохлантириш концепсида асосланади. Бунга кўра ростлагичлар структурасида минимал мураккабликдаги филтрлар ва фақатгина маълум конфигурациядаги тарқалган кечикиш ўрнига жамланган кечикиш блоки ишлатилади.

Кўриб ўтилган адабиётлар тахлили асосида шунини хулоса қилиш мумкинки, динамик объектларни адаптив бошқариш назарияси ва амалиётида ҳар бири аниқ динамик объектни бошқаришда қўллаб бўладиган қўллаб бошқариш стратегияси вариантлари бор. Стратегия вариантини танлаш бошқариш объекти хусусияти ва эришиладиган асосий бошқариш мақсадларига боқлиқ.

Шундай қилиб, адаптив бошқариш системаларининг хусусиятлари келтирилади ва созланувчи модели адаптив бошқариш системаларини куришнинг асосий усуллари шакллантирилади.

1.2. Бошқариш системаларида идентификациялаш ва бошқариш усуллари ва алгоритмлари

Адаптив системаларда модел ўзида бошқариш объекти билан бир хил структурага эга бўлган, коэффициентлари ўзгаришга мойил динамик звенони акс эттиради. Созлаш алгоритми объектнинг кириш ва чиқиш сигналлари маълумотлари асосида модельни ҳолатини объект ҳолатига яқинлаштириши керак. Олинадиган модел коэффициентларини объект баҳоланиш коэффициенти деб қараш мумкин. Ростлагични қуришда объект параметрини аниқ билаш керак бўладиган бошқариш назариясининг классик усулларини ҳам ишлатилади. Номалум параметрлар ўрнига ростланиш қонуниятига модел ёрдамида олинадиган, уларни ўрнини босувчи баҳолари олинади. Созланувчи модель эталон модель каби системада аниқ қўлланилиши ёки унда созланувчи тенглама коэффициентлари кўринишида қатнашиши мумкин.

Созлувчи моделлар асосида адаптив бошқариш системаларининг синтезлаш принциплари анчадан бери тадқиқотчиларнинг назарини ўзига тортган [1,4,18-21]. Яққоллик ва универсаллик созланадиган объект усулининг муҳим фазилати ҳисобланади. Бошқа бир фазилати турли хил моделларнинг созлаш алгоритмлари билан ростланиш алгоритмларини комбинатция қилиш ва тузилишига кўра системада мукамалроқ алгоритмларни ишлатишдир.

Адаптив системаларни қуришда адаптация жараёнининг бир қисми бўлган идентификациялашда – идентификациянинг математик усули танлаш муҳим саволлардан бири ҳисобланади. Ҳозирги кунда объектларни идентификация қилишнинг турли хил ёндошувлари, усуллари, алгоритмлари ва ҳисоблаш схемалари ишлатилган [1,22-24] кўп ҳажмдаги ишлар чоп этилган. Бу усулларни қўллаш учун фақат параметрлари номалум бўлиши

мумкин бўлганда объектнинг модел тенгламаси априор маълумотларига эга бўлиши керак. Идентификация меъзонига ёки қўлланиладиган ҳисоблаш алгоритмига боғлиқ равишда, бу усуллар турли хил ном олган. Бу кичик квадратлар усули (ККУ), максимал тўғрилиқ усули (МТУ), баесовик баҳолаш (ББ), инструментал ўзгарувчи усули (ИЎУ), Калман фильтри (КФ) ёрдамида параметрларни баҳолаш ва бошқалар [1,22-26].

Ноаниқлик шароитида мураккаб динамик объектларни бошқариш масалаларини илова қилишда замонавий ахборот технологияларини хусусиятларини таҳлил ва тадқиқ қилиш учун ушбу соҳада олинган муҳим натижаларга эътиборимизни қаратамиз.

[19] да адаптив бошқариш системаларининг кўп тарқалган схемаларидан бири (созланувчи моделлари билан) тадқиқ қилинади. Идентификациялаш алгоритми сифатида кенгайтирилган ККУ ишлатилади, у объектнинг келишилган моделини ишлатилишига тўғри келади. Оптимал ростлагичларнинг кейгайтирилган синфи учун баҳоларининг яқинлашиш таҳлили ва берк системанинг ишлаши таҳлили олиб борилади.

[27,28] да чизикли ва ночизикли минимакс масалалар қаторида уларга бириктирилган ғалаёнларнинг тажрибаларга асосланиб баҳоланиши ва дискрет динамик системаларнинг бошланғич ҳолатини тикланиниши ҳақидаги саволлар кўриб чиқилади. Назария ва унга асосланган кўпгина техник, физик, иқтисодий ва экологик дастурлар кафолатланган баҳолашнинг умумий схемасида олиб борилади.

[26,28] да идентификациялаш муаммосига кафолатли ёндошув доирасида системанинг «объект+муҳит» хусусиятларини ахборот синтези асосида параметрик баҳолашнинг адаптив системаларини қуриш саволлари кўриб чиқилган. Системадаги жараёни ифодаловчи янги динамик структура киритилган – кузатилаётган ахборот тасвир бўлиб, у системанинг ахборот кўплиги ҳолида фазали тасвир тушунчасини кенгайтириб беради.

Кўрилатган ахборот тасвир ва кесишувчилар усули асосида «объект+муҳит» системасининг структур хусусиятларини баҳоловчи алгоритмлар таклиф қилинган. Ноаниқликлар шароитида параметрик чегаралашларни берувчи муолажалар ишлаб чиқилган. Адаптив ϕ -алгоритмлар усули келтирилган бўлиб, системанинг реал шароитларга адекват функционаллигини таъминловчи «объект+муҳит» системасининг идентификациялаш алгоритмини синтез қилишга кўмаклашади. Адаптив системанинг параметрларини танлашга таъсир қилувчи «шартли оралиқ бузилмаслиги» нинг таъсири ўрганилган. Узлуксиз ва дискрет объектларнинг идентификациялаш алгоритмини синтезлаш усуллари келтирилган.

[29] да нозичли стохастик системаларнинг шаклланган моделлаштириш усуллари, функционал ўзгартиришлар усуллари, системаларни идентификациялашнинг ахборот ва бошқа турлари кўриб чиқилган. Системаларнинг ҳар хил эҳтимолий мезонлар асосида идентификацияланиши, маълум синфдаги мезонлар асосида оптимал бўлган моделларнинг мавжуд бўлиши муаммолари, робаст моделлар ва бошқариш системаларини ташкил этиш каби саволлар кўриб чиқилиган. Билимлар асосида бошқариш системаси ва моделлаштиришни ифодалаш, ечим қабул қилиш системалари, нейрон тармоқлар, ноаниқ мантиққа эга бўлган системалар, адаптив системалар ҳамда моделлаштиришнинг эволюцион моделлари кўриб чиқилиган.

[30] да адаптив ва координатли-параметрик бошқариш принципларини пайдо бўлиш илдизлари кўриб чиқилиган. Бу принципларнинг маъноси тўлиқ ёритилган. Адаптив ва координатли-параметрик бошқаришнинг ечиш муаммоларини назарий усуллари таҳлил қилиб чиқилган. Шу турдаги замонавий бошқариш системаларини кўриб чиқишда пайдо бўладиган муаммоларнинг келиб чиқиш сабаблари айтиб берилган ва уларни бартараф қилиш учун айрим мисоллар келтирилган.

[31] да инновацион жараён тақсимои ноаниқ бўлган шароитда, фазовий (1,1) тартибли авторегрессия учун локал, нисбатан қуввати юқори бўлган белгили мезонлар тузилиб, улар авторегрессион тенгламаларнинг коэффицентлари тўғрисидаги гипотезаларни текшириш кўриб чиқилган. Мезонларнинг статистикалари тақсимотдан холи бўлиб, уларнинг асимптотик нормаллиги исботланган. Белгили мезонларнинг статистикалари асосида авторегрессия тенгламалари коэффицентларини нуқтали баҳолаш алгоритмлари келтирилган. Авторегрессиянинг инновацион кетма-кетлиги тўғрисидаги тахминлар жуда заиф бўлиб, улар дисперсиянинг тугалланиши ва зичликнинг жуфтчилигини талаб қилмайди. Кузатишларда ҳамма усуллар «таъсир» га бардош беради.

[32] да сезгирлик алгоритмини ишлатишда содир бўладиган суст боғланган чизиқли алгебраик тенгламаларнинг мунтазамлаш усуллари кўриб чиқилган. Бу усул итерациядан итерациягача ўзгарувчи ростлаш параметрига асосланган бўлиб, у функциянинг аниқ ечимлари ва апроксимациялаш дифференциал тенгламалари орасидаги хатоликка пропорционал. Усулни амалга ошириш учун аниқ қийматлар тўғрисидаги априор ахборот талаб этилмайди. Сезгирлик алгоритмларининг кесишиш тезлиги ва оралиғи юқорида айtilган усули А.Н.Тихоновнинг мунтазамлаш усулидан қолишмасилиги кўрсатилган.

[33] ишда эталон модель ва кичик квадратлар усуллари асосида динамик объект ва системаларни параметрик идентификациялаш, адаптив бошқариш ва диагностика қилиш масасаларига ягона ёндошув келтирилган. Ҳар хил ахборотдан фойдаланувчи, кўрсатилган учта масалани ҳисобловчи ўзига хос бўлган алгоритмлар келтирилган.

[34] да параметрлар тўғрисидаги априор ахборотни ўз ичига олувчи идентификациялаш алгоритми келтирилган. Таклиф қилинаётган муолажаларнинг самарадолигини кўрсатувчи мисол келтирилган.

[35] да параметрик идентификациялашнинг ёмон шартли масалаларни ечишнинг декомпозицион усули ишлаб чиқилган бўлиб, у иккита параллел алгоритмлар асосида кичик квадратлар усулини мунтазам баҳолаш шароитини яратиб беради. Бунда уларнинг ўлчамлари бошқа баҳолашни куришнинг классик муолажасига нисбатан кичик.

[36] ишларда дискрет вақтли кўпўлчамли системаларнинг идентификациялаш масаласи кўриб чиқилган бўлиб, улар параметрлар матрицаси билан ифодаланади. Бу кузатишлар векторининг компонентлари ноаниқ ковариацияларга эга шарт бўлгандагина амалга оширилади. Берилган базис бўйича ноаниқ ковариацион матрицада коэффицентларнинг бўлиниши – дисперсион компонентларни оптимал баҳолаш учун тенгламалар олинган. Рекуррент формулалар келтирилиб, улар матрица параметрларининг баҳоларини қайта ҳисоблаш билан бирга кузатишларни кетма-кет келишидаги дисперсион компонентларни ҳисоблаш имкониятини беради.

[37] да чизикли дискрет динамик бошқариш системалари учун идентификациялаш алгоритмини куриш масаласи кўриб чиқилган. Бу масаланинг ечилиши квадратик функционалларнинг матрица ўзгарувчилари бўйича олинган дифференциаллаш формулаларига асосланган.

[38] да динамик системаларнинг параметрик идентификациялаш алгоритми таклиф қилинган бўлиб, унинг асосида ҳаққонийликнинг максимуми бўйича баҳолаш усули ётади. Бу усул вақт соҳасида тузилган. Частоталар соҳасида функционалнинг минимал қийматларини ҳосил қилиниши алгоритм учун янги афзалликларни келтиради. Авваламбор, ишчи частоталарнинг диапазонини танлаш имконияти ёрдамида ғаллаён таъсирларини йўқ қилишга эришилади. Ундан ташқари, таклиф этилган алгоритмнинг тошқа тури кўриб чиқиляпти. У эса қайд қилинган сигналнинг вақт бўйича силжиши каби ғалаёнларни бартараф этишга мўлжалланган.

[39] да марковский параметрли ностационар технологик жараёнларни идентификациялашнинг адаптив ёндошуви кўриб чиқилган. Ташқи контурда бир гуруҳ экспертлар (ечим қабул қилувчи шахслар) билан биргаликда адаптив бошқаришнинг икки контурли системаси кўриб чиқилиб, у изланишларнинг амалий соҳасининг таснифини ёритиб беради.

[40] да умумлаштирилган иш функционалини баҳолаш мезони сифатида ишлатилишига асосланган динамик системаларни идентификациялаш ёндошуви кўриб чиқилган. Динамик системаларнинг параметрларини баҳолашнинг рекуррент алгоритми ишлаб чиқилиб, у идентификациялашни оний вақтда амалга ошириш имкониятини беради. Ҳосил бўлган алгоритм турғунлик ва ҳисоблашлар ҳажми бўйича олинган баҳолаш жараёнларидан афзаллиги жиҳатидан ажралиб туради. Бу эса олиб борилган сонли моделлаштириш натижалари билан исботланади.

[41] да ноаниқлик шароитида ахборот кузатилаётган тасвирлар тахлили асосида динамик системаларни структуравий идентификациялаш саволлари кўриб чиқилган. Динамик системани мувозанат ҳолатини баҳолаш усуллари кўрсатиб ўтилган. Ляпуновнинг характеристик кўрсаткичлар анализи асосида динамик системанинг қийматларини топиш муолажалари ифодаланган. Ахборот синтези асосида параметрик баҳолаш усуллари ишлатмаган ҳолда динамик системанинг ночизиқли структурасини баҳолаш усуллари ишлаб чиқилган. Статик объектларнинг структур идентификациялаш усуллари ишлаб чиқилган. Априор ноаниқлик шароитида параметрик чегаралаш соҳаларининг баҳолаш муолажалари келтирилган.

[42] да сув ресурсларини бошқаришда компьютерли моделлаштириш принциплари ва усуллари келтирилган. Мажмуада моделларни қуриш услублари, уларни декомпозиция қилиш, ахборот таъминоти саволлари кўриб чиқилган. Бошқарув қарорларини қабул қилишда ҳуқуқий ва иқтисодий муҳит аҳамияти баҳоланган. Сувдан фойдаланишнинг рационал

соҳасида қарор қабул қилишнинг тизимли қўллаб-қувватлашини қуриш билан боғлиқ бўлган натижалар муҳимлиги билан ажралиб туради.

[43] да ноаниқ чегараланган ғалаёнлар таъсиридаги бир ўзгарувчили чизикли турғун объектлар кўриб чиқилади. Бундай объектларни актив идентификацияни ҳосил қиладиган иккита усуlining имкониятлари таққосланади: инструментал ўзгарувчилар усули ва охири-частотавий идентификациялаш усули. Тажрибавий маълумотларнинг хатоликлари ҳамда ўлчанаётган киришдаги ва ғалаён хатоликларига мўлжалланган объект коэффициентларини баҳолаш сезгирлигини пасайтириш учун охири-частотали усулнинг имкониятлари кўрсатилган. Бу имкониятлар текширилаётган сигнал частоталаринининг ўз-ўзини ростлашни таъминлайди.

Келтирилган илмий ишлар, созланувчи модели адаптив бошқариш системаларини синтезининг умумий назарияси тўғрисидаги мавжуд бўлган барча ишлар номига даъво қилмайди. Шу билан бирга, таҳлил қилинган ишлар бу мавзунинг ҳозирги кундаги ҳолати, асосий йўналишлари ва ривожланиш тенденциясини аниқлайди ва келажакдаги ривожланиш йўналишларини кўрсатиб беради.

Юқорида келтирилган, ноаниқ ғалаёнлар шароитидаги динамик объектларни адаптив бошқариш системаларини синтезлашнинг усул ва алгоритмларини таҳлил қилганда шуни қайд этиш осонки, улар бир-бирига тесқари бўлган масалалардан иборат бўлиб, улар системанинг ёки жараённинг ҳолатини ўлчаш бўйича бир нечта сабаблар бўлганлиги учун характеристикаларини аниқлаш етарли. Табиий «сабаб-тергов» боғланишларнинг бундай бузилиши, тесқари масаланинг математик ифодасидаги хатоликларга олиб келади. Тесқари масалаларга идентификациялаш, баҳолаш ва бошқариш масалалари мисол бўла олади. Текширилаётган жараённинг керакли характеристикалари тўғридан-тўғри кузатилишга йўл қўйилмаганда ҳам уларни ишлатишга мажбур бўлади.

