

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ҚОДИРОВ ДИЛМУРОД ТЎХТАСУНОВИЧ

**ШАРТЛИ ГАУСС ФИЛЬТРАШ УСУЛИ АСОСИДА СТОХАСТИК
БОШҚАРУВ ОБЪЕКТЛАРИ ҲОЛАТИНИ АДАПТИВ БАҲОЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш
ва бошқариш**

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

Тошкент– 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Қодиров Дилмурод Тўхтасунович

Шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқарув объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари.....3

Қодиров Дилмурод Тухтасунович

Алгоритмы адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.....21

Kodirov Dilmurod Tuxtasunovich

Adaptive evaluation algorithms for the status of stochastic control objects based on condition-gauss filtration methods.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works42

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ҚОДИРОВ ДИЛМУРОД ТЎХТАСУНОВИЧ

**ШАРТЛИ ГАУСС ФИЛЬТРАШ УСУЛИ АСОСИДА СТОХАСТИК
БОШҚАРУВ ОБЪЕКТЛАРИ ҲОЛАТИНИ АДАПТИВ БАҲОЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш
ва бошқариш**

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

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №В2017.2.PhD/Т169 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Игамбердиев Хусан Закирович**
техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар: **Гулямов Шухрат Маннапович**
техника фанлари доктори, профессор

Холматов Даврон Абдуалимович
техника фанлари номзоди, доцент

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

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

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (87 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

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

Н.Р.Юсупбеков

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

У.Ф.Мамиров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

А.М.Назаров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги
Илмий семинар раиси ўринбосари, т.ф.д., доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги вақтларда технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш соҳасида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини баҳолаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу соҳада шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазам алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Шу жиҳатдан шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг хилма-хил усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Жаҳонда динамик объектларни адаптив бошқариш масалаларини ечишга мўлжалланган стохастик бошқариш объектлари ҳолатини баҳолашга йўналтирилган универсал ёндашувни яратиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу боисдан турли шовқин ва ғалаёнли шароитларда шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг усул ва алгоритмларини такомиллаштириш ва модификациялаш муҳим масала ҳисобланади.

Ҳозирги вақтда республикамизда автоматлаштириш ва бошқариш йўналишига, хусусан, турли технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминловчи, такомиллашган бошқариш системаларини яратишга катта эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергиятежамкор технологияларни жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, аниқликни ва бошқариш жараёнининг сифат кўрсаткичларини оширишга имкон берувчи шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг самарали алгоритмларини яратиш жуда муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сон «Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқлари иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян

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

даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича ўтказилган тадқиқотларга тегишли бўлган, сўнгги йиллардаги илмий-техник адабиётлар таҳлили ушбу соҳада аҳамиятли даражадаги назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан дарак беради. Адаптив бошқариш системаларини синтезлаш муаммоларига бағишланган кўп сондаги ишлар нашр этилган, умумназарий мезонлар ишлаб чиқилган, ечилган амалий масалалар сони ортиб бормоқда. Стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш усуллари ривожига кўплаб хорижлик олимлар, жумладан Andreas S.S., Boujema A., Chen R., Glonti O.A., Hans A.K., Ibrahim H., Kalman R., Khechinashvili Z., Liu J.S., Nan C., Peter D., Singh T., Singla P., Terejanu G., Бабич О.А., Барабанов А.Е., Белицер Э.Н., Борисов А.В., Воробейчиков С.Э., Григорьев Г.К., Демин Н.С., Еникеева Ф.Н., Клепцына М.Л., Конев В.В., Корепанов Э.Р., Краснова С.А., Кузнецов Н.А., Липцер Р.Ш., Лепский О.В., Лукомский Ю.А., Миллер Б.М., Мирошников А.Н., Овчаренко В.Н., Панков А.Р., Платонов Е.Н., Полин С.В., Приходько М.Л., Пчелинцев Е.А., Рыбаков К.А., Семаков С.Л., Семенихин К.В., Сергеев И.В., Сеницын И.Н., Стефанович А.И., Уткин А.В., Фрадков А.Л. ва бошқалар, ҳамда мамлакатимиз олимлари, жумладан Азимов Б.М., Бекмуратов Т.Ф., Гулямов Ш.М., Жуманов И.И., Зарипов О.О., Игамбердиев Х.З., Исмаилов М.А., Кадыров А.А., Камалов Н.З., Камилов М.М., Марахимов А.Р., Сиддиқов И.Х., Фозилов Ш.Х., Юсупбеков Н.Р. ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Бироқ илмий-тадқиқот объектлари доирасининг кенгайиши ва доимий мураккаблашуви шартли Гаусс филтрлаш концепцияси асосида ноаниқлик шароитида адаптив идентификациялаш, ҳолатни баҳолаш ва бошқаришнинг янги самарали усул ва алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб этади. Шунингдек, корреляцион шовқинларнинг нопараметрик тавсифида бошқариш объектларини шартли-оптимал филтрлаш ва параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазамлашган алгоритмлари ўз ривожини талаб этмоқда. Бундан ташқари, бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал баҳолашнинг турғун алгоритмларини, бошқарилувчи объектларнинг кенгайтирилган ҳолат векторларини, шунингдек нозикли бошқариш объектлари ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг турғун алгоритмларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқ бўлади. Юқорида келтириб ўтилганлардан шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг самарали мунтазам усуллари ва алгоритмларини яратиш ҳамда келгусида такомиллаштиришнинг жуда зарурлиги келиб чиқади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг № ЁФ-4-06 – «Созланувчи модели адаптив бошқариш системаларини синтезлашнинг мунтазам усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2012-2013), №А-5-42 – «Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуаллаштиришнинг дастурий инструментал воситаси» (2015-2017), №ОТ-Ф4-78 – «Идентификацион ёндашув асосида динамик объектларни адаптив бошқариш системалари синтезининг назарий асослари ва мунтазам усуллари ишлаб чиқиш» (2017-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни амалий қўллашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг усул ва алгоритмлари ривожини тизимли таҳлил қилиш;