Тескари масалаларни ечишнинг самарали усуллари ишлаб чиқиши олинадиган натижаларни аниқлиги ва ишончлилигини яхшилашга олиб келди. Бу эса, тажрибавий маълумотларни қайта ишлаш алгоритмини мураккаблаштиришга олиб келди. Шу билан бирга, ҳисоблашларнинг кўп қисми ЭҲМ томонидан бажарилиб, тажрибавий изланишларни олиб боришни тезлаштириш ва арзонлаштириш, уларни автоматлаштиришга катта имкониятлар яратиб берди. Шундай қилиб, ҳозирги кунда нокоррект масалаларни ечишнинг самарали усуллари ҳамда аниқ амалий масалалар учун ҳисоблаш алгоритмини ишлаб чиқиш жуда катта қизиқиш уйғотмоқда.

1.3. Масаланинг қўйилиши ва ишнинг мақсади

Бошқариш объекти «кириш-чиқиш» ўзгарувчиларида чизикли айирма тенгламаси билан тавсифлансин:

$$A(\nabla) y_t = B(\nabla) u_t + \xi_t, \quad (1.1)$$

бу ерда y_t – бошқариш объекти чиқишларининг l -вектори; u_t – бошқарув таъсирларининг m -вектори; $A(\lambda)$, $B(\lambda)$ – мос равишда $l \times l$ ва $l \times m$ ўлчамли полиномиал матрицалар $A(\lambda) = I_n + \lambda A_1 + \dots + \lambda^r A_r$, $B(\lambda) = \lambda B_1 + \dots + \lambda^r B_r$, I_n – $l \times l$ ўлчамли бирлик матрица; ∇ – бирлик кечикиш оператори; ξ_t – $L(\nabla)\xi_t = E(\nabla)\omega_t$ филтър билан шакллантирилувчи стационар вектор шовқин, бу ерда $L(\nabla) = I_n + \lambda L_1 + \dots + \lambda^p L_p$, $E(\lambda) = I_n + \dots + \lambda^p L_p$, ω_t – $M[\omega_t] = 0$, $M[\omega_t \omega_s^T] = R_\omega \delta_{ts}$ шартни қаноатлантирувчи мустақил ўзгарувчили вектор тасодифий катталиклар; R_ω – ω_t тасодифий катталиклар ковариациясининг t га боғлиқ бўлмаган мусбат матрицаси. $A(\lambda)$, $E(\lambda)$ матрицали полиномлар турғун, яъни $\det A(\lambda)$, $\det E(\lambda)$ полиномлар комплекс текислигидаги берк бирлик доирада илдизга эга эмас деб фараз қилинади.

Бошқарув u_t куйидаги кўринишдаги чизиқли тескари алоқалар ёрдамида шакллантирилади:

$$C(\nabla)u_t = D(\nabla)y_t, \quad (1.2)$$

бу ерда $C(\lambda) = I_m + \lambda C_1 + \dots + \lambda^q C_q$, $D(\lambda) = D_0 + \lambda D_1 + \dots + \lambda^q D_q$, C_i - $m \times m$ ўлчамли матрицалар, D_i - $m \times l$ ўлчамли матрицалар.

Сифат функционали куйидаги кўринишга эга:

$$J = \overline{\lim}_{t \rightarrow \infty} M\{Q(y_t, u_t)\}. \quad (1.3)$$

Бу ерда Q - y , u ўзгарувчиларнинг мусбат квадратик шакли, яъни $|y| + |u| \neq 0$ бўлганда $Q(y, u) > 0$ ва

$$Q(y, u) = y^T Q_{11} y + 2y^T Q_{12} u + u^T Q_{22} u, \quad (1.4)$$

Q_{11} , Q_{12} , Q_{22} - мос ўлчамлардаги ҳақиқий матрицалар.

Стабилловчи ростлагичлар синфидаги (1.3)-(1.4) сифат функционаллари минималлаштирувчи ростлагич (1.2) ни синтезлаш талаб этилади. Ростлагич (1.2) нинг айирмавий тартиби одатда олдиндан берилмайди, яъни (1.3) функционални минималлаштириш барча чизиқли стабилловчи тескари алоқалар синфида амалга оширилади.

Адаптив бошқарувнинг сифат функционали минималлаштириш масалалари куйидаги кўринишдаги ростлагични идентификациялаш ва созлашнинг чизиқли алгебраик матрица тенгламаларини ечиш масалаларига олиб келинади:

$$y(t) = \varphi^T(t) \theta + \xi(t), \quad (1.5)$$

$$Az = f, \quad A: Z \rightarrow F, \quad (1.6)$$

бу ерда $\varphi(t) = [y^T(t-1), \dots, y^T(t-p), u^T(t-1), \dots, u^T(t-q)]^T$; $\theta = [A_1, A_2, \dots, A_p, B_1, \dots, B_q]^T$;

$\xi(t)$ - R ковариация матрицали $l \times 1$ ўлчамли ғалаён таъсири; $A = A(\tau)$ ва

$f = f(\tau)$ лар $g(\lambda) = a(\lambda)\alpha(\lambda) - b(\lambda)\beta(\lambda)$ оптимал системанинг характеристик

полиноми ва $\alpha(\nabla, \tau)u_t = \beta(\nabla, \tau)y_t$, $z = \text{col}(\alpha_1, \dots, \alpha_p, \beta_1, \dots, \beta_p)$ ростлагичнинг $\alpha(\lambda, \tau)$, $\beta(\lambda, \tau)$ полиномлари асосида аниқланади.

Ҳисоблаш нуқтаи назаридан қараганда, (1.5) ва (1.6) тенгламалар нокоррект қўйилган масалалар, яъни бошланғич маълумотлардаги кичик хатоликлар ечимни катта хатоликларга олиб келувчи масалалар синфига киради. Бу, кўпгина ҳолларда (1.5) ва (1.6) тенгламалар ечимларини турғунлик шартларини бузилганлиги билан белгиланади. Шунинг учун ҳам табиий равишда баҳолаш усуллари позицияси билан адаптив бошқариш системаларини синтезлаш масалаларининг афзалликларини таҳлил қилишга интилиш пайдо бўлади.

Шу соҳада олиб борилган ишларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, бу ердаги ютуқларнинг кўпи, аввало, эталон модель принципи ва энг кичик квадратлар усули асосида параметрик идентификациялаш ва адаптив бошқариш масалаларини ечиш алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ. Ўлчаш хатоликларининг корреляцион структураси ҳақидаги чекланган априор ахборотлар шароитларидаги моделларни мунтазам параметрик идентификациялаш масалалари жуда кам даражада тадқиқ қилинган. Шунингдек, бошқариш таъсирларини идентификациялаш ва синтезлашнинг аниқ рекуррент алгоритмларини амалга оширишда мунтазамлаштириш параметрлари ва бошланғич маълумотларнинг хатоликлари сатҳини баҳолаш, мунтазамлаштириш усуллари синфини танлаш бўйича нашр этилган ишларнинг камлигини ҳам кўрсатиб ўтиш зарур. Адаптив бошқариш системаларини куриш назариясининг ҳолати ва ривожланиш тенденциясини юқорида келтирилган қисқача таҳлили адаптив системаларни синтезлаш усуллари соҳасида эришилган аҳамиятли натижаларга қарамасдан, бугунги кунда ишлаш жараёнидаги турли халақит сигналли шароитларни ҳисобга олган ҳолда динамик объектларни идентификациялаш ва бошқаришнинг

мунтазамлаштирилган алгоритмларини қуриш алгоритмлари етарли даражада ишлаб чиқилмаганлиги ҳақида хулоса чиқариш имконини беради. Кўрсатиб ўтилган ҳолатлар адаптив бошқариш алгоритмларини яратиш ҳамда уларни динамик объектлар ва системаларнинг турли синфлари учун амалиётга татбиқ этишнинг ҳисоблаш схемаларини синтезлашнинг зарурлигини кўрсатади. Юқорида баён этилган хулосалар динамик объектларни бошқариш системаларида ростлагичларни параметрик синтезлаш алгоритмларини яратиш ва тадқиқ этишга бағишланган ушбу битирув малакавий ишининг мақсадини қўйилишини белгилаб берди.

II-БОБ. ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДА РОСТЛАГИЧЛАРНИ ПАРАМЕТРИК СИНТЕЗЛАШ АЛГОРИТМЛАРИ

2.1. Динамик объектларнинг структуралари ва моделлар тўпламларини тавсифлаш

Математик тавсифнинг мумкин бўлган турларини унификациялаш ва таҳлил қилиш мақсадида динамик бошқариш объектларини структуралари ва тўпламларини тавсифлаш амалга оширилди. Идентификациялаш назарияси ва амалиётидаги «кириш-чиқиш» терминларида кўриниши қуйидагича бўлган динамик системалар кўпроқ тарқалганлиги келтирилган:

$$y(t) = \sum_{j=1}^p A_j y(t-j) + \sum_{j=1}^q B_j u(t-j) + \xi(t), \quad t=1,2, \dots, N, \quad (2.1)$$

ёки

$$y(t) = A_1 y(t-1) + \dots + A_p y(t-p) + B_1 u(t-1) + \dots + B_q u(t-q) + \xi(t), \quad (2.2)$$

бу ерда $u(t)$ - $m \times 1$ ўлчамли кириш сигнали, $y(t)$ - $l \times 1$ ўлчамли чиқиш сигнали, $\xi(t)$ - R ковариация матрицали $l \times 1$ ўлчамли ғалаён таъсир, $A_i - (l \times l)$ -матрица, $B_i - (l \times m)$ -матрица; $B - l \times m$ матрица.

Системани кетма-кетлигини характерловчи p, q , параметрлари, кўплаб бирламчи параметрларни ҳосил қилади. Охирги параметрлар эса фақатгина манфий бутун сонларни қабул қилади. Асосий аҳамият касб этувчи матрицанинг A_j, B_j, R , элементлари эса иккиламчи параметрларни ҳосил қилади [19,22] яъни кузатишларни йиғиндисини аниқлаш учун $\Xi(N)=(Y(N),U(N))$, бу ерда $Y(N)=\{y(N), \dots, y(1-p)\}$, $U(N)=\{u(N-1), \dots, u(1-q)\}$.

Бирлик кечикиш оператори ∇ га ўзаро нисбат аниқловчиси $\nabla y(t) = y(t-1)$ ни қўллаган ҳолда (2.1) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$A(\nabla) y(t) = B(\nabla) u(t-1) + \xi(t), \quad (2.3)$$

бу ерда

$$A(\nabla) = I - \sum_{j=1}^p A_j \nabla^j, \quad B(\nabla) = \sum_{j=1}^q B_j \nabla^j.$$

$A(\nabla), B(\nabla)$ - p ва q га мос равишда матрицани полином даражаси; I - бирлик матрица. (2.1) ва (2.3) формулада ҳосил бўлувчи ғалаён $\xi(t)$ га келсак унда оддий ҳолат уни тасодифий катталикларини мустақил равишда кетма-кетлигини тахмин қилиш мумкин бўлади. Аммо бундай тахмин бир қаторда чекланган бўлиши мумкин [4, 22]. Шунинг учун $\xi(t)$ жараёни ноллик, оралик ва якуний корреляц жараёнда ишлатилади

$$M[\xi(t)] = 0, \quad M[\xi(t)\xi^T(t-j)] = 0, \quad \forall j \geq (\nu+1),$$

бу ерда M - математик кутилиш ишораси; « T »- транспонирлаш белгиси. $\xi(t)$ ни охирги вақт корреляцион жараёнини қуйидаги кўринишда ёзиш мақсадга мувофиқ [44]:

$$\xi(t) = w(t) + \sum_{j=1}^{\nu} C_j w(t-j) = C(\nabla)w(t), \quad (2.4)$$

бу ерда

$$C(\nabla) = I + \sum_{j=1}^{\nu} C_j \nabla^j,$$

$$M[w(t) = 0] ; M[w(t)w^T(j)] = R\delta_{ij}, \quad (2.5)$$

$w(\cdot)$ - $w(t)$ ва ўртача нол бўлган ихтиёрий тасодифий катталиқни кетма-кет содир бўлиши яъни Кронекер ишораси $t \neq j$; δ_{ij} га $w(j)$ ни боғлиқ бўлмаган ҳолати. $\xi(t)$ кетма кетлигини шунингдек авторегрессион жараён деб ҳам қараш мумкин; бу ҳолда $\xi(t)$ ни $w(t)$ ва ўткинчи жараёни чизиқли функцияси ҳам бор. $\xi(t)$ авторегрессионлиги учун кўрсатилган (2.3)-системани қайишқоқлиги, $\xi(t)$ ни (2.1) ва (2.3)-системасининг ўртача силлиқлантириш қайишқоқлигига нисбатан катта эмас [22].

Шу тариқа (2.3) ни (2.4) билан ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўринишни олади:

$$A(\nabla)y(t) = B(\nabla)u(t-1) + C(\nabla)w(t) \quad (2.6)$$

$\{w(\cdot)\}$ жараёни билан (2.5) формулани қониқтиради, агарда $C(\nabla) = I(v=0)$ ни қўлласак. У ҳолда (2.6) формула қуйидаги кўринишга келади:

$$A(\nabla)y(t) = B(\nabla)u(t-1) + w(t). \quad (2.7)$$

(2.6)-теглама $\{A(\nabla), B(\nabla), C(\nabla), R\}$ билан ҳарактерланади, бу ерда $A(\nabla), B(\nabla)$ ва $C(\nabla)$ - тегишли тартибли кўп ҳад матрица, $R - w(t)$ ковариацион матрицани мусбат ғалаёни. Системани турғунлигини таъминлаш учун $A(\nabla)$ ва $C(\nabla)$ аниқловчиларининг ноллари ягона айлана ташқарисида ётади. $C(0)=I$ ва энг кўп полиноминал матрица кўпайтувчилари A, C ва B лар доимий кўпайтувчилар ҳисобланади. Юқорида келтирилган вазифаларни бажариш асимптотик ковариацион жараёни (2.6) тенгламага ва уни такрорий бўлишини кафолатлайди [19,22], бу эса ўз навбатида стохастик жараёнларни параметрларини самарали тузиш имконини беради. Ўрта сирпаниш типидagi ҳадни ўз ичида сақламайди, системада автоматик такрорланишни таъминлайди. Такрорланиш ўрта сирпаниш ва ковариацион шовқин матрицасини тўлиқ тавсифлайди. Агар система такрорланмас бўлса, унда уни ўрта сирғаниш компонентини шундайси билан алмаштириш керакки ушбу амалга оширилган алмаштириш уни асл ҳолига қайтара олиши керак.

Матрица элементлари $A_1, \dots, A_p; B_1, \dots, B_q$ аниқлаш учун (2.1)-тенгламани параметрларини бажариши керак. Параметрлашнинг яна бир усулидан бири (2.1)-тенгламанинг вектори θ умумий сони $(pl+qm)l$ барча матрица элементларини жалб қилиш орқали амалга ошириш мумкин. Бу ҳолда $((pl+qm) \times l)$ матрицасини аниқлаш мумкин:

$$\theta = [A_1, A_2, \dots, A_p, B_1, \dots, B_q]^T \quad (2.8)$$

ва $(pl+qm)l$ - бир хил вектор устуни

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} y(t-1) \\ \vdots \\ y(t-p) \\ u(t-1) \\ \vdots \\ u(t-q) \end{bmatrix},$$

ва (2.1)-тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$y(t) = \theta^T \varphi(t) + \xi(t). \quad (2.9)$$

Параметрлашни бошқа тур кўриниши шундан иборатки уни d - бир хил вектор устунлари θ ва $(l \times d)$ матрицалари $\varphi^T(t)$ ни тузишдан иборатки (2.1)-тенглама қуйидагича ҳосил бўлади:

$$y(t) = \varphi^T(t) \theta + \xi(t). \quad (2.10)$$

(2.9) ва (2.10) тенгламалар бир бири билан ўзаро боғлиқлигини кўрсатиш мумкин [57].

$$\theta = \text{col } \theta,$$

$$\varphi(t) = \varphi(t) \otimes I_l,$$

бу ерда I_l – ягона $(l \times l)$ матрица, $\otimes$ -кронеккерни ҳосил қилиш белгиси.

(2.1) тенгламани параметрлашни яна бошқа варианты қуйидаги кўринишга эга [44];

$$y_i(t) = \bar{z}_i^T(t-1)\theta_i + \xi_i(t), \quad i=1,2,\dots,l,$$

ёки

$$y(t) = \bar{Z}(t-1) \theta + \xi(t), \quad (2.11)$$

бу ерда $\bar{z}_i - n_i$ ни ўлчамини билдиради ва у вектор компонентларидан тузилган.

$$\bar{z}_i(t-1) = [y_i(t-1), \dots, y_i(t-p), u^T(t-1), \dots, u^T(t-q)]^T,$$

$$\bar{Z}(t-1) = \begin{bmatrix} \bar{z}_1^T(t-1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \bar{z}_2^T(t-1) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \bar{z}_l^T(t-1) \end{bmatrix}.$$

$$\theta = [\theta_1 \dots \theta_l], \quad n_0 = \sum_{i=1}^l n_i, \quad n_0 = l(lp + mq) \quad \text{бўлган вектор параметрлари}$$

матрицанинг барча $A_j, j=1, 2, \dots, p; \quad B_j, j=1, 2, \dots, q$ элементларидан тузилади.

Амалиёт ва тажрибада динамик системаларни идентификация қилишда шунингдек қуйидаги модел структураси ишлатилади:

$$y(t) = Bu(t) + \xi(t), \quad t = 1, 2, \dots, \quad (2.12)$$

юқоридаги формулани қуйидагича ўзгартириш мумкин:

$$y = X\beta + \xi, \quad (2.13)$$

бу ерда X – $ln \times lm$ – $[X(1) \mid X(2) \mid \dots \mid X(n)]^T$, $X(t) = I_l \otimes u(n)^T$ матрицалар; β – ml ўлчам вектори; устин ости l дан тузилган B нинг $\beta^{(i)}$ ($i = 1, 2, \dots, l$) матрицаси.

Шуни эътиборда тутиш керакки, (2.9) ва (2.12)- модели сруктуралар фақатгина A_j , B_j матрицаларга боғлиқ равишда чизиклидир, аммо чизиклилиқ у векторига боғлиқ бўлиши шарт эмас. Шунинг учун ҳам гаус вектори $\xi(t)$ да ҳам у вектори гауссиз бўлиши мумкин. Бу жуда муҳим, чунки кўпгина ҳолларда бошқариш объектларида стохастик жараёнлар гауссиз ҳолатда бўлиши мумкин [1,44].

(2.9) ва (2.12) га ўхшаш турли хил параметрларни тузишдан ташқари физик параметрли модел структураларини ҳам қўллаш мумкин [22]. Бунини маъноси шундан иборатки, бунда қўлланилувчи физик параметрлари айнан системада изланаётган параметрларни қўллаш орқали топишга асосланган.

Тажриба ва амалиётда системанинг стохастик параметрларни баҳолашда (2.9)-(2.12) моделга асосан шунингдек каноник ёки тенглик баҳолаш усули ҳам ишлатилади [19,22,44]. Кўпгина каноник кўринишдаги тенгламалар баҳолаш вазифасига кўра қуйидаги белгилар билан узвий боғлиқ: I) $A(D)$ диагоналига, $B(D) = I$, R диагоналига; II) $A(D)$ диагонал эмас, $B(D) = I$, R диагоналига; III) $A(D)$ диагонал эмас, $B(D) = I$, R диагонал эмас; IV) $A(D)$ диагонал эмас, $B(D)$ диагоналига, R диагоналига; V) $A(D)$ диагонал эмас, $B(D)$ диагоналига, R диагонал эмас; VI) $A(D)$ диагонал эмас, $B(D)$ диагонал эмас, R диагонал эмас.

Бу ҳолатда (I) ва (III) – авторегрессион модел (АР), (IV) ва (VI)-(АРСС) – ўрта сирғанувчи авторегрессион модел. (I) бир бирига боғлиқ бўлмаган

авторегрессион ростлаш системасига муофиқ ҳолатда. (III) оддий кўп ўлчамли авторегрессион модел, (VI) умумий авторегрессион моделини ўрта сирғаниши.

Юқорида кўриб ўтилган каноник усуллар баҳолаш аниқлиги билан боғлиқ бўлган ва жараёни баҳолашда «ортиқчаликни камайтириш» усуллари одатда системани катта ўлчамдаги ноаниқ параметрларини баҳолашда ишлатилади [22,44]. Келтириб ўтилган каноник усул етарлича юқори даражада бўлиб, баҳоланиши қийин бўлган ва параметрик кўпайиб кетиш билан боғлиқ бўлган усул билан узвий боғлиқ. Маълумки кўп ўлчамли бошқариш системасининг моделини қуришда етарлича маълумот келтирилмаган бўлса одатда синалган ва хатоликларни аниқлаш усули ишлатилади, бундан кўзланган асосий мақсад ўзгарувчи жараёни асосий катталиқка таъсир даражасини аниқлаш. Бунга мос келувчи усул (II)-каноник усулдир, чунки у ҳар бир тенгликни бир бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда текшириш имконини беради. Агар параметрни юқори даражали аниқлигини олиш зарур бўлса у ҳолда (I)-услдан фойдаланиш мумкин. (III) усул эса асосан $y_i(t)$ тенглама таркибида $y_j(t)$, $j \neq i$ ҳад иштирок этувчи модел қуриш учун ишлатилади. Бу каби моделларни одатда қўш тенгламалар модели дейилади. (III) усулни муҳим томонлари қуйидагича: икки y_1 ва y_2 ўзгарувчиларнинг иштирок етишидир, айтайлик ўзгарувчан $y_2(t)$ тенгламанинг биринчи қисми $y_1(t)$ да ҳосил бўлади, гарчан $y_2(t)$ тенграмаси учун $y_1(t)$ тенграмаси мавжуд бўлмаса ҳам, қийматларни ўзгартириш орқали такрорланишли бошқа кўпгина каноник тенгламаларни ҳосил қилиш мумкин.

Юқорида кўриб ўтилган стохастик объектнинг кўплик модели ва структуравий моделлари объектни бошқара олади, шу тариқа уни ҳар хил усуллар ва турлича математик даражаларда ёзиш мумкин. Бу каби мураккабликлардан фойдаланиш ушбу моделни самарали ишлашини таъминлаб беради [4,21,23]. Шунингдек келтириб ўтилган «кириш-чиқиш» ва каноник модел параметрлари яна кўплаб моделларни тузиш имконини беради

у орқали еса турлича динамик системаларни, уни нормал функция маълумотларига асосланиб аппроксимация қилиш мумкин бўлади.

Модел ўзининг талабларига жавоб бериши учун бир қанча шартлар қўйилиши бу шартлар уни бажарилишини таънилаши керак. Бу каби талабларни йўқлиги ёки уни етарлича бўлмаслиги моделни таркибини тўлиқ очиб бера олмай уни потенциал имкониятларини тўлиқ ёритиб бера олмай қолади. Функционал моделни тузиш учун модел ташқи мухит билан уйғунлашган ҳолда мослашган бўлиши керак, бу мухитга уни таркибий қисмлари киради [1,41]. Бу моделни аниқ бир жиҳатлари учун ҳам кўриб чиқиш мумкин, зарурат туғилса аниқ хусусий ҳолат учун, мухитга аниқ йўналтириб кўриб чиқиш имкини бор.

Кўрилаётган қарама-қарши жаҳатлар шароитида жудаям муҳим динамик бошқариш системаларида қўйилган вазифасини назорат қилишни аниқроқ олиб бориш вазифасини ўз зиммасига олади [1,45]. Бу каби моделни асосий жиҳати операцион моделни ишлашини кузатишга, жараённи ўзини реал шароитда моделлаштиришга имкон беради. Бу каби ўхшашликларни келтиришнинг асосий сабаби шундан иборатки аниқланмаган бошланғич вазият реал объект билан боғлиқ, у қўйилган кўплаб элементларни аниқлаш учун бажарилади. Бу сингари элементлар сифатида бошқарувнинг динамик системаси ишлатилиши мумкин, яъни ундаги бораётган жараён, назорат ва мезонлар. Бундай ҳолатларда берилган синфлардаги моделнинг адекватлигини текшириш мумкин, шу жумладан моделнинг таъсирчанлиги ва турғунлиги, уни белгиланган аниқлик даражасидан оғишини.

2.2. Бошқариш системаларини синтезлашнинг типик алгоритмлари

2.2.1. Ростлагич синтези

Объектни функционаллаштириш жараёнида ростлагични параметрик тузатиш принципларини амалга оширувчи, бевосита адаптив бошқарувни базали тизимини куриш усуллари кўриб чиқамиз. Бундай тизимлар кўпинча қидиришларсиз ишлайдиган ўз – ўзини тузатувчи тизимлар (ҚИЎЎТТ) ёки эталон модели адаптив тизимлар деб номланади.

Бирламчи учлик элементларини синтез қилиши даражасидаги бошқарув масалаларини ечиш схемасини кўриб чиқамиз. Бунинг учун ечилаётган масалани аниқ шаклини берамиз.

Бошқарилувчи объект (P_1 – бирламчи модел) ўзининг тенгламаси билан берилган бўлсин

$$x^{(n)} + a_{n-1}x^{(n-1)} + \dots + a_0x = b_m u^{(m)} + \dots + b_0u,$$

бу ерда u – унинг кириши; x – чиқиш. Кўпинча объект тенгламасини оператор қайд қилиши қуйидаги кўринишга эга:

$$a_n(p)x = b_m(p)u, \quad (2.40)$$

бу ерда $a_n(p) = p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \dots + a_0$, $b_m(p) = b_m p^m + \dots + b_0$, $p^i = d^i / dt^i$ - оператор i -қолдиқсиз дифференциаллаш. Бошқарув мақсади (J_1 – бирламчи мақсад) чегаравий нисбат орқали берилади

$$\overline{\lim}_{t \rightarrow \infty} (x(t) - x_*(t)) = 0, \quad (2.41)$$

бу ерда $x_*(t)$ – ҳаракатнинг эталон траекторияси. Бошқарув масаласи P_1 объектда J_1 мақсадга эришувчи, унинг шаклланиш қонуни ёки бошқарув сигнали $u(t)$ ни аниқлашдан ташкил топган. Қўйилган масалани ўзига хос хусусияти (2.40) объектни $a_i, i = \overline{0, n-1}$, $b_j, j = \overline{0, m}$, параметр тенгламаси аниқланмаган, балки ўзларининг $P\Delta$ имконият қийматлари $(n+m+1)$ ўлчам

доирасида берилишидан иборат. Бундан ташқари, x_0 эталон ҳаракатининг траекторияси эталон моделини тенгламасига мос келади

$$a_n^3(p)x_0 = b_0^3g \quad (2.42)$$

бу ерда $a_n^3(p) = p^n + a_{n-1}^3p^{n-1} + \dots + a_0^3$, g - вазифа берувчи таъсир ёки ҳаракатни кузатувчи таъсир. Эталон модел тенгламаси тизимдаги ўтиш жараёнини зарурий динамикасини характерлайди, шунинг учун (2.42) тенгламага аниқ талаб $a_n^3(p)$ оператор турғунлиги ҳисобланади. ($t \geq 0$ бўлганда, ҳар қандай оператор $c_k(t, p) = p^k + c_{k-1}(t)p^{k-1} + \dots + c_0(t)$ тенгламанинг $c_k(t, p)\tau = 0$ турғун дейилади, агар $t \rightarrow \infty$ бўлганда, ҳар қандай чегаравий $\tau^{(i)}(0), i = \overline{0, k-1}$ ифода учун $\tau^{(i)}(t) \rightarrow 0$ бажарилган.)

Операторларни n ва m динамик тартиби $a_n(p)$ ва $b_m(p)$ объект тенгламаси берилган деб ҳисобланади. Шунинг учун синтез қилинаётган тизимни ўз – ўзини тузатувчи синфга киритиш мумкин.

Бошқарув таъсирни шакллантириш қонунини аниқлаш учун ва ростлагич структурасига мувофиқ (2.42) ни ҳисобга олган ҳолда (2.40) объект тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$a_n^3(p)x - b_0^3g = b_m(p)u - \Delta_{n-1}(p)x - b_0^3g, \quad (2.43)$$

бу ерда $\Delta_{n-1}(p) = a_n(p) - a_n^3(p) = (a_{n-1} - a_{n-1}^3)p^{n-1} + \dots + (a_0 - a_0^3)$, ва кейин ундан эталон модели (2.42) ифодасини ҳисоблаб оламиз. Натижада фқуйидагини ёзиш мумкин:

$$a_n^3(p)\sigma_n = b_m(p)u - \Delta_{n-1}(p)x - b_0^3g, \quad (2.44)$$

бу ерда $\sigma_n = x - x_0$. Бошқарувчи таъсирни шакллантириш қонуни қуйидагича бўлсин

$$b_m(p)u = \Delta_{n-1}(p)x + b_0^3g. \quad (2.45)$$

Унда (2.44) га мувофиқ $a_n^3(p)\sigma_n = 0$ га эга бўламиз ва оператор турғунлик кучи $a_n^3(p)$ га $t \rightarrow \infty$ бўлганда, $\sigma_n \rightarrow 0$ нисбат мувофиқ келади, бу эса (2.41) бошқарув мақсадига мос келади. Шундай қилиб, (2.45) тенгламани биз эталон ростлагични тенгламаси деб номлашимиз мумкин, (2.45)