корреляцион шовқинларнинг нопараметрик тавсифида бошқариш объектларини шартли-оптимал филтрлашнинг турғун алгоритмларини ишлаб чиқиш;

параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазам алгоритмларини ишлаб чиқиш;

бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал адаптив баҳолашнинг турғун алгоритмларини ишлаб чиқиш;

ночизиқли бошқариш объектлари ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг турғун алгоритмларини ишлаб чиқиш;

аниқ технологик объектнинг адаптив бошқариш системасини синтезлаш масаласини ечишда шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг ҳисоблаш схемалари ва ишлаб чиқилган алгоритмларини амалий синовдан ўтказиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини баҳолаш алгоритмлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини мунтазам адаптив баҳолаш усуллари ва алгоритмларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, идентификациялаш, баҳолаш, адаптив бошқариш ва нокоррект қўйилган масалаларни ечиш усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Гаусс-Зейдел усулининг блокли варианты асосида корреляцион шовқинларнинг нопараметрик тавсифида бошқариш объектларини шартли оптимал филтрлашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилган;

ишораси аниқланмаган ёмон шартланган матрицалар тескарисини аниқлашнинг турғун амаллари асосида параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазамлашган алгоритмлари ишлаб чиқилган;

псевдотескари матрицани қидиришнинг рекуррент алгоритмлари асосида бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал адаптив баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилган;

номанфий аниқланган матрицаларнинг турғун псевдомурожаат концепцияларидан фойдаланилган ҳолда субоптимал филтрлаш амалининг редукция усули асосида нозизиқли бошқариш объектлари ҳолатини кўп кадамли баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

нормал ишлаш шароитларида саноат тадқиқоти натижалари асосида табиий газ ишлаб чиқаришда газни паст ҳароратли сепарациялаш жараёнининг математик моделлари ишлаб чиқилган;

газни паст ҳароратли сепарациялаш технологик жараёнини адаптив бошқариш ва автоматлаштиришнинг структуравий ва функционал схемалари ишлаб чиқилган;

жараёнлар кечишининг технологик режимларини барқарорлаш ва унинг самарадорлигини оширишга имкон берувчи техник таъминотга мос келувчи газни паст ҳароратли сепарациялаш технологик жараёнининг бошқариш системаси таклиф этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши, ҳолатни адаптив баҳолашнинг назарий асосланган концепцияларини қўлланилиши, замонавий автоматик бошқариш назариясининг синовдан ўтган усул ва алгоритмларини ишлатилиши, адаптив бошқаришнинг таклиф этилган усул ва алгоритмларини талаб даражасида яқинлиги, назарий ва амалий тадқиқот натижалари ҳамда уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг конструктив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқиш билан изоҳланади. Ишлаб чиқилган алгоритмлар узлуксиз характерли ишлаб чиқаришдаги технологик жараёнларни бошқаришнинг адаптив системаларини функционал структураларини қуриш ва лойиҳалашни автоматлаштиришда кенг қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг ишлаб чиқилган мунтазамлашган

алгоритмлари «Muborakneftgaz» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗНЕФТГАЗҚАЗИБЧИҚАРИШ» АЖнинг 2019 йил 30 январдаги №05/09-58ж-сон маълумотномаси). Натижада ростлагич параметрларини ҳисоблаш аниқлиги ошган;

бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал баҳолашнинг ишлаб чиқилган турғун алгоритмлари «Muborakneftgaz» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗНЕФТГАЗҚАЗИБЧИҚАРИШ» АЖнинг 2019 йил 30 январдаги №05/09-58ж-сон маълумотномаси). Натижада алгоритмлар газни паст ҳароратли сепарациялаш жараёнининг технологик режимини барқарорлаш имконини берган;

ночизикли бошқариш объектлари ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг ишлаб чиқилган турғун алгоритмлари «Muborakneftgaz» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗНЕФТГАЗҚАЗИБЧИҚАРИШ» АЖнинг 2019 йил 30 январдаги №05/09-58ж-сон маълумотномаси). Натижада объект параметрлари ва ғалаёнларини ҳисоблаш аниқлиги ошган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқот натижалари 6 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш, шулардан 8 таси – Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрлардаги мақолалар, жумладан, 1 таси хорижий ва 7 таси республика журналларида, халқаро ва республика анжуманларида 9 та тезис нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 124 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Биринчи бобда **«Шартли Гаусс филтрлаш асосида бошқариш объектларининг ҳолатини баҳолаш масалалари ва алгоритмлари»** сигнал ва халақитларни статистик баҳолаш усуллари, шартли Гаусс жараёнларининг аҳамияти, ноцизиқли системаларни таҳлил қилиш ва шартли Гаусс филтрлаш асосида бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш усуллари, масаланинг қўйилиши ва тадқиқотнинг вазифаси келтирилган. Бошқариш объектлари ҳолатини баҳолаш масалаларида априор маълумотни ҳисобга олиш муҳим, чунки баҳолашнинг нопараметрик аниқлиги юқори бўлмаслиги мумкин. Бироқ параметрик баҳолаш масалаларида ҳам моделнинг структураси ҳақидаги қўшимча априор маълумотлардан

фойдаланиш баҳолар аниқлигини оширишга олиб келади.

Шу муносабат билан бошқариш объектлари динамикаси ва мунтазамлаш усулларига оид тесқари масалалар концепциясини қўллашга асосланган стохастик бошқариш объектлари ҳолатини шартли Гаусс филтрлаш усули асосида адаптив баҳолаш масалаларини системали даражалаш услубияти кўрина бошлайди. Шунинг учун шартли Гаусс филтрлаш усули асосида динамик системалар ҳолатини ҳисоблаш аниқлигини ошириш масалаларини ечишга имкон қадар турли хил ёндашувларни кўриб чиқиш ва нокоррект қўйилган масалаларни ечишда амалий қўллаш учун янада илғор усул ва алгоритмларни аниқлаш мақсадга мувофиқдек кўринади. Юқорида келтирилганлардан хулоса қилиб, шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазам алгоритмларини ва мунтазамлик усулларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни аниқ технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни автоматлаштириш ва бошқариш масалаларини ечишда амалий қўллашга бағишланган диссертация ишининг мақсадини қўйдик.

Тадқиқотнинг «**Шартли Гаусс филтрлаш усули асосида ҳолатни турғун рекуррент баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш**» номли иккинчи боби берк стохастик бошқариш тамойиллари асосида динамик бошқариш объектларини синтезлашнинг турғун алгоритмларини таҳлил этишга, дастлабки ахборотлар ҳажмининг чегараланган шартларида бошқариш объектлари бошланғич ҳолатини турғун баҳолашга, номаълум ғалаёнли динамик бошқариш объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларига ва корреляцион шовқинларнинг нопараметрик тавсифларида бошқариш объектларини шартли оптимал филтрлашнинг турғун алгоритмларига бағишланган.

Шартли Гаусс филтрлаш усули асосида бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг турғун алгоритмларини реализация қилишда кўп ҳолларда, юқори ўлчамли матрицанинг ёмон шартларганлигидан келиб чиқиши мумкин бўлган ҳисоблаш қийинчиликларидан қутулиш имконини берувчи нопараметрик ковариацион усулдан фойдаланилади, шунингдек бундай ҳолда кенгайтирилган ковариацион тенгламалар қуйи тартибли остсистема тенгламалари билан алмаштирилади. Қўрилаётган масалани ечишнинг мунтазам алгоритмининг келтирамиз.

Қуйидаги кўринишдаги чизиқли системанинг ҳолатини баҳолаш масаласини кўриб чиқамиз:

$$x_{k+1} = A_k x_k + \Gamma_k w_k; \quad (1)$$

$$y_{k+1} = C_{k+1} x_{k+1} + v_{k+1}; \quad (2)$$

бу ерда: x_k , y_{k+1} , w_k , v_{k+1} – объектнинг ҳолатлари, ўлчашлари, объект ва ўлчагичдаги шовқинларнинг мос равишда n , l , p , l ўлчамли векторлари; A_k , Γ_k , C_{k+1} – мос ўлчамли дискрет аргументнинг матрицали функциялари, (A_k, C_{k+1}) жуфтлик барча $k \geq 0$ да Кальман қоидаси бўйича кузатилувчи ҳисобланади, бунда $E\{w_k w_{k-i}^T\} = Q_k(i)$, $E\{v_{k+1} v_{k+1-i}^T\} = R_{k+1}(i)$, $(k, i = \overline{0, N})$, $E\{x_0 w_i^T\} = V_0(i)$, $E\{x_0 v_{i+1}^T\} = W_0(i+1)$.