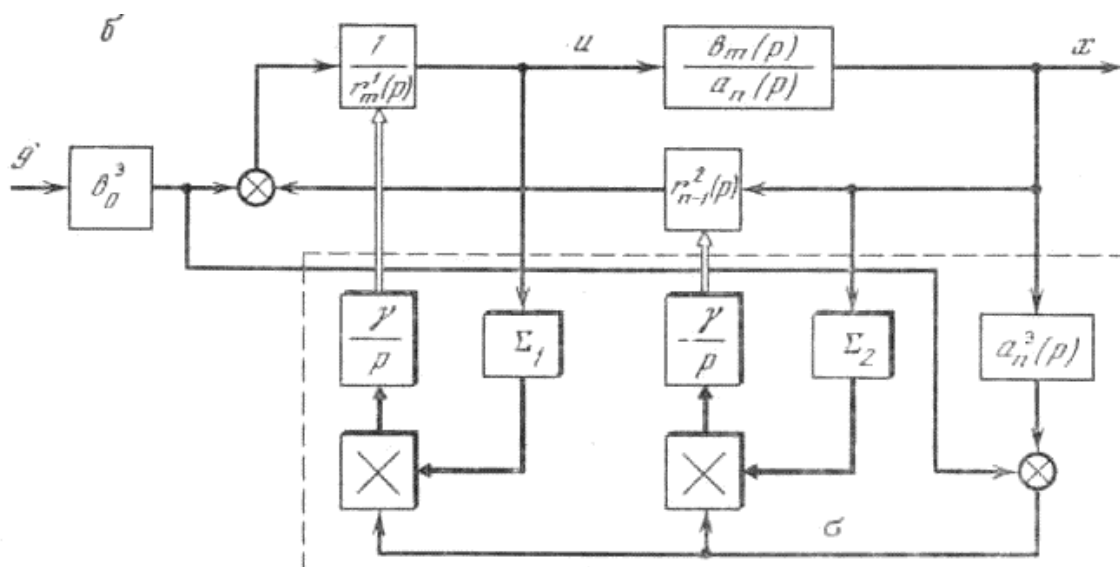
талабларига жавоб берувчи u сигнални ўзини эса u_3 деб белгилашимиз мумкин. Аммо эталон ростлагични ишлатиш мумкин эмас, чунки $b_m(p)$ ва $\Delta_{n-1}(p)$ операторлари номаълум. Лекин бошқа томондан (2.45) нисбат бошқарув қонунини қидиришга олиб келувчи, тенгламалар структураси синфини кўрсатиб беради. Шунинг учун реал ростлагични қуйидаги тенглама билан ифодаласа бўлади

$$r_m^1(p)u = r_{n-1}^2(p)x + b_0^3g \quad (2.46)$$

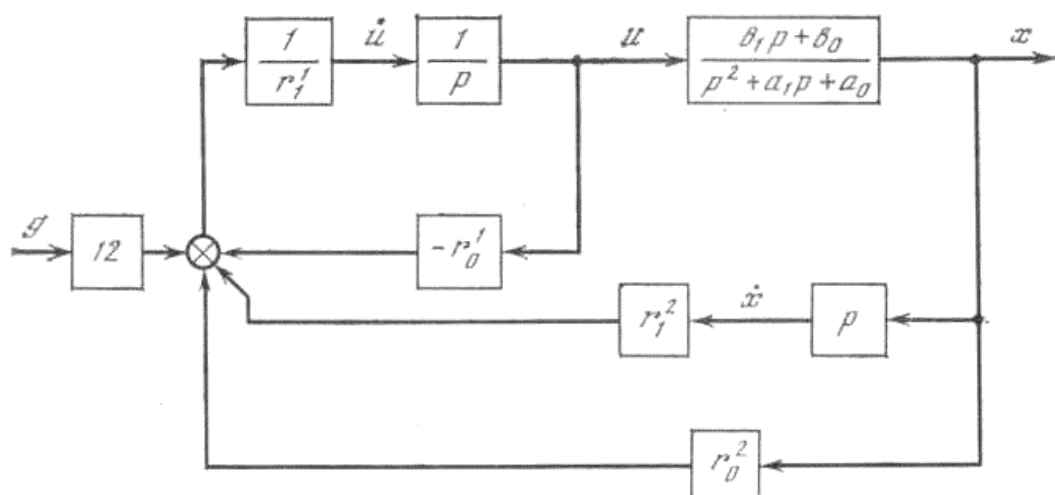
(2.40)–(2.46) берк тизимни ишлаш жараёнида тузатишларга тўғри келувчи, операторлари $r_m^1(p) = r_m^1 p^m + \dots + r_0^1$, $r_{n-1}^2(p) = r_{n-1}^2 p^{n-1} + \dots + r_0^2$. Агар $t \rightarrow \infty$ бўлганда, унда (2.45) даги $u \rightarrow u_3$, ҳамда $x \rightarrow x_3$ га мувофиқ равишда $r_m^1(p) \rightarrow b_m(p)$, $r_{n-1}^2(p) \rightarrow \Delta_{n-1}(p)$ бажарилади. Дастлабки бошқарув мақсадига эришилганда, ростлагич параметралари r_j^1 ва r_i^2 , $j = \overline{0, m}$, $i = \overline{0, n-1}$ ни тузатиш алгоритмини аниқлаш масаласи, иккиламчи учликнинг элементлари даражасидаги синтез қилишнинг асосий масаласи ҳисобланади. (2.46) ростлагичли ўз – ўзини тузатиш тизимини иш қобиляти учун, $r_m^1(p) = b_m(p)$ чегарада $u(t)$ сигнал чекланган ҳолатда қолиши зарур, бу эса $b_m(p)^1$ номаълум операторнинг турғунлигини талаб қилади. Бу талаб PA чегаравий муҳити учун қўшимча шартларни аниқлайди.

(2.46) ростлагичли ва (2.40) ҳажмли берк тизимнинг структураси 2.1 расмда тасвирланган. Баъзида олинган тизимнинг структураси асосий контур деб номланади, ростлагични синтез қилиш масаласини эса ўз – ўзини тузатиш тизимининг асосий контурини синтез қилиш масаласи деб номланади.

2.2 расмда берк тизимнинг структураси тасвирланган.



2.1 расм. Асосий контур (а) ва адаптив тизимнинг (б) структур схемаси



2.2 расм. Иккинчи тартибли объектларнинг асосий контурини структур схемаси

Кўриб чиқилган масалалар фақат бирламчи алгоритм Φ_1 синтези билан боғлиқ, ва шу вақтда P_1 бирламчи модел ва J_1 мақсад кўрсатмали киритилган эди. Агар чизиқли динамик объектларни P_1 (2.40) синфи автоматик бошқарув назарияси анъанавий моделларига мувофиқ келади, унда мақсад шартлари J_1 (2.41) махсус характерни ифодалайди ва маълум миқдорда бевосита адаптив бошқарув масалаларида ёндашишнинг ўзига хос хусусиятларини очиб беради. Ростлаш назариясида тарқалган мақсад шартлари объектнинг

Ўткинчи жараён кўрсаткичларига ростлагичларни шаклланган синтези ёмон ёндашилган, чунки қўйилган масалани бир маъноли ечимларни олиш имкони йўқ. Бу синтез жараёнига маълум микдордаги ноаниқликларни олиб киради. Шунинг учун бошқарув назариясида оптимал ростлагичларни синтез жараёнини маълум даражада шакллантириш имконини берувчи, сифатнинг интеграл критериялари кенг тарқалган. Оптимал бошқарув масалаларида синтез жараёнидаги юқорида белгиланган ноаниқлик сифатнинг интеграл критерияларини шакллантириш ноаниқларига ўтилди. Сифатнинг интеграл критерияларини ўртача катта интервалда бевосита адаптив бошқарув тизимида қўллаш фойда бермайди ёки мумкин эмас, чунки охиргиларнинг ишлаш принципи бошқарув сифатини узлуксиз назорат қилишга асосланган, бундай тизимда иш сифатини фақат ўртача оралиқ вақтини муддати бўйича баҳолаш мумкин. (2.41) кўринишдаги мақсадга йўналтирилган шартга ўтиш, ростлаш масаласини бир хил маъноли ечим билан ҳам таъминлайди; шу билан бирга уларга объектни ўткинчи жараёнига ҳар қандай хоҳлаган характеристикаларни беришимиз мумкин. Мақсадга йўналтирилган (2.41) шартли бошқарув масаласининг барча ноаниқликлари (2.42) этанол моделини танлаш ноаниқлигига ўтказилади.

2.2.2. Параметрларни созлаш алгоритмларини синтез қилиш

Юқорида келтирилган ўз – ўзини тузатувчи тизимга мувофиқ (P_2 , J_2 , Φ_2) иккиламчи учлик элементларини тузишга олиб келади, бу ерда P_2 – иккиламчи модел, ёки хатолик модели, J_2 – иккиламчи хатолик ва Φ_2 – иккиламчи алгоритм. Иккинчи цикл масалаларини ечиш асосида созланувчи ростлагични (2.46) параметрларини ростлаш эталони параметрларига мувофиқ J_1 (2.41) мақсадга йўналтирилган шартга ҳам етади. Сўнгра, ўз – ўзини тузатиш масаласини, эталон ва созланувчи ростлагич тенгламалари орасидаги параметрик мослашувчанлик компенсация масаласи сифатида

караш мумкин. Тузатишлар устидан бевосита назорат амалга ошириб бўлмайди, чунки тузатишлар устидан ҳақиқий назорат бўлмайди, чунки (2.43) даги $b_m(p)$ ва $\Delta_{n-1}(p)$ оператор параметрларининг ҳақиқий қийматлари маълум эмас. Аммо координата тузатишларни шакллантириш ёки ўлчов бўйича билвосита назорат олиб бориш мумкин. Мувофиқ келувчи координата тузатишларни параметрик тузатишлар билан боғловчи тенглама хатолик модели – P_2 дейилади. Агар координата тузатишларни J_2 критерия даражасини киритилса, бунда унинг минимуми бошқарувнинг бошланғич мақсадига мувофиқ келади, унда ўз – ўзини тuzатувчи алгоритм сонли схема синфида J_2 функцияларини минималларидан қидириш мумкин. ўз – ўзини тuzатувчи алгоритмининг куришга бундай ёндашув фойдали ҳисобланади, чунки минимизациялаш усуллариининг сонли назарияси маълум даражада ривожланган. Бироқ минимумли классик масалалардан фарқли равишда координата тузатишларни минимизациялашган масаласи ростлагич параметри бўйича бир қанча хусусиятларга эга. Масала шундан иборатки, координата тузатишларни катталиги фақатгина параметрик тузатишлар орқали аниқланмай, балки объектни хусусий динамикаси, ростлагичи, ҳамда g таъсири орқали ҳам аниқланади. Бундан ташқари, ҳар бир қайд қилинган вақт моментида координата мувофиқлик критериялари тuzатувчи параметрлар доирасида яққол талабчан ҳисобланади. Буларнинг ҳаммаси минималлаштириш масаласини ечишни мураккаблаштиради, ва ҳар гал алгоритм ишлаш тахлилида ўхшашлик талаб қилинади.

Агар эталон моделини тенгламаси (2.41) даги x_3 ўрнига, объектни реал чиқиши x ни қўйсак, унда (2.42) тенглик бузилади ва қанчадир ўзгаришлар ҳосил бўлади:

$$\sigma = a_n^3(p)x - b_0^3 g. \quad (2.47)$$

Маълум шаклда ўзгарган σ (2.41) мақсадга йўналтирилган бошланғич шарт билан бевосита боғланган, деб кўрсатиш мумкин. Ҳақиқатдан ҳам,

(2.47) дан эталон моделини тенгламасини ажратиб олиб, қуйидаги ча ёзиш мумкин:

$$a_n^3(p)\sigma_n = \sigma. \quad (2.48)$$

Бу ердан агар $\lim_{i \rightarrow \infty} \sigma = 0$, унда $\lim \sigma_n = 0$, яъни бошқарувнинг бирламчи мақсади топилади. Сўнгра, агар қуйидаги кўринишда иккиламчи критерияни киритсак

$$J_2 = \frac{1}{2}\sigma^2, \quad (2.49)$$

ўз-ўзини тузатмани (2.49) критерияни градиентли минималлаштиш масаласига, қуйидаги қонун бўйича келтириш мумкин:

$$\bullet = -\gamma \partial J_2 / \partial r \quad (2.50)$$

бу ерда $\gamma > 0$ – кучайтириш коэффиценти, минимумни қидириш “қадам” ини характерлайди, $\partial J_2 / \partial r = \text{col}[\partial J_2 / \partial r_0^1 \dots \partial J_2 / \partial r_m^1 \partial J_2 / \partial r_0^2 \dots \partial J_2 / \partial r_{n-1}^2 \dots \partial J_2 / \partial r_{n-1}^2]$ – эса градиент вектори. Агар ишлаш жараёнида $\partial J_2 / \partial r = 0$, шарт топилган бўлса, унда $\dot{r} = 0$ бўлганда қидирув тўхтатилади.

Градиент векторини нолга мурожаати, маълумки, локал экстремум зарурий шарти ҳисобланади. (2.50) градиент стратегиясини пасайишини қуриш учун σ ни параметрик мувофиқликка боғлиқлигини ифодаловчи, P_2 модел хатолигини киритамиз. Бунинг учун объектнинг (2.43) ва ростлагичнинг (2.46) тенгламаларининг йиғиндиси топилади. Ўхшашликларни келтиргандан кейин (2.47) ни ҳисоблаш орқали қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\sigma = a_n^3(p)x - b_0^3g = (b_m(p) - r_m^1(p))u + (r_{n-1}^2(p) - \Delta_{n-1}(p))x.$$

Номалум параметрларнинг вектори учун белгилашлар киритамиз

$$\Delta = \text{col}[b_0 \dots b_m]a_0 - a_0^3 \dots a_{n-1} - a_{n-1}^3],$$

тузатувчи параметраларнинг вектори

$$r = \text{col}[-r^1 | r^2] = \text{col}[-r_0^1 \dots -r_m^1 | r_0^2 \dots r_{n-1}^2]$$

ва ўзгарувчи координаталар вектори

$$z = \text{col}[u | x] = \text{col}[u \dots u^{(m)} | x \dots x^{(n-1)}],$$

унда хатолик модели тегламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$\sigma = (\Delta + r)^T z, \quad (2.38)$$

ўз – ўзини тузатувчи алгоритм эса (2.50) га мқвофиқ қуйидаги шаклад ёзиш мумкин:

$$\dot{r} = -\gamma \sigma z, \quad (2.39)$$

бу ерда σ (2.47) бйўича ўзгаради. u скаляр координатадан $u = \text{col}[u \dots u^{(m)}]$ векторига шартли ўтиш операциясини $\sum_1$ симболи билан, x дан $x = \text{col}[x \dots x^{(n-1)}]$ векторига ўтишни $\sum_2$ билан белгиланган, адаптив тизимни олинган структураси 5 б расмда келтирилган. Ҳажмли стрелка ва шакллар билан вектор алоқа координаталари ва функционал блоклари белгиланган, иккиталик қилиб векторли параметрик алоқалари белгиланган. Скаляр алоқа координаталари битталиқ стрелка қилиб белгиланган. Тизимнинг ажратиб кўрсатилган структура қисми ўз-ўзини тузатувчи контур, ёки адаптер деб аталади.

Ажратилга векторни киритиш ҳисобига $z = \text{col}[u|x]$ алгоритм (2.39) иккига ажратилади:

$$\dot{r}^1 = \gamma \sigma u, \dot{r}^2 = -\gamma \sigma x.$$

Кўриб турибдики, агар x ва ўлчашга мўлжалланган, σ ни ўзгартиришда (2.47) ифодада қўлланилувчи, уларнинг n -гача бўлган барча каторнинг ҳосилали, бундай тизимни амалга ошириш мумкин.

2.3. Тўлиқ тартибли кузатиш асосида ростлагич қуриш

Олдин ростлагични амалга оширишни яқинлашиш усулини кўриб чиқамиз.

Чиқиш оркали ўлчанувчи бошқарув объекти қуйидаги тенглама

$$(p^2 + a_1 p + a_0)x = (b_1 p + b_0)u, \quad (2.40)$$

ЭТАЛОН МОДЕЛ ЭСА

$$(p^2 + 5p + 6)x_3 = 12g. \quad (2.41)$$

кўринишида берилган бўлсин.