$\alpha < \nu$ тартибли авторегрессия модели орқали объектдаги w_k шовқин ва ўлчашдаги v_{k+1} халақитни силлиқлантиришни кўриб чиқамиз:

$$w_{k+1} = \sum_{j=0}^{\alpha} \Phi_{k-j} w_{k-j} + \xi_k, \quad v_{k+1} = \sum_{j=0}^{\beta} \Lambda_{k-j} v_{k-j} + \eta_k, \quad (3)$$

бу ерда: $\xi_k - w_0, w_{-1}, \dots, w_{-\alpha}$ билан корреляцияланмаган Q_{ξ_k} ковариацион матрицали оқ шовқин; $\eta_k - v_0, v_{-1}, \dots, v_{-\beta}$ билан корреляцияланмаган ва R_{ξ_k} ковариацион матрицали оқ шовқин.

Корреляцияланган шовқинларнинг нопараметрик берилишида кўрилаётган филтрлаш масаласининг асосий нозик амали (3) даги Φ_{k-j} ва Λ_{k-j} матрицаларни баҳолашдан иборат. Λ_{k-j} матрицани баҳолашда ҳам қўлланилиши мумкин бўлган Φ_{k-j} матрицани баҳолашнинг мунтазам алгоритмини келтирамыз.

(3) даги Φ_{k-j} ($j = \overline{0, \alpha}$), Q_{ξ_k} матрицаларнинг моделини қуйидаги кўринишдаги матрицали тенгламалар асосида баҳолаш мумкин:

$$Q_{k+1}^T(1, \gamma) = Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_k^T(1, \alpha), \quad Q_{k+1}(0) = \Phi_{k+1}(1, \alpha) Q_k(\alpha, \alpha) \Phi_k^T(1, \alpha) + Q_{\xi_k}, \quad (4)$$

бу ерда: $\alpha \leq \gamma < s$, $\Phi_k(1, \alpha)$, $Q_k(1, \gamma)$, $Q_k(\gamma, \alpha)$ блокли матрицалар эса қуйидаги структурага эга:

$$\Phi_k(1, \alpha) = [\Phi_k, \Phi_{k-1}, \dots, \Phi_{k-\alpha}], \quad Q_{k+1}(1, \gamma) = [Q_{k+1}(1), Q_{k+1}(2), \dots, Q_{k+1}(\gamma+1)];$$

$$Q(\gamma, \alpha) = \begin{bmatrix} Q_k(0) & Q_k^T(1) & \dots & Q_k^T(\alpha) \\ Q_k(1) & Q_{k-1}(0) & \dots & Q_{k-1}(\alpha-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_k(\alpha) & Q_{k-1}(\alpha-1) & \dots & Q_{k-\alpha}(0) \\ Q_k(\alpha+1) & Q_{k-1}(\alpha) & \dots & Q_{k-\alpha}(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_k(\gamma) & Q_{k-1}(\gamma-1) & \dots & Q_{k-\alpha}(\gamma-\alpha) \end{bmatrix}.$$

(4) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$Q_{k+1,j}^T(1, \gamma) = Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_{k,j}^T(1, \alpha); \quad (5)$$

бу ерда: $Q_{k+1,j}^T(1, \gamma)$ ва $\Phi_{k,j}^T(1, \alpha)$ – мос равишда $Q_{k+1}^T(1, \gamma)$, $\Phi_k^T(1, \alpha)$ матрицанинг j -устунлари, $j = 1, 2, \dots, p$.

(5) тенгламани ечишда $Q_k(\gamma, \alpha)$ матрицанинг юқори ўлчамлилигини ҳисобга олиб, “микроитерация” дан фойдаланган ҳолда нормал системалар учун Гаусс – Зейдел усулининг блокли вариантдан фойдаланамиз:

$$d_r = Q_{k,l}^+(\gamma, \alpha) \phi_r, \quad \Phi_{k,j,r+1}^T(1, \alpha) = \Phi_{k,j,r}^T(1, \alpha) + \xi I_l d_r, \quad \phi_{r+1} = \phi_r - \xi Q_{k,l}(\gamma, \alpha) d_r,$$

бу ерда: $l = l(r) = (r \bmod p) + 1$; $\{l(r)\}_{l=0}^{\infty} - 1, 2, \dots, \alpha + 1, 1, 2, \dots, \alpha + 1, \dots$; $I = (I_1 I_2 \dots I_{\alpha+1})$; $I_l \in R^{p \times p_j}$ кўринишдаги даврий кетма-кетлик; $I - n$ - тартибли бирлик матрица.

Агар $\Phi_{k,j,0}^T(1, \alpha)$ – ихтиёрий вектор бўлса, ϕ_0 мувофиқлаштиришнинг $\phi_0 = Q_{k+1,j}^T(1, \gamma) - Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_{k,j,0}^T(1, \alpha)$ шартини қаноатлантиради, унда $\Phi_{k,j,r}^T(1, \alpha) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \Phi_{k,j,*}^T(1, \alpha)$, бу ерда $\Phi_{k,j,*}^T(1, \alpha)$ – (5) тенгламалар системасининг псевдоечими.

Корреляцияланган шовқинларнинг нопараметрик тавсифларида келтирилган чизиқли бошқариш системаларини шартли оптимал

фильтрлашнинг турғун итерацион алгоритмлари шовқинларни силликлантириш матрицаларини ҳисоблашда итерацион жараён аниқлиги ва тезлигини ошириш ҳамда ҳисоблаш қийинчиликларини камайтириш имконини беради.

Ушбу бобда, шунингдек берк стохастик бошқариш тамойиллари асосида динамик бошқариш объектларини синтезлаш, дастлабки ахборотлар ҳажмининг чегараланган шартларида бошқариш объектлари бошланғич ҳолатини турғун баҳолаш ва номаълум ғалаёнли динамик бошқариш объектлари ҳолатини турғун баҳолаш масалалари ҳам кўрилган. Уларни амалий қўллаш соддалаштирилган мунтазамлаштиришнинг ҳисоблаш схемаларида самарадорлиги кўрсатилган.

Учинчи бобда «Шартли Гаусс фильтрлаш усули асосида ҳолатни турғун адаптив баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш» параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашни турғун алгоритмлари, бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал баҳолашнинг турғун алгоритмлари, бошқарилувчи объектларни кенгайтирилган ҳолат векторини адаптив баҳолаш алгоритмлари ва ночизикли бошқариш объектлари ҳолатини кўп қадамли турғун баҳолаш алгоритмларига бағишланган.

Динамик объектларни бошқариш системасини синтезлашнинг турли масалаларини ечишда параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда Кальман фильтри асосида бошқарилаётган объектнинг ҳолат векторини баҳолаш муаммоси пайдо бўлади. Ғалаёнланган фильтр ва $\delta P_i^{(v)}$ тасодифий ташкил этувчининг хатолиги учун қуйидаги тенгламани ёзамиз:

$$\delta \hat{x}_{i+1} = L_0 \delta \hat{x}_i + L_1 \delta A_{i+1}^{(v)} + L_2 \delta H_{i+1}^{(v)} + L_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} + L_4 \delta R_{i+1}^{(v)} + L_5 \delta P_i^{(v)}; \quad (6)$$

$$\delta P_{i+1}^{(v)} = N_0 \delta P_i^{(v)} + N_1 \delta A_{i+1}^{(v)} + N_2 \delta H_{i+1}^{(v)} + N_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} + N_4 \delta R_{i+1}^{(v)}; \quad (7)$$

бу ерда: $\delta P_0^{(v)}$ - априор ковариацияли матрица элементларини аниқлашнинг вектор хатолиги.

(6) тенглама ҳақиқий баҳонинг стохастик тенгламасини қуйидагича шакллантириш имконини беради:

$$x_{i+1}^0 = L_0 x_i^0 + K_{i+1} y_{i+1} - L_1 \delta A_{i+1}^{(v)} - L_2 \delta H_{i+1}^{(v)} - L_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} - L_4 \delta R_{i+1}^{(v)} - L_5 \delta P_i^{(v)}, \quad x_0^0 = \hat{x}_0 - \delta \hat{x}_0;$$

бу ерда: $\delta \hat{x}_i$ – объект ҳолат векторининг ғалаёнланиши.

Бу ҳолда баҳоланаётган кенгайтирилган вектор тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Z_{i+1} = G_L \cdot Z_i + G_N \cdot \left[\left(\delta A_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta H_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta Q_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta R_{i+1}^{(v)} \right)^T \right]^T + G_c;$$

бу ерда:

$$Z_i = \begin{bmatrix} x_i^0 \\ \delta \hat{x}_i \\ \delta P_i^{(v)} \end{bmatrix}; \quad G_L = \begin{bmatrix} L_0 & 0 & -L_5 \\ 0 & L_0 & L_5 \\ 0 & 0 & N_0 \end{bmatrix}; \quad G_N = \begin{bmatrix} -G \\ G \\ G_1 \end{bmatrix}; \quad G_c = \begin{bmatrix} K_{i+1} y_{i+1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$G = [L_1 \mid L_2 \mid L_3 \mid L_4], \quad G_1 = [N_1 \mid N_2 \mid N_3 \mid N_4].$$

Кузатиш тенгламасини қуйидаги тарзда ёзиш мумкин:

$$\hat{x}_{i+1} = A_{i+1/i} (x_i^0 + \delta \hat{x}_i) + K_{i+1} (H_{i+1} A_{i+1/i} \Delta_i + H_{i+1} w_{i+1} + v_{i+1}),$$

бу ерда: Δ_i – объект-кузатувчи ғалаёнланмаган системасининг ҳолат векторини оптимал баҳолашнинг вектор хатолиги.