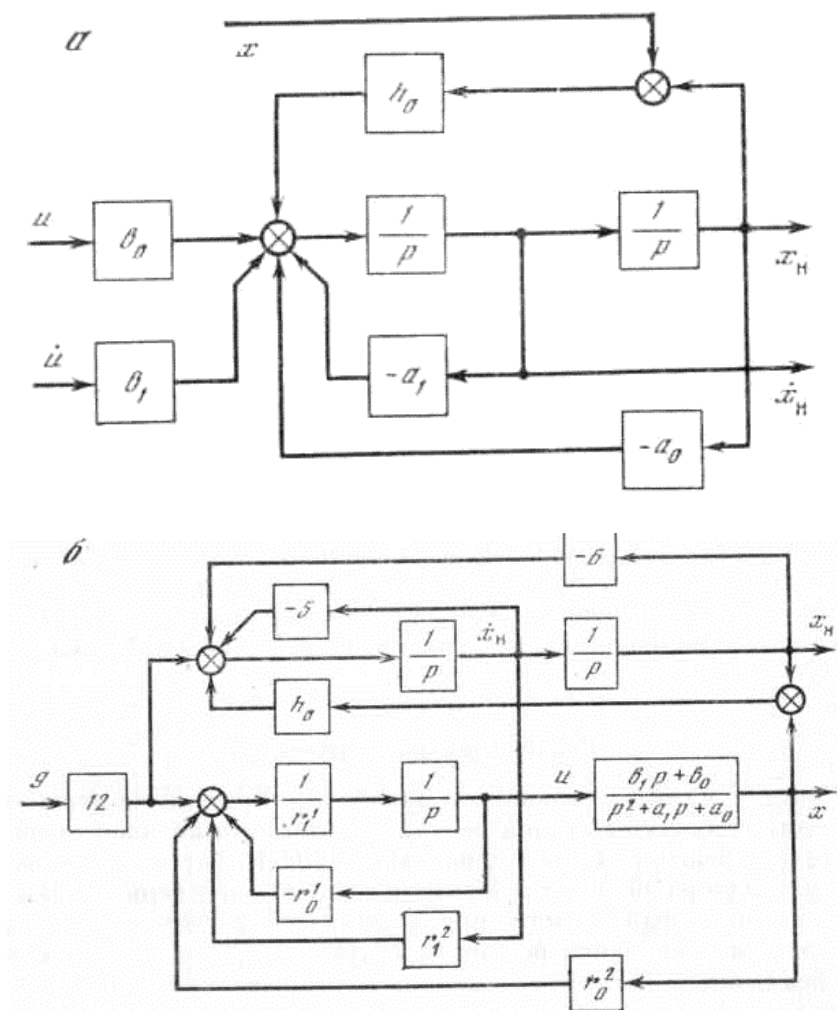
Унда созланувчи ростлаг (2.46) қуйидаги нисбат кўринишида ёзиш мумкин:

$$r_1^1 \dot{u} + r_0^1 u = r_0^2 x + r_0^2 \dot{x} + 12g. \quad (2.42)$$

Бошқарувнинг бундай қонунини амалга ошириб бўлмайди, чунки x координата ўлчанмайди. Объектни (2.42) тенгаламасига ўхшаган, филтр тенгламани киритамиз:

$$(p^2 + a_1 p + a_0)x_h = (b_1 p + b_0)u + h_0(x - x_h). \quad (2.43)$$

Агар мос келувчи филтрни амалга оширсак, 2.3 а расмда кўриниб турибдики, унинг чиқиши билан фақат x_n ни эмас балки $\dot{x}_n$ ни ҳам ўлчаш мумкин.



2.3 расм. Иккинчи тартибли объект (б) учун асосий контур
ва кузатув схема структураси

(2.40) бошқарув объектидан (2.43) филтр тенламани айириб оламиз. Натижада хатоликни боҳоловчи тенглама $\varepsilon_H = x - x_H$ қуйидаги кўринишга келади: $(p^2 + a_1 p + (a_0 + h_0))\varepsilon_H = 0$

Агар оператор $p^2 + a_1 p + a_0 + h_0$ турғун бўлса, $t \rightarrow \infty$ бўлганда $\varepsilon_H, \dot{\varepsilon}_H \rightarrow 0$ бажарилади, сўнгра (2.42) ростлагичда $\dot{x}$ ўрнига, (2.43) орқали амалга оширилган, ҳеч қандай зарарсиз $\dot{x}_H$ координатасини қўллаш мумкин. Бундай филтр кузатувчи деб номланади. Лекин (2.43) кузатишни амалга ошириш қийинчилик туғдиради, чунки объектни a_1, a_0, b_1, b_0 параметралари априор маълум эмас. Бошқа томондан, адаптив тизимни чегаравий ҳолати (2.41) эталон моделини динамикасига мувофиқ келиши керак. Кейин кузатувнинг чегаравий ифодаси тизимнинг асосий контури учун (2.43) билан ўхшашлик бўйича қуйидаги кўринишга келади:

$$(p^2 + 5p + 6)x_H = 12g + h_0(x - x_H). \quad (2.44)$$

Агар эталон моделини тенгламаси (2.41) дан кузатувчи (2.44) томонидан киритилган тенгламани айириб ташласак, унда кузатувнинг чегаравий хатолик тенгламасига келамиз, ундан кузатувни чегаравий хатолик $(p^2 + 5p + 6 + h_0)\varepsilon_H = 0$, $\varepsilon_H = x_s - x_H$ тенгламасига келамиз, кейин эса h_0 ихтиёрий параметрни танлашнинг кейинги биринчи шarti бажарилади. Бу $p^2 + 5p + 6 + h_0$ операторнинг турғунлик шarti ҳисобланади. (2.42) ва (2.44) асосида ростлагичнинг амалга оширилувчи тенгламасини киритамиз

$$r_1^1 \dot{u} + r_0^1 u = r_0^2 x + r_1^2 \dot{x}_H + 12g. \quad (2.45)$$

Тизимдаги адаптив жараёнларни ростлагич (2.45) билан мос келиш масаласини тахлили қилиш учун (2.43) мос келмайдиган ифодани қурамиз

$$\sigma = (p^2 + 5p + 6)x - 12g = b_1 \dot{u} + b_0 u + (5 - a_1)\dot{x} + (6 - a_0)x - 12g.$$

Берилган ифодани (2.45) балан йиҳиндисини олгандан кейин модел хатолигига келамиз

$$\sigma = (b_1 - r_1^1)\dot{u} + (b_0 - r_0^1)u + (6 - a_0 + r_0^2)x + (5 - a_1)\dot{x} + r_1^2\dot{x}_H. \quad (2.46)$$

Модел хатолигини модифицирланган чиқишини киритамиз

$$\sigma_H = \sigma - r_1^2(\dot{x}_H - \dot{x}), \quad (2.47)$$

Бунга қуйидаги боғлиқлик мос келади

$$\sigma_H = (b_1 - r_1^1)\dot{u} + (b_0 - r_0^1)u + (6 - a_0 + r_0^2)x + (5 - a_1 + r_1^2)\dot{x}. \quad (2.48)$$

Олинган хатоликнинг модифицирланган модели (2.38) стандарт кўринишга эга. Модел хатолигини кўрсатилган тасвири учун, σ_H компенсация сигнали билан таъминланувчи, ўз – ўзини тузатиш жараёнида ўхшаш градиентли стратегиялар, биз томондан асосланган ва олинган. Шунини аниқлаш қоладики, қачонки, $\sigma_H \rightarrow 0$ шартдан, иккинчи мақсад $\sigma \equiv 0$ бажарилади.

(2.47) га мувофиқ қуйидагини ёзиш мумкин:

$$(p^2 + 5p + 6)x - 12g - r_1^2(\dot{x}_H - x) = 0.$$

Берилган тенгликдан (2.44) айириб ташлаймиз. Натижада чегаравий моделни баҳолаш хатолиги қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$(p^2 + (5 + r_1^2)p + 6 + h_0)\varepsilon_H = 0, \quad \varepsilon_H = x - x_H.$$

Шунини таъкидлаш керакки, ўз – ўзини тузатишни градиент алгоритми (2.48) модел хатолиги билан шарт бўйича $\sigma_H \rightarrow 0$ боғлиқликдан кейин $\dot{r}_1^2 \rightarrow 0$ га эга бўлади, яъни $\sigma \equiv 0$ шартда вариация параметри r_1^2 йўқолади. Бу эса ҳар қандай ўрнатилган r_1^2 оператор $p^2 + (5 + r)p + 6 + h_0$, ундан кейин $\varepsilon_H \rightarrow 0$ кейин $\sigma_H \rightarrow 0$ боғлиқлик (2.47) га мувофиқ ҳолда $\sigma \rightarrow 0$ турғун ҳолатда қолади. Агар параметрлар бўйича ўз – ўзини тузатиш жараёни диссипатив бўлса, унда $P\Delta_1^2$ ўзгариши мумкин бўлган муҳит r_1^2 учун чегараланган ҳисобланади. Бунда ростлагични амалга ошириш масаласини ечишда кузатишларда қўлланиладиган шарт, $\forall r_1^2 \in P\Delta_1^2$ операторлар учун қуйидаги шундай h_0 параметрининг мавжудлик шarti сифатида шакллантириш мумкин.

Параметрлар

$$p^2 + 5p + 6 + h_0 \text{ ва } p^2 + (5 + r_1^2)p + 6 + h_0$$

турғун қолади. Амалга оширилувчи (2.45) ростлагичли тизимнинг асосий контури 2.3 б расмда тасвирланган.

Бошқарилувчи объект (2.40) тенглик билан берилган умумий ҳолатга қайтамыз. Ҳолат вектори $x_1 = \text{col}[x \dots x^{(s-1)}]$ нинг бир қисми ўлчашга тайёр, $x_2 = \text{col}[x^{(s)} \dots x^{(n-1)}]$ вектори эса ўлчанмайди, деб ҳисобланади. Бошқарув мақсади (2.42) эталон моделл (2.41) типовой кшринишга эга бўлсин. Ўхшашлик бўйича (2.44) дан кузатиш тенгламасини киритамиз:

$$a_n^3(p)x_H = b_0^3g + h_{s-1}(p)(x - x_H), \quad (2.49)$$

бу ерда $h_{s-1}(p) = h_{s-1}p^{s-1} + \dots + h_0$. унда амалга оширилувчи ростлагия тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$r_m^1(p)u = r_{s-1}^2(p)x + r_{n-1/s}^2(p)x_H + b_0^3g, \quad (2.50)$$

бу ерда

$$r_{s-1}^2(p) = r_{s-1}^2p^{s-1} + \dots + r_0^2, r_{n-1/s}^2(p) = r_{n-1}^2p^{n-1} + \dots + r_s^2p^s.$$

(2.43) га мувофиқ боғланмас тенглама қуйидагича ёзилади: $\sigma = b_m(p)u - \Delta_{s-1}(p)x - \Delta_{n-1/s}(p)x - b_0^3g$, бу ерда $\Delta_{n-1}(p) = \Delta_{s-1}(p) + \Delta_{n-1/s}(p)$. Модел хатолигини модифицирланган чиқишини киритамиз:

$$\sigma_H = \sigma + r_{n-1/s}^2(p)(x - x_H), \quad (2.38)$$

Боғланмас ифодани (2.50) тенлама билан йиғиндиси олингандан кейин модел хатолигини стандарт тасвирини оламыз:

$$\sigma_H = (\Delta + r)^T z, \quad (2.39)$$

бу ерда худди (2.38) тенгликдагидай Δ , r ва z векторлар ҳисобланади. Агар (2.50) ростлагични созлаш жараёнида $\sigma_H \rightarrow 0$ шарт бажарилса, унда чегаравий (2.38) ва (2.47) га мувофиқ $a_n^3(p)x - b_0^3g + r_{n-1/s}^2(p)(x - x_H) = 0$ га эга бўламыз.

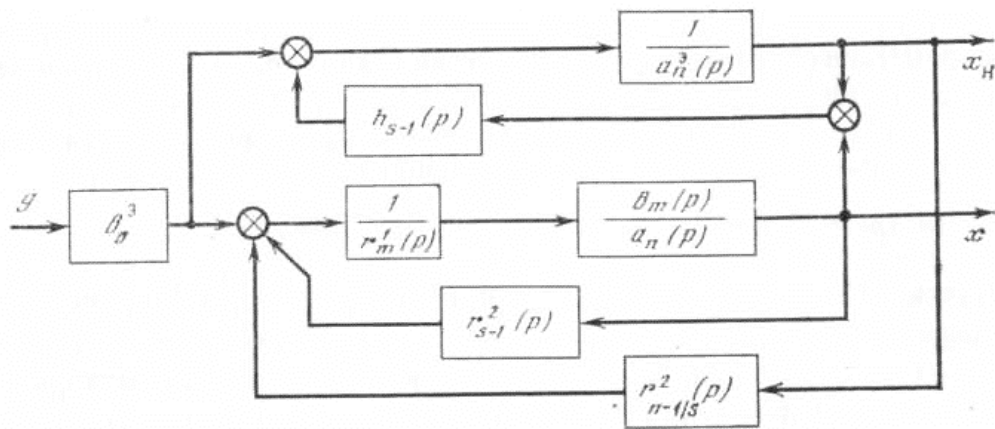
Олинган тенгликдан кузатув тенгламаси (2.49) ни айириб ҳисоблаб, кузатувнинг чегаравий хатоликлар тенгламасини оламыз:

$$(a_n^3(p) + r_{n-1/s}^2(p) + h_{s-1}(p))\varepsilon_H = 0, \quad \varepsilon_H = x - x_H. \quad (2.40)$$

$r_{n-1/s}^2(p)$ оператор параметрларининг ўзгариши мумкин бўлган муҳит $P\Delta_{n-1/s}^2(p)$ бўлсин. Агар ҳар қандай ўрнатиловчи $r_{n-1/s}^2(p) \in P\Delta_{n-1/s}^2(p)$ тузатиш учун ($\sigma_H \rightarrow 0$ бўлганда вектро тузатиш жараёни r сўнади) оператор $a_n^3(p) + r_{n-1/s}^2(p) + h_{s-1}(p)$ турғун ҳолатда қолади, унда $\varepsilon_H \rightarrow 0$ ва $\sigma_H \rightarrow 0$ шартдан кейин (2.38) га мувофиқ $\sigma \rightarrow 0$ бўлади, яъни (2.41) бошланғич бошқарув мақсади амалга оширилади. Кузатув жараёни (2.49) турғун бўлиши учун $a_n^3(p) + h_{s-1}(p)$ операторининг турғунлиги ҳам талаб қилинади.

Келтирилганлар бўйича хулоса қилсак бўлади, яъни ростлагични амалга ошириш масаласида (2.49) тўлиқ тартибли кузатувни қўллаш шартлари, шундай $h_{s-1}(p)$ операторини мавжудлигида, ҳар қандай ўрнатишган $r_{n-1/s}^2(p) \in P\Delta_{n-1/s}^2(p)$ қиймат - оператор $a_n^3(p) + h_{s-1}(p)$, $a_n^3(p) + r_{n-1/s}^2(p) + h_{s-1}(p)$ (2.40) да турғун ҳисобланади.

(2.50) Ростлагичли тизимнинг асосий контурини структуравий схемаси 2.4 расмда тасвирланган.



2.4 расм. Кузатишлардан фойдаланилган асосий контурнинг структуравий схемаси

Тизим ўткинчи жараёнларининг тўпламида параметрик мослашувчанлик катталикларини камайтиришда $r_{n-1/s}^2(p) \rightarrow a_{n/s}(p) - a_{n/s}^3(p)$ боғлиқликка эришилади, бу дегани ростлагични амалга ошириш масаласида

кузатишдардан фойдаланишнинг зарурий шarti оператор $a_{n/s}(p) + a_{s-1}^{\circ}(p) + h_{s-1}(p)$ нинг турғунлик шarti ҳисобланади. Бу ерда олдиндан объект (2.40) оператори учун $a_n(p) = a_{n/s}(p) + a_{s-1}(p)$ ва модел (2.42) учун $a_n^{\circ}(p) = a_{n/s}^{\circ}(p) + a_{s-1}^{\circ}(p)$ белгилнишлар ишлатилган. Келтирилган шартлар кузатувчи (2.49) ёрдамида бирламчи алгоритм (ростлагич) ни амалга ошириш масаласини ечишда камайишларни тасдиқлайди.

2.3. Ҳолат филтрини қўллаган ҳолда ростлагич куриш

Объект тенгламаси (2.40) кўринишда, мақсад эса юқорида кўрсатилгандек, (2.41), (2.42) нисбатлар кўринишида берилган ҳолатни кўриб чиқамиз. Бу ерда ҳам вектор ҳолатининг қисми - $x_1 = \text{col}[\dots x^{(s-1)}]$, $x_2 = \text{col}[x^{(s)} \dots x^{(n-1)}]$ эса ўлчанмайди деб фараз қиламиз. $c_{n-s}(p) = p^{n-s} + c_{n-s-1}p^{n-s-1} + \dots + c_0$ турғун операторни киритамиз ва ўхшашлик бўйича

$$(p + c_0)[(p + a_0^1)x + (p + c_0)^{-1}\bar{a}_0^{-1}x] = (p + c_0)(b_0^1u + (p + c_0)^{-1}b_0^{-1}) + (p + c_0)f \quad (2.41)$$

(2.40) объект тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз

$$c_{n-s}(p)\left[a_s^1(p)x + \bar{a}_{n-s-1}^1(p)\frac{k_c}{c_{n-s}(p)}\right]x = c_{n-s}(p)\bar{b}_m^1(p)\frac{k_c}{c_{n-s}(p)}u + c_{n-s}(p)f,$$

бу ерда ҳар қандай $c_{n-s}(p)$ ва k_c операторлар $a_s^1(p)$, $\bar{a}_{n-s-1}^1(p)$, $\bar{b}_m^1(p)$ қуйидаги нисбатдан ягона шаклда аниқланади

$$a_n(p) = c_{n-s}(p)a_s^1(p) + k_c\bar{a}_{n-s-1}^1(p), \quad b_m(p) = k_c\bar{b}_m^1(p),$$

экспоненциал йўқолувчи f функция $c_{n-s}(p)f = 0$ тенгликни қониктиради. $f \equiv 0$ умумийликни чегарасизлигини фараз қилиб ва $c_{n-s}(p)$ операторга объект тенгламасининг ўнг ва чап томонини қискартириш орқали қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$a_s^1(p)x + \bar{a}_{n-s-1}^1(p)x = \bar{b}_m^1(p)u. \quad (2.42)$$

бу ерда

$$\begin{aligned} c_{n-s}(p)\bar{x} &= k_c x, \\ c_{n-s}(p)\bar{u} &= k_c u. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Шубҳасиз, (2.42), (2.43) объект тенгламасини янги кўринишда тасвирлаш учун кенгайтирилган вектор ҳолатини

$$\bar{x} = \text{col}[x \dots x^{(s-1)} | \bar{x} \dots \bar{x}^{(n-s-1)} | \bar{u} \dots \bar{u}^{(n-s-1)}]$$

$c_{n-s}(p)$ операторнинг шахсий ҳаракатларини экспоненциал сўнувчи динамикасигача, аниқлик билан шакллантириш мумкин. Янги ҳолат вектори $\bar{x}$ ва $x = \text{col}[x_1 | x_2]$ эски ҳолат векторини орасидаги тузилишда чизиқли алоқа мавжуд. Сўнггра, ўхшашлик бўйича янги ўзгарувчиларга (2.43) σ тенгламаси учун

$$\sigma = b_1 \dot{u} + \beta_0 u - \alpha_0^2 x - \alpha_0^3 \bar{x} - \alpha_0^4 \bar{u} - 12g, \quad (2.44)$$

қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\sigma = \beta_m(p)u - \alpha_{s-1}^2(p)x - \alpha_{n-s-1}^3(p)\bar{x} - \alpha_{n-s-1}^4(p)\bar{u} - b_0^3 g.$$

Бу ердан амалга оширилувчи ростлагич тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$r_m^1(p)u = r_{s-1}^2(p)x + r_{n-s-1}^3(p)\bar{x} + r_{n-s-1}^4(p)\bar{u} + b_0^3 g. \quad (2.45)$$

σ боғланмайдиган ифода билан (2.45) тенглама йиғиндисини олгандан кейин статик модел хатолигини намунали тасвирига келамиз

$$\sigma = (\bar{\Delta} + \bar{\Gamma})^T \bar{z} \quad (2.46)$$

номаълум параметрли кенгайтирилган векторли

$$\bar{\Delta} = \text{col}[\beta_0 \dots \beta_m | -\alpha_0^2 \dots -\alpha_{s-1}^2 | -\alpha_0^3 \dots -\alpha_{n-s-1}^3 | -\alpha_0^4 \dots -\alpha_{n-s-1}^4],$$

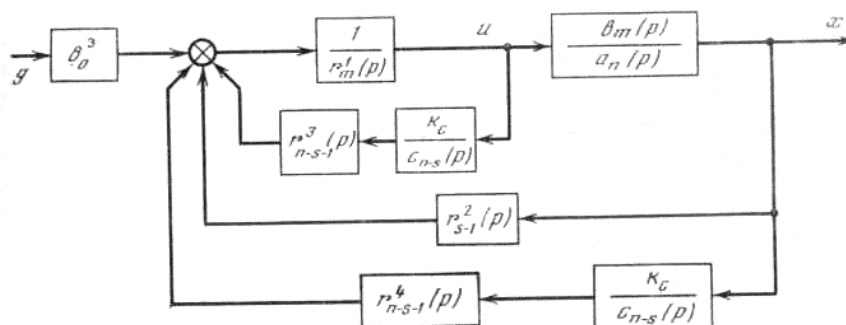
(2.45) ростлагични созловчи параметрлари

$$\bar{\Gamma} = \text{col}[-r^1 | \bar{r}^2 | r^3 | r^4] = \text{col}[-r_0^1 \dots -r_m^1 | r_0^2 \dots r_{s-1}^2 | r_0^3 \dots r_{n-s-1}^3 | r_0^4 \dots r_{n-s-1}^4]$$

ва координаталар

$$\bar{z} = \text{col}[u | x_1 | \bar{x}_2 | \bar{u}_2] = \text{col}[u \dots u^{(m)} | x \dots x^{(s-1)} | \bar{x} \dots \bar{x}^{(n-s-1)} | \bar{u} \dots \bar{u}^{(n-s-1)}]. \quad (2.47)$$

(2.46) нисбатдан ҳолат филтрини қўллаган ҳолда ростлагич қуришни амалга ошириш схемаси фойдадан ҳоли эмас. Бундай тизимнинг асосий контурини структураси 2.5 расмда тасвирланган.



2.5-расм. Ҳолат филтрини қўллаган ҳолда асосий контурни структуравий схемаси

Ўлчанмайдиган вектор x_2 ва кенгайтирилган вектор ҳолати $\bar{x}$ координаталари орасидаги аниқ боғлиқликни ўрнатиш учун $x^{(s)}$, $\bar{x}^{(n-s)}$ ва $\bar{u}^{(n-s)}$ катта ҳосилаларга нисбатан (2.42) ва (2.44) тенгламаларни ечиш зарур, иккинчи ва учинчидан $\bar{x}^{(n-s)}$ ва $\bar{u}^{(n-s)}$ тенгламалар натижаси учун кетма-кет алмаштириш ҳисобига, улардан биринчисини $(n-s-1)$ – қисқа дифференциаллашни амалга ошириш зарур. Кўрсатилган ўзгаришлар механизми жуда йирик ҳисобланиб ва бу ерда келтирилмаган.

Олинган тизмни структураларига мурожаат қила туриб, шуни англаш кийин эмаски, (2.49) кузатувдан фойдаланган ҳолда асосий контурни умумий динамик тартиби $2n+m$ бўлиб қолди, (2.43), (2.45) ўхшаш ҳолат филтрларини қўллашда эса $-2n+m-s$. Аммо ростлагичларни чегаравий тузатишлар натижасида (2.40) объектини чиқишида n – чи тартибли (2.42) эталон модели динамикасига жавоб берувчи, сигнал айланиши зарур. Бу шуни англатадики, тизимнинг олинган структураси (2.41) ростлагични ҳолати сингари, чиқиш бўйича қисман назоратга олинмаган. Бошқача қилиб айтганда, қурилган асосий контурни узатиш функциясида умумий сурат ва махражларучун оператор кўпайтирувчилар мавжуд. Бунда кўрсатилган

кўпайтирувчилар турғун бўлиши зарур ва биринчи ва иккинчи ҳолатларга мувофиқ n ва $n-s$ қаторларга эга бўлиши керак. Схемада кузатишларнинг мавжудлигига ишониш қийин эмас. Ҳақиқатдан ҳам, (2.45) га мувофиқ (2.50) курилган ростлагич қийматига ўрнатилувчи қуйидагига эга бўламиз:

$$b_n(p)u = (a_{s-1}(p) - a_{s-1}^3(p))x + \left(a_{n-\frac{1}{s}}(p) - a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) \right) x_n + b_0^3 g. \quad (2.48)$$

Бу тенгламани объект тенгламасига қўйиш орқали қуйидаги тенгликка келамиз

$$(a_n(p) + a_{s-1}^3(p) - a_{s-1}(p))x + \left(a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) - a_{n-\frac{1}{s}}(p) \right) x_n = b_0^3 g. \quad (2.49)$$

Агар (2.49) $a_n^3(p) + h_{s-1}(p))x_n = b_0^3 g + h_{s-1}(p)x$, га мувофиқликни ҳисобга олсак, унда оператор $a_n^3(p) + h_{s-1}(p)$ га олдин келтирилган кўпайтирувчидан кейин қуйидагини оламиз:

$$\begin{aligned} & a_n^3(p)(a_n(p) + a_{s-1}^3(p) - a_{s-1}(p))x \\ & + h_{s-1}(p) \left(a_n(p) + a_{s-1}^3(p) - a_{s-1}(p) + a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) - a_{n-\frac{1}{s}}(p) \right) x \\ & = \left(a_n^3(p) - a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) + a_{n-\frac{1}{s}}(p) + h_{s-1}(p) \right) b_0^3 g. \end{aligned}$$

Қуйидаги тенгликларни ҳисобга олган ҳолда:

$$\begin{aligned} & (a_n(p) + a_{s-1}^3(p) - a_{s-1}(p) + a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) - a_{n-\frac{1}{s}}(p)) = a_n^3(p) \\ & a_n^3(p) - a_{n-\frac{1}{s}}^3(p) + a_{n-\frac{1}{s}}(p) = a_{\frac{n}{s}}(p) + a_{s-1}^3(p), \\ & (a_n(p) + a_{s-1}^3(p) - a_{s-1}(p)) = a_{\frac{n}{s}}(p) + a_{s-1}^3(p), \end{aligned}$$

Керакли натижага келамиз

$$a_{\frac{n}{s}}(p) + a_{s-1}^3(p) + h_{s-1}(p))a_n^3(p)x = (a_{\frac{n}{s}}(p) + a_{s-1}^3(p) + h_{s-1}(p))b_0^3 g. \quad (50)$$

Ҳақиқатдан ҳам, оператор $a_{\frac{n}{s}}(p) + a_{s-1}^3(p) + h_{s-1}(p)$ тахмин бўйича тенгламанинг ўнг ва чап томонини қисқартириш орқали турғунликка эталон моделини $a_n^3(p)x = b_0^3 g$. ифодасига келамиз.

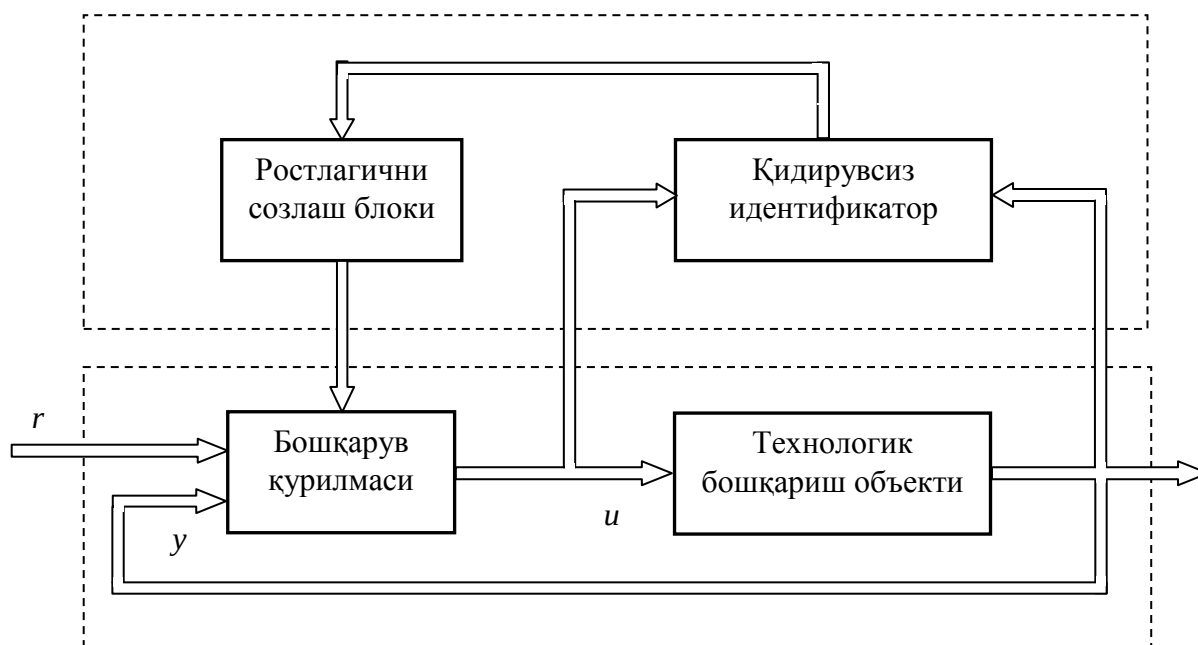
Ҳолат филтридан қўлланилувчи ростлагични амалга ошириш схемасининг аниқ қиймати схема билан солиштирилишида, кузатувдан фойдаланувчилигида, унинг зарарсизлигидадир. Буларнинг тўғри йўналган сабаби, бу, кузатувга қараганда, филтрлар учун тизимнинг асосий контурини ишлаш кўрсаткичларини анча юқорилиги ҳисобланади. Бироқ филтрли схема камчиликларга ҳам эга. Улардан энг асосийси (2.50) ростлагич билан солиштиришда (2.45) созланган ростлагич параметрларининг $n - s$ сонига ошиши ҳисобланади, бу ерда тузатилувчи параметрларнинг $n + m + 1$ сони (2.46) ростлагич учун ҳам ўша ўша бўлиб қолади. Бундан ташқари, агар (2.40) объект тенгламасини бошланғич тасвири учун параметралрни бир қисми маълум ва (2.46) ва (2.50) ростлагичларда тузатиш векторини ҳажми пасаяди, унда (2.43) филтрли (2.45) ростлагичда тузатувчи параметрларнинг $\bar{r}$ вектор ҳажмини камайтириш мумкин эмас. Ҳақиқатдан ҳам, x_2 ва $\bar{x}$ векторлани боғловчи матрица, объектнинг бошланғич параметрига боғлиқ. Бу ердан (2.40) объектнинг қисман номаълум таърифи (2.45) тўлиқ аниқ бўлмаган ростлагич параметрига ўтказилади. Шу вақтда (2.45) ростлагич $\bar{r}$ вектор параметрини тузатмалар орасида (2.46), (2.50) ростлагичдаги $\bar{r}$ вектор ҳажмигача созланувчи параметрларнинг вектори ҳажми шунчалик камайтишини ҳисобга олувчи боғлиқлик мавжуд. Лекин (2.42), (2.43) кўринишдаги объектни тасвирлаш учун параметрларни қайта ҳисоблаш тенгламаси, шундай мураккаб ҳисобланадики, ҳатто амалиётда бундай масалани ечиш мақсадга мувофиқ эмас. Бироқ мувофиқ келувчи қайта ҳисоблаш тенгламаларини амалга оширилувчи ростлагични ортиқча параметрларини оддий кўринишда ва уларни амалга оширишда ҳисобга олинишини мавжудлиги, объект тенгламаси учун шундай янги аниқликни тасвирлаш масаласини ечиш ва маъносини тасвирлашга эга.