Берилган тенгламанинг функционал характери шартли Гаусс филтрлаш усули асосида қидирилаётган филтр тенгламасини олиш имконини беради. Параметрик ғалаёнлар мавжудлигида стохастик объектни баҳолаш алгоритмини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\hat{Z}_{i+1} = G_c + G_L \hat{Z}_i + (G_L J_i A_c^T) F^+ (\hat{x}_{i+1} - A_c \hat{Z}_i); \quad (8)$$

$$J_{i+1} = G_L J_i G_L^T + G_N D_\xi G_N^T - G_L J_i A_c^T F^+ A_c J_i G_L^T; \quad (9)$$

$$\hat{Z}_0 = M(Z_0) = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad J_0 = \begin{bmatrix} D_{\delta x} & D_{\delta x} & 0 \\ D_{\delta x} & D_{\delta x} & \\ 0 & & D_{\delta p} \end{bmatrix};$$

$$F = E_p + A_c J_i A_c^T; \quad (10)$$

бу ерда:

$$D_\xi = \begin{bmatrix} D_{A_{i+1}} & & & 0 \\ & D_{H_{i+1}} & & \\ & & D_{Q_{i+1}} & \\ 0 & & & D_{R_{i+1}} \end{bmatrix} \cdot \delta_{(i+1,j+1)};$$

$$A_c = [1 \ 1 \ 0] \otimes A_{i+1/i};$$

$$E_p = [K_{i+1} H_{i+1} A_{i+1/i} \mid K_{i+1} H_{i+1} \mid K_{i+1}] \begin{bmatrix} P_{i/i-1} & & 0 \\ & Q_{i+1} & \\ 0 & & R_{i+1} \end{bmatrix} [K_{i+1} H_{i+1} A_{i+1/i} \mid K_{i+1} H_{i+1} \mid K_{i+1}]^T;$$

бу ерда: $D_{\delta x}$ – бошланғич баҳолаш векторини аниқлаш хатолигининг ковариацион матрицаси; $D_{\delta p}$ – P_0 априор ковариация матрицаларини аниқлаш хатолигининг ковариацион матрицаси; $D_{A_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$, $D_{H_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$, $D_{Q_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$ ва $D_{R_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$ – интенсивликларнинг мос матрицалари; \otimes – кронекер кўпайтмасининг тимсоли.

Псевдотескари матрицаси F^+ бўлган (8) ва (9) ларда Z ва J ларни баҳолаш учун фойдаланиладиган, (10) кўринишидаги F матрица симметрик ёмон шартланган ишораси аниқланмаган матрица бўлади. Қидирилаётган ечимни барқарорлаштириш ва (8), (9) ларда псевдоўзгартириш амалига катта ўлчамдаги турғунлик бериш учун мунтазам услублардан фойдаланиш керак. Ишда (8) ва (9) ларни амалга оширишда симметрик матрицаларни омиллаштиришда Холецкийнинг мунтазамлашган усулидан фойдаланилган.

Келтирилган алгоритмлар стохастик объектлар ҳолатини баҳолашда матрицаларни алмаштириш амалини барқарорлаштириш имконини беради ва шу билан биргаликда объект ва кузатгич параметрларининг ғалаёнланишида ҳолат векторининг ҳақиқий баҳосини олиш аниқлигини оширади.

Маълумки, филтрлаш масаласи ечимининг натижаси тасодифий жараёнларни баҳолашнинг оптимал қоидаси ва унга мос келувчи оптимал баҳолаш қурилмаларининг структуравий схемасидир. Стохастик айирма тенгламалари билан тавсифланадиган қуйидаги $Z^T(k+1) = [X^T(k+1), Y^T(k+1)]$

кўшма жараённи кўриб чиқамиз:

$$Z(k+1) = \Phi_z[k+1, k; Z(k)] + \Gamma_z[k+1, k; Z(k)]N_z(k); \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (11)$$

бу ерда: $Z(k+1)$ – $(n+m) \times 1$ ўлчамли вектор устун; $X(k+1)$ – $Z(k+1)$ векторнинг $(n \times 1)$ ўлчамли кузатилмайдиган компоненти; $Y(k+1)$ – бевосита кузатиш мумкин бўлган $Z(k+1)$ векторнинг компонент қисми; $\Phi_z[\cdot]$ ва $\Gamma_z[\cdot]$ – аргументлари маълум бўлган вектор функциялари; $N_z(k)$ – мустақил Гаусс тасодифий катталикларининг векторлари.

Тасаввур қилайлик, (11) тенгламанинг ўнг томонига кирган функциялар қуйидаги кўринишга эга бўлсин:

$$\begin{aligned} \Phi_z[k+1, k, Z(k)] &= \Phi_{zx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{zy}[k+1, k; Y(k)] = \\ &= \begin{bmatrix} \Phi_{xx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{xy}[k+1, k; Y(k)] \\ \Phi_{yx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{yy}[k+1, k; Y(k)] \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

$$\Gamma_z = \Gamma_z[k+1, k; Y(k)] = [\Gamma_x^T[k+1, k; Y(k)]\Gamma_y^T[k+1, k; Y(k)]]^T.$$

Дискрет филтрлашнинг субоптимал алгоритмларини амалга оширишда одатда умумий ҳисоблаш харажатларини қисқартиришга интилинади. Шу нуқтаи-назардан баҳолашнинг қуйидаги кўринишдаги субоптимал алгоритмдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади:

$$\begin{aligned} X^*(k+1) &= \Phi_{xx}[k+1, k; Y(k)]X^*(k) + \Phi_{xy}[k+1, k; Y(k)] + \\ &+ \bar{K}(k+1)\{Y(k+1) - \Phi_{yx}[k+1, k; Y(k)]X^*(k) - \Phi_{yy}[k+1, k; Y(k)]\}, \end{aligned} \quad (12)$$

унда $\bar{K}(k+1)$ узатиш коэффициенти ва $P(k+1)$ ковариацион матрицаларнинг субоптимал қийматлари қуйидаги формулалар билан ҳисобланиши мумкин:

$$\bar{K}(k+1) = [\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T][\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]^{-1}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} P(k+1) &= \Phi_{xx}P(k)\Phi_{xx}^T + \Gamma_x\Gamma_x^T + [\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T] \times \\ &\times [\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]^{-1}[\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T]^T. \end{aligned} \quad (14)$$

Шундай қилиб, (13) ва (14) ифодаларда $\bar{K}(k+1)$ ва $P(k+1)$ матрицаларни ҳисоблашда ҳар қадамда $A(k) = [\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]$ матрицани алмаштириш керак. Ушбу матрицани алмаштириш аниқлиги баҳолашнинг субоптимал алгоритми (12) самарадорлигига жиддий боғлиқ.

(13) ва (14) ифодаларда $A(k)$ матрица квадрат ва мусбат аниқланганлигини эътиборга олсак, қуйидаги рекуррент нисбатлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади:

$$\gamma_{t+1} = \gamma_t - \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ a_{t+1} \gamma_t, \quad \gamma_0 = I;$$

$$X_{t+1} = X_t + \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ (c_{t+1} - a_{t+1} X_t), \quad X_0 = 0;$$

бу ерда: $a_t, t=1, 2, \dots, n$ – $A(k)$ матрица қаторлари; $\gamma_{t+1}, t=1, 2, \dots, n$ – $(n \times n)$ ўлчамли матрицалар кетма-кетлиги; $c_t, t=1, 2, \dots, n$ – $I - \gamma_n$ матрица қаторлари; $X_t, t=1, 2, \dots, n$ – $(n \times n)$ ўлчамли матрицалар кетма-кетлиги.

Бу ерда $A(k)$ матрицанинг шартланганлигидан келиб чиқиб, ҳисоблаш аниқлигини γ_t матрицанинг қолдиғи билан назорат қилинади $t=1, 2, \dots, n$.

Келтирилган алгоритмлар тасодифий жараёнларнинг кузатилмайдиган

координатасини субоптималь баҳолаш амалининг турғунлиги ва аниқлигини ошириш имкониятини беради.

Жуда кўп ҳолларда бошқариш объектларининг тавсифларида ночизикли тенгламалар ёки ночизикли рекуррент нисбатлардан фойдаланиш кераклиги вужудга келади.

Стохастик системанинг ўлчаш ва динамик тенгламалари қуйидаги айирмали тенгламалар билан тавсифланган бўлсин:

$$X_{k+1} = f(X_k, k) + \sigma(X_k, k)V_{1,k}, \quad X \in R^n, \quad V_1 \in R^T, \quad k = 0, 1, \dots;$$

$$Y_k = \varphi(X_k, k) + \psi(X_k, k)V_{2,k}, \quad Y \in R^n, \quad V_2 \in R^m.$$

бу ерда: $\{V_{1,k}\}, \{V_{2,k}\}$ – шундай ўзаро боғлиқ бўлмаган векторларнинг кетма-кетлиги-ки, бунда k нинг ҳар бир қийматида $V_{1,k}, V_{2,k}$ лар мустақил, нормал тақсимланган тасодифий катталиклардир.

X_k жараённинг \hat{X}_k баҳосини Y_1, Y_2, \dots, Y_k кузатишлар бўйича ўртача квадратик маъносидан энг маъқулини аниқлаш керак. X векторнинг юқори ўлчамлилиги ҳолатида \hat{X} нинг баҳосини аниқловчи тенгламалар миқдорини сезиларли даражада камайтиришга имкон берувчи филтрлашнинг кўп қадамли алгоритмларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай ёндашишни татбиқ этилиши учун $X \in R^n$ векторни s оствекторларга, яъни $X = [X_1^T, X_2^T, \dots, X_s^T]^T$ кўринишида бўлиб ташлаш керак, бу ерда $X_1 \in R^{n_1}, X_2 \in R^{n_2}, \dots, X_s \in R^{n_s}$ ва $n_1 + n_2 + \dots + n_s = n$.