2.5. Ростлагичнинг созлаш параметрларини баҳолаш алгоритмлари

Ҳозирги кунда технологик жараёнларни бошқаришда, хусусан динамик объектларни бошқариш системаларини текширишда [2,4,5,7] адаптив алгоритмларга бир қатор талаблар қўйилади. Бунга қуйидаги талаблар киради:

- қўйилган талабларни шундай вақт оралиғида бажариш керакки объектнинг чиқишдаги катталиги деярли ўзгармасин;
- дастурнинг турли босқичдаги дастур маълумотларини қайта ишлаши учун кетувчи вақт оралиғидаги интервалини ростлаш ва энг муҳими турли хизматларни бажариш учун қўйилан талабларни бажарсин;
- ўрнатилган ва ўтиш тартибида адаптив аниқликка қўйиладиган талабларни бажарсин.

Технологик жараёнларни бошқаришнинг адаптив системасининг умумий структуравий схемаси 2.6- расмда келтирилган.



2.6 - расм. Икки сатхли адаптив бошқариш системасининг структурали схемаси.

Объектнинг математик модели куйидаги кўринишда бўлади:

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= F_1(x_t, u_t, \xi'_t, \Theta), \\ Y_t &= F_2(x_t, \xi''_t, \Theta), \end{aligned} \quad (2.51)$$

бу ерда $F_1(\cdot), F_2(\cdot)$ - баъзи функциялар; ξ'_t, ξ''_t - объект ва ўлчаш жараёнига таъсир кўрсатувчи ғалаёнлар.

Адаптация ва ростлаш алгоритми ҳам ростлаш ҳолати каби ёзилади:

$$\begin{aligned} u_t &= U(u_{t-1}, x_t, g_t) \\ g_{t+1} &= Y(g_t, x_t, u_t), \end{aligned} \quad (2.53)$$

бу ерда g_t - ростлаш коэффициентини созлаш вектори.

Бундан кўринадики бутун системанинг динамикаси (2.51) ва (2.53)-тенгламада келтирилган, $F_1(\cdot), F_2(\cdot)$ функция аниқликдан то ноаниқ параметр Θ гача берилган, $U(\cdot), Y(\cdot)$ функцияси эса аниқловчига тегишли.

Ростлаш вазифасини аниқ қўйилиши ёки объект стабиллиги ўлчанмайдиган шовқин ξ_t [21,32,45] ҳақидаги мавжуд маълумотларни тавсифлайди.

Стохастик ҳолатларда $\xi_t (\xi_t = \{\xi'_t, \xi''_t\})$ шовқинлари (2.51) ва (2.52) мос равишда тасодифий деб ҳисоблаймиз, марказлаштирилган ($M\xi_t = 0$), $M\xi_t^2 = \sigma^2$ билан бир хил дисперсияга эга ва улар ҳар хил вақтлар оралиғида бир биридга боғлиқ эмас. Бунда y_t, u_t катталиклари ҳам тасодифий ҳисобланади. Шунинг учун стабилликни сифат кўрсаткичини, ўрнатилган ҳатолик аҳамиятини ўртача кўринишида бериш лозим [19,22]:

$$J_1(\{u_t\}) = \lim_{t \rightarrow \infty} M[Q(y_t, u_t)],$$

бу ерда $[Q(y_t, u_t)] \geq 0$ – икки ўзгарувчи квадрат шакли.

Детерминирлашган ҳолатида эса ξ_t – ягона шартга бўйсинувчи чекланган ихтиёрий кетма-кетлик

$$|\xi_t| \leq \Delta_\xi, \quad t=0,1,\dots$$

сифат кўрсаткичи остида барча шундай кетма-кетликдаги ўрнатилган максимал аниқланган хатолик тушинилади:

$$J_2(\{u_t\}) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sup_{|\xi_t| \in \Delta_\varepsilon} Q(y_t, u_t).$$

(2.51) динамик масалаларни адаптив оптимал бошқариш, (2.52) кетма-кетликларни маълум ўзгарувчилар синтезини мавжуд бошқарув $\{u(t)\}$ ва объектларни шундай кенг синфни ажратиб олиш керакки, у ўз навбатида ёпиқ система $y(t)$ синфидаги траекториянинг барча объектлари қайсидир маънода $y^0(t)$ системанинг оптимал траекториясига яқинлашиши керак яъни

$$J_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} \{y(t) - y^0(t)\}^{p-1} = 0, \quad (2.54)$$

Юқорида назарда тутилганларидан кўриниб турибтики [2,4,19], (2.54) функция адаптацияга нисбатан маъно йўқотиши мавжуд, бу йўқотиш (2.51) ва (2.52) тенгламаларда тажрибага асосланган маълумотларнинг етарли эмаслиги билан боғлиқ.

Буни ҳисобга олиб юқорида қўйилган масалаларни қуйидагича изохлаш мумкин: бошқарувга таъсир қилувчиларни кетма-кетлигини куриш зарурати, бунда вақт ўсиши билан адаптивлик йўқотилиши нолга тенглаштирилади. Қидирилаётган тахлил муҳимлигини ҳисобга олиб, шунингдек юқорида эслатиб ўтилган [2,6,22] шартлар асосида турли хил ростлашни тажрибавий адаптациясини тахлили муҳимлигини кўриб чиқиб, шуни айтиш мумкинки (2.54) га ўхшаш меъзонлар система тирғунлиги учун деярли ҳар бир траекторияда адаптацияни оптималлигини таъминлаб боради. Ишларни олиб бориш жараёнида, шунингдек адаптив системанинг оптималлик меъзон траекторияси деб номланувчи алгоритми келтирилади. (2.54) меъзондан фойдаланиш объектни бошқариш ва реал вақт бирлигида фойдаланиш анча қулай ҳисобланади, чунки бошқариш жараёнини кўп бора

такрорлашни талаб этмайди. Юқоридагиларни инобатга олиб, бошқарушни оптимал тўғирлаш алгоритмини қуйидагича келтириш мумкин:

$$G = L^+ N + (I - L^+ L) Z,$$

бу ерда $N \in (R_1 \rightarrow R_3)$, $G \in (R_1 \rightarrow R_2)$, $L \in (R_2 \rightarrow R_3)$, $Z \in (R_1 \rightarrow R_2)$ – баъзи векторлар.

2.6. Дискрет ПИД ростлагичининг параметрик синтези

Юқорида таъкидлаб ўтилган ростлагичнинг асосий параметрик схемалари қанчалик самарали эканлигини текшириш учун суғоришга оид системаларни моделини тузишамиз. Динамик характеристикаларини аниқлаш ёки объектни структураси ва физик-кимёвий хусусияти билган ҳолда тенгламалар тузиш, ёки киришдаги турли ғалаёнларни системадаги реакциясини аниқлаш, ёки статистик материалларни қайта ишлаш (яъни технологик ускуналарнинг нормал фойдаланиш жараёнида йиғилгани) билан аниқлаш мумкин.

Сув тарқатиш системасини биринчи усулда қўллаш суғорилувчи каналларда маълум қийинчиликлар туғдирганлиги сабабли бошқариш объекти сифатида кам ўрганилаётган технологик жараёнларни ўзаро боғлаб ўрганиш зарур.

Реал диапазонда объектнинг динамик характеристикалари яъни поғонали ғалаёнга таъсирини ўрганиш орқали ўзгариб кетган технологик параметрларни аниқлаш осон. Тажриба натижасида олинган аниқликлар асосий аҳмият касб этади ва уни тўғри ташкил этишга боғлиқ ва тажрибани аниқлик билан ўтказилишини талаб этади.

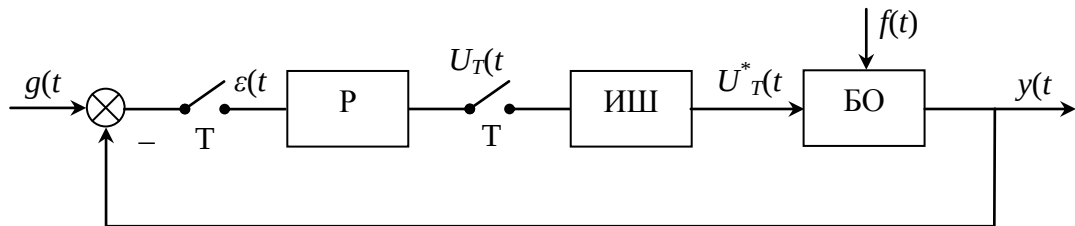
Аниқлик даражасини ошириш мақсадида бошқаришда дискрет ПИД ростлагичи ишлатилади. 2.7-расмда ростлагич схемасида «чиқишдаги сув сарфи – сув чиқиш олди тўғоннинг сув усти катталиги» канал бўйича

ростлагич алгоритмини келтирамиз. Бу канал бўйича узатиш функцияси куйидагича:

$$W_0(p) = \frac{k_0}{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)},$$

бу ерда $k_0 = 1,0$, $\tau_1 = 0,7$ мин, $\tau_2 = 0,3$ мин.

Дискрет системанинг структур схемаси куйидагича:



2.7-расм. Дискрет системани структуравий схемаси:

Р – ростлагич; ИШ – тўғри бурчакли импульслар шакиллантирувчи; БО – бошқариш объекти; $\xrightarrow{\text{switch}} \xleftarrow{\text{switch}}$ – импульсли элемент (квантловчи); $g(t)$ – киритилаётган таъсир кўрсатгич; $\varepsilon(t)$ – система хатолиги; T – квант такти; $U_T(t)$ – жадвал функция кўринишидаги бошқариш сигнали; $U^*_T(t)$ – тўғри бурчак кўринишидаги бошқариш сигнали; $f(t)$ – ғалаён таъсири; $y(t)$ – ростлаш катталиги.

ПИД бошқариш қонуниятини таъминловчиси дискрет ростлагичининг узатиш функцияси куйидагича:

$$W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}.$$

Биринчи тартибли объектдаги узатиш функциясини 2 та звенога бўлиб оламиз:

$$W_0(p) = \frac{k_0}{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)} = W_1(p) \cdot W_2(p) = k_0 \cdot \frac{1}{\tau_1 p + 1} \cdot \frac{1}{\tau_2 p + 1}$$

Хар бир узатиш функцияси учун дифференциал тенгламага эга бўламиз ва уни Коши кўринишида ёзиб оламиз:

$$W_1(p) = \frac{x_1(p)}{U(p)} = \frac{1}{\tau_1 p + 1}$$

$$x_1(p)(\tau_1 p + 1) = U(p)$$

$$\tau_1 x_1(p)p + x_1(p) = U(p)$$

$$\tau_1 \dot{x}_1(t) + x_1(t) = U(t)$$

$$\tau_1 \dot{x}_1(t) + x_1(t) = U(t)$$

$$\dot{x}_1(t) = \frac{U(t) - x_1(t)}{\tau_1}$$

Кейинги звено учун:

$$\dot{x}_2(t) = \frac{x_1(t) - x_2(t)}{\tau_2}.$$

$t=0$ вақт оралиғида бошланғич шартлар нолга тенг бўлади. Бошқаришдаги кириш сигнали $U(t)$ ни ростлагичдан оламиз, чиқиш катталикларини кетма кетлик билан ҳар бир звеносини бирин кетин ҳисоблаб борамиз. $t + \Delta t$ вақт оралиғида ҳар бир звено чиқиш сигналинини ҳисоблаймиз, яъни уни мохиятини тушиниб ва уни t вақт оралиғидаги ҳосиласини мохиятини Эйлернинг итерация усули ёрдамида аниқлаймиз. Усулнинг мохияти шундаки, Δt вақт давомида унинг ҳосиласи унчалик сезиларли даражада ўзгармайди ва уни Δt вақт оралиғида ўзгармас деб қаралади, шу тариқа уни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + \dot{x}(t)\Delta t.$$

Ундан кейин Кошининг дифференциал тенгламасига асосан янги тенгламалар тузиб чиқамиз ва ҳар бир вақт интервали учун итерацияни такрорлаймиз. Бошқариш ростлагичининг дискрет алгоритмини ПИД ростлагичидан оламиз. Ростлаш тенгламасининг аналог кўриниши қуйида келтирилган:

$$U(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_2 \int \varepsilon(t) dt + k_3 \dot{\varepsilon}(t).$$

Бирор бир ҳисоблашни интеграл ифода усулидан фойдаланиб (бу ишда – тўғри бурчаклар усули) ва ҳосила аппроксимациясидан (бу ишда – турли

чизикли усуллардан) биз ихтиёрий $t=m_t$ вақт учун қуйидаги тенгламани ёзишимиз мумкин:

$$U(m) = k_1 \varepsilon(m) + k_2 \sum_{i=1}^{i=m} T \varepsilon(i-1) + k_3 \frac{\varepsilon(m) - \varepsilon(m-1)}{T}. \quad (2.56)$$

Ҳар бир такт учун интеграл ечимини чиқариш анча машаққат талаб этувчи жарён ва биз тенгламаларни рекуррент кўринишига ўтказишимиз керак бўлади. (2.46) тенгламани $m-1$ вақт моменти учун ёзамиз:

$$U(m-1) = k_1 \varepsilon(m-1) + k_2 \sum_{i=1}^{i=m-1} T \varepsilon(i-1) + k_3 \frac{\varepsilon(m-1) - \varepsilon(m-2)}{T}. \quad (2.57)$$

(2.56) тенгламадан (2.57) тенгламани келтириб чиқарамиз:

$$U(m) - U(m-1) = k_1 (\varepsilon(m) - \varepsilon(m-1)) + k_2 T \varepsilon(m-1) + k_3 \frac{\varepsilon(m) - 2\varepsilon(m-1) + \varepsilon(m-2)}{T}$$

Тенгламани стандарт кўринишига келтириб оламиз:

$$\begin{aligned} U(m) &= U(m-1) + k_1 \varepsilon(m) - k_1 \varepsilon(m-1) + k_2 T \varepsilon(m-1) + \varepsilon(m) \frac{k_3}{T} - \varepsilon(m-1) \frac{2k_3}{T} + \varepsilon(m-2) \frac{k_3}{T} = \\ &= U(m-1) + \left(k_1 + \frac{k_3}{T}\right) \varepsilon(m) + \left(k_2 T - k_1 - \frac{2k_3}{T}\right) \varepsilon(m-1) + \frac{k_3}{T} \varepsilon(m-2) = \\ &= U(m-1) + q_0 \varepsilon(m) + q_1 \varepsilon(m-1) + q_2 \varepsilon(m-2), \quad \ddot{a} \ddot{a} \ddot{a} \\ q_0 &= k_1 + \frac{k_3}{T} \\ q_1 &= k_2 T - k_1 - \frac{2k_3}{T} \\ q_2 &= \frac{k_3}{T} \end{aligned}$$

Ҳар бири учун ростлагичнинг дискрет узатиш функциясига эга бўламиз:

«Z» мусбат даражасини қуйидагича ёзамиз:

$$W_{\ddot{a} \ddot{a} \ddot{a}}(z) = \frac{U(z)}{\varepsilon(z)} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}} \cdot \Big|_{z^2} = \frac{q_0 z^2 + q_1 z + q_2}{z^2 - z}$$

Дискрет ростлагич ўз таъсирини, калитда қисқа туташув содир бўлганида m_t вақт оралиғида кўрсатади. Объектнинг бошқаруви узлуксиз бўлиши учун унга узлуксиз бошқариш таъсири берилиши керак. Калитда қисқа туташув содир бўлса «0»- каторли интерполятори эслаб қолади ва $U_T(t)$ катталигини чиққишда сақлаб қолади.

Ростлагичга бошланғич коэффициентларига q_0 , q_1 , q_2 бўлган катталикларини берамиз. Ўтиш жараёнини моделлаштиришда оптималлаш меъзони I интегралини ҳисоблаймиз, тўғри бурчак усулини ишлатамиз. Трапеция усулидан фарқи шундаки трапеция усулида биринчи ва охири катталикларини фақат ярими олинади. Кўплаб қисмларга ажратиб ташланган ҳолда ҳам аниқлик йўқолиши унчалик катта эмас

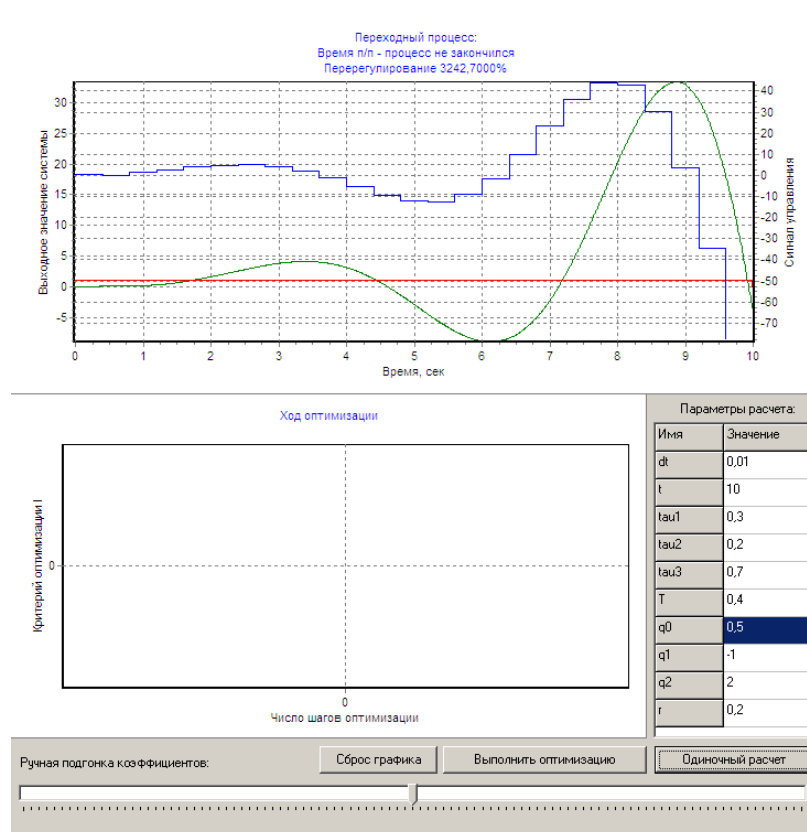
$$I(t+dt) = I(t) + \left(\varepsilon^2(t) + r \cdot (1 - U(t))^2 \right) dt$$

Моделлаштиришни якунлаганидан кейин оптимал меъзон қиймати I ни оламиз,

$$I(q_0, q_1, q_2)$$

у ўз навбатида q_0 - q_2 коэффициентларига боғлиқ. I катталигини Хуга-Дживснинг минималлаш усулига асосан минималлаштирамыз.

2.8 расм ва 2.9 расмларда ростлагичнинг бошланғич қиймат коэффициентлари билан ўтиш жараёнлари келтирилган:



2.8-расм. Коэффициентлари бошланғич қийматли ($q_0=0,5$, $q_1=-1$, $q_2=2$) ростлагичнинг ўтиш жараёни.

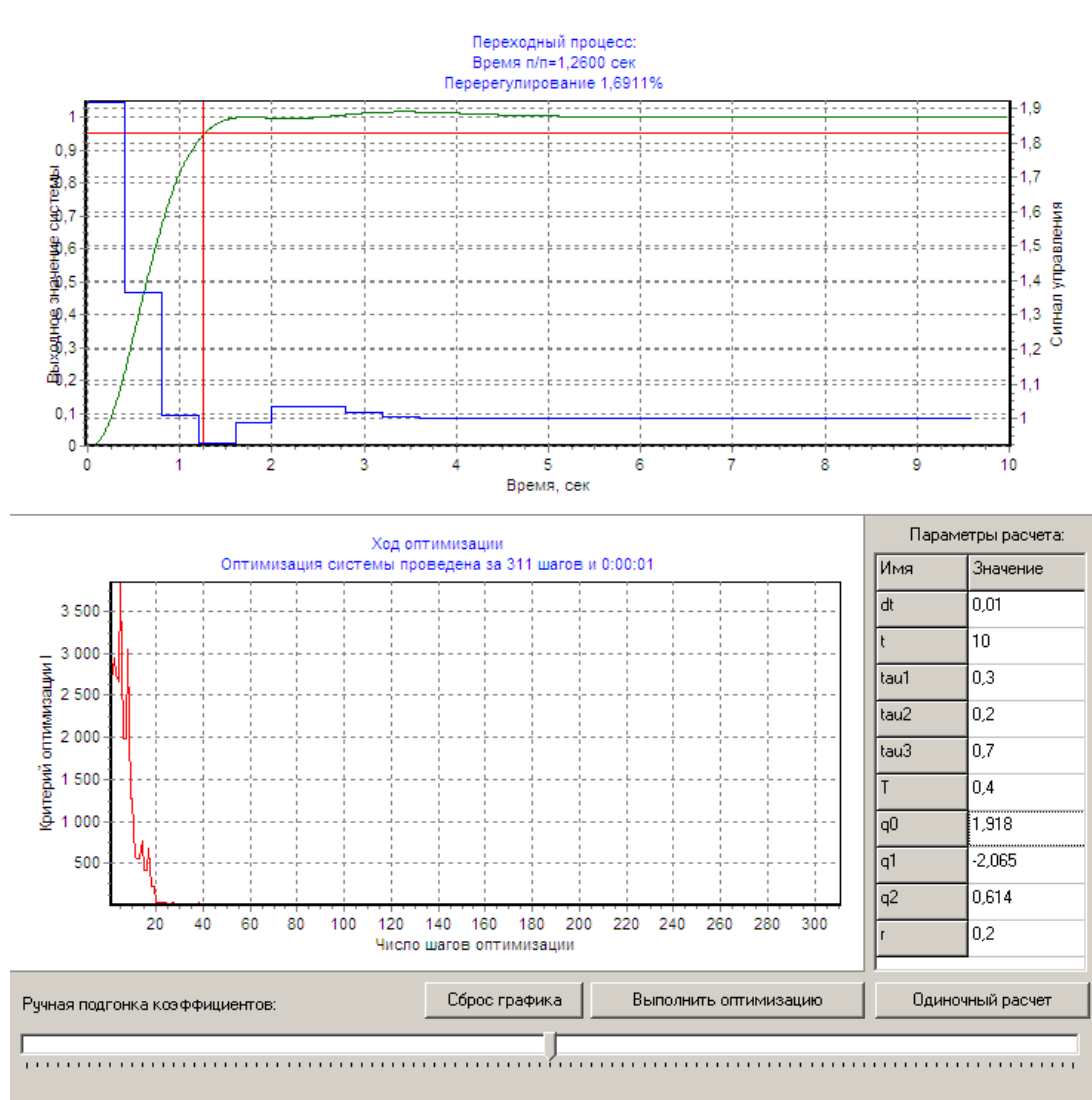


Рис.2.9. Коэффициентлари бошланғич қийматли ($q_0=1,918$, $q_1=-2,065$, $q_2=0,614$) ростлагичнинг ўтиш жараёни.

Х У Л О С А

1. Динамик объектларни бошқариш системасининг синтезлаш масаласи ва алгоритмлари таҳлил қилинди.
2. Динамик объектларнинг структуралари ва моделлар тўпламларини тавсифланди.
3. Бошқариш системаларини синтезлашнинг типик алгоритмлари кўриб чиқилди.
4. Тўлиқ тартибли кузатиш ва ҳолат фильтридан фойдаланиш асосида ростлагични қуриш алгоритмлари келтирилди.
5. Адаптив ростлагичнинг созлаш параметрларини баҳолаш алгоритмлари олинди.
6. Суғориш каналларида узлуксиз технологик жараёнларда дискрет ростлагични параметрик синтезлаш амалга оширилди.

АДАБИЁТЛАР

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 712 с.
2. Антонов В., Терехов В., Тюкин И. Адаптивное управление в технических системах. Учебное пособие. –С-Пб: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2001. – 244 с.
3. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом. – М.: Наука, 1987. - 260 с.
4. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. -М.: Наука, 1981. - 448 с.
5. Коган М.М., Неймарк Ю.И. Адаптивное управление: Учебное пособие. - Горький.: Изд-во ГГУ, 1987. - 194 с.
6. Цыкунов А.М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу. –М.: Физматлит, 2009. - 268с.
7. Егупова Н. Д., Егупов Н. Д., Пупков К. А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. –М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 744 с.
8. Абакумов И.С., Безаева Л.Г., Домрачев С.А., Завьялов В.Е., Малов К.В., Павлов А.Н., Перчук Е.Е., Сафронова Т.Е. Информационные технологии управления. –М.: РАГС, 2006. - 206 с.
9. Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. –М.: Наука, 2003. - 282 с.
10. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – С-Пб.: Наука, 2000.
11. Решетняк Е.П. Субоптимальная адаптивная дискретная линейная система управления с эталонной моделью // Изв. АН. Техническая киб-ка, №3, 1992. С.11-16.
12. Кунцевич В.М. Адаптация и робастность в системах управления // Изв. Российской АН. Техн. киб-ка. №3, 1993. С.91-102.
13. Александров А.Г., Орлов Ю.Ф. Частотное адаптивное управление многомерными объектами // АиТ, №7, 2006. С.104-119.
14. Немировский А.С., Цыпкин Я.З. Об оптимальных алгоритмах

- адаптивного управления // АиТ, № 12, 1984. С.64-77.
15. Соколов В.Ф. Адаптивное субоптимальное управление в случае ограниченной помехи // АиТ, № 9, 1985. –С.78-86.
 16. Кульчицкий О.Ю. Адаптивное управление линейными динамическими объектами с помощью модифицированного метода наименьших квадратов // АиТ, № 1, 1987. С.89-105.
 17. Миркин Е.Л., Шаршеналиев Ж.Ш. Синтез адаптивных систем управления с вспомогательной моделью для объектов с запаздыванием в управлении // АиТ. 2010. № 11. С.159–171.
 18. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. -М.: Наука, 1980. – 284 с.
 19. Деревицкий Д.П., Фрадков А.А. Прикладная теория дискретных адаптивных систем управления. -М.: Наука, 1981. - 216 с.
 20. Ворчик Б.Г. Идентификация линейных параметрических стохастических систем // АиТ, №7, 1985. С.96-105.
 21. Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Зарипов О.О. Регулярные методы оценивания и управления динамическими объектами в условиях неопределенности. – Т.: ТашГТУ, 2012. - 320 с.
 22. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. // Под. ред. Я.З.Цыпкина. -М.: Наука. 1991.–432 с.
 23. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах // Под ред. Леондеса К.Т. Пер. с англ. -М.: Мир, 1980. - 407 с.
 24. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. -М.: Энергоатомиздат, 1987. - 80 с.
 25. Синицын И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева. –М.: Логос, 2006. –640с.
 26. Натяганов В.Л., Лужина Л.М. Методы решения задач с параметрами: Учебное пособие. –М.: МГУ, 2003. – 367 с.
 27. Фурасов В.Д. Задачи гарантированной идентификации. Изд-во: Бином. Лаборатория знаний, 2005. - 152 с.
 28. Карабутов Н.Н. Адаптивная идентификация систем. Информационный синтез. –М.: КомКнига, 2006. - 384 с.
 29. Пашенко Ф.Ф. Введение в состоятельные методы моделирования систем. В 2-частях. Часть 2. Идентификация нелинейных систем. –М.: Финансы и

статистика, 2007. -288 с.

30. Рутковский В.Ю., Земляков С.Д., Суханов В.М., Глумов В.М. Некоторые новые направления развития теории и применения адаптивного координатно-параметрического управления // Control sciences №2, 2003. С.2-10.
31. Горяинов В.Б., Горяинова Е.Р. Непараметрическая идентификация пространственной модели авторегрессии в условиях априорной стохастической неопределенности // АиТ, №2, 2010. С.31-40.
32. Димаки А.В., Светлаков А.А. Регуляризация решения задачи идентификации при использовании алгоритма чувствительности // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т.314. №5. С.27-31.
33. Корноушенко Е.К., Ядыкин И.Б. Идентификация, адаптивное управление и диагностирование динамических объектов и систем на основе метода наименьших квадратов // АиТ, №12, 1988. С.116-127.
34. Илюшин В.Б., Чадеев В.М. Алгоритм идентификации динамических объектов с учетом априорной информации о параметрах // АиТ, №7, 2006. С.133-143.
35. Булычева Е.Ю., Булычев Ю.Г., Бурлай И.В. Декомпозиционный подход к решению плохо обусловленных задач параметрической идентификации // Известия РАН. Теория и системы управления, 2004. №5. С.28-31.
36. Сысоев Л.П. Рекуррентное оценивание параметров и ковариаций наблюдений в многомерных системах при специальной структуре ковариаций // АиТ, № 9, 2000. С.60-72.
37. Гетманов В.Г., Жиров М.В., Шаховской А.В. Алгоритм идентификации для линейной дискретной динамической системы управления // АиТ, № 4, 2001. С.27-34.
38. Корсун О.Н. Алгоритм идентификации динамических систем с функционалом в частотной области // АиТ, №5, 2003. С.111-121.
39. Жиров М.В., Макаров В.В. Адаптивная идентификация нестационарных технологических процессов с марковскими параметрами в задачах стохастического управления // АиТ, № 2, 2002. С.56-70.
40. Костоглотов А.А., Таран В.Н. Субоптимальная оценка параметров динамических систем // АиТ, №4, 1997. С.85-94.

41. Карабутов Н.Н. Структурная идентификация систем. Анализ информационных структур. –М., Изд-во: Либроком, 2009. - 176 с.
42. Пряжинская В. Г., Ярошевский Д. М., Левит-Гуревич Л. К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 496 с.
43. Александров А.Г., Орлов Ю.Ф. Сравнение двух методов идентификации при неизвестных ограниченных возмущениях // АиТ, №10, 2005. С.128-147.
44. Кашьяп Р.А., Рао А.Р. Построение динамических моделей по экспериментальным данным. Пер. с англ. -М.: Наука, 1983. - 384 с.
45. Некорректные задачи естествознания // Под ред. А.Н.Тихонова, А.В.Гончарского. -М.: Изд-во Москв. ун-та, 1987. - 299 с.
46. Мутанов Г.М., Сыздыков Д.Ж., Узденбаев Ж.Ш., Кылышканов М.К. Синтез адаптивных алгоритмов управления непрерывными технологическими процессами. Монография. Усть-Каменогорск, 2006.
47. Рульников А.А., Евстафьев К.Ю. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: Учебник. – М.: ИНФРАМ, 2007. – 205 с.
48. Бочкарев Я.В. Локальные системы стабилизации водоподачи на оросительных системах / В.Я.Бочкарев, О.В.Атаманова. –Бишкек: Кыргызская аграрная академия, 1977. – 75 с.
49. www.mathnet.ru.
50. www.ziyonet.uz.