Берилган алгоритмни қабул қилинган кетма-кет амалига мос равишда, масалан, \hat{X}_i баҳо i -қадамда $i \leq s$ бўлганда қуйидаги рекуррент нисбатлар асосида аниқланади:

$$\begin{aligned} \hat{X}_{i,k+1} &= \hat{X}_{i,k+1/k} + \alpha_{i,k+1} \beta_{i,k+1}^{-1} [Y_{k+1} - \bar{\varphi}_i + \bar{\varphi}_{x_i} \hat{X}_{i,k} - \bar{\varphi}_{x_i} X_{i,k+1/k}], \\ \hat{X}_{i,k+1/k} &= \bar{f}_i(\hat{X}_{1,k}, \dots, \hat{X}_{s,k}, k), \quad \alpha_{i,k+1} = [\bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T + \sigma_i \sigma_i^T] \varphi_{x_i}^T, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\beta_{i,k+1} = \bar{\varphi}_{x_i} [\bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T + \sigma_i \sigma_i^T] \bar{\varphi}_{x_i}^T + \psi_i \psi_i^T, \quad P_{i,k+1} = \bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T - \alpha_{i,k+1} \beta_{i,k+1}^{-1} \alpha_{i,k+1}^T + \sigma_i \sigma_i^T.$$

(15) ифодада кўп қадамли баҳолашнинг кўриляётган алгоритмидаги энг кўп меҳнат талаб қиладиган жараён $\beta_{i,k+1}$ матрицани алмаштириш амали ҳисобланади. Ушбу амалнинг бажарилиш сифати баҳолаш алгоритмини ҳисоблашнинг турғунлиги ва аниқлигига жиддий боғлиқ.

Ишда $\beta_{i,k+1}$ матрицани турғун псевдоўзгартириш учун қуйидаги нисбатдан фойдаланилди:

$$\beta_{i,k+1}^+ = T^T (TT^T)^{-2} T; \quad (16)$$

бу ерда: r рангнинг $T_{(n \times r)}$ матрицаси қуйидаги ёйилишдан аниқланади:

$$\beta_{i,k+1} = T^T T.$$

Агарда $\beta_{i,k+1}$ матрица ёмон шартланган ёки хосмас бўлса, (16) даги псевдоўзгартириш амалининг турғунлигини ошириш учун мунтазам амалдан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир:

$$\beta_{i,k+1}^+ = T^* (TT^* + \alpha I)^{-2} T;$$

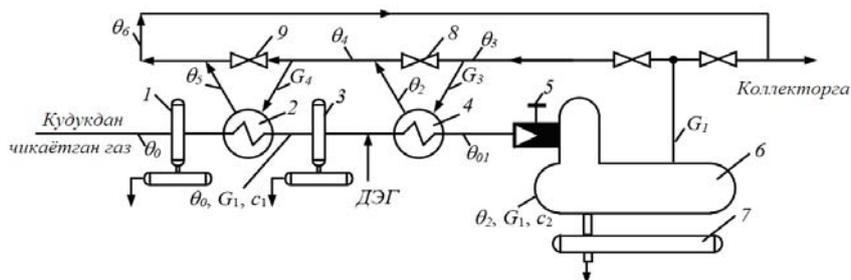
бу ерда: $\alpha > 0$ – мунтазамлаштириш параметри; I – бирлик матрица.

Бу ерда мунтазамлаштириш параметри α ни модели мисоллар усули асосида аниқлаш мақсадга мувофиқдир.

Келтирилган алгоритмлар $\beta_{i,k+1}$ матрицани ўзгартиришнинг ҳисоблаш амалини барқарорлаштирилишини ва шу билан биргаликда ночизиқли стохастик системалар ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг аниқлигини оширилишини осонлаштиради.

Бу ерда бошқарилувчи объектларни кенгайтирилган ҳолат векторини турғун баҳолаш алгоритмларини қуриш масалалари ҳам кўрилган. Уларни амалий қўллаш «мўътадил бузилиш» усулининг ҳисоблаш схемаларида самарадорлиги кўрсатилган.

Диссертациянинг тўртинчи боби «**Ишлаб чиқилган алгоритмларни газни паст ҳароратли сепарациялаш технологик жараёнини автоматлаштириш ва бошқариш масалаларида қўлланилиши**» да паст ҳароратли сепарациялаш технологик жараёнини автоматлаштириш ва бошқаришда шартли Гаусс филтрлаш усули асосида адаптив бошқариш системаларини синтезлашнинг ишлаб чиқилган алгоритмларини қўллаш натижалари келтирилган.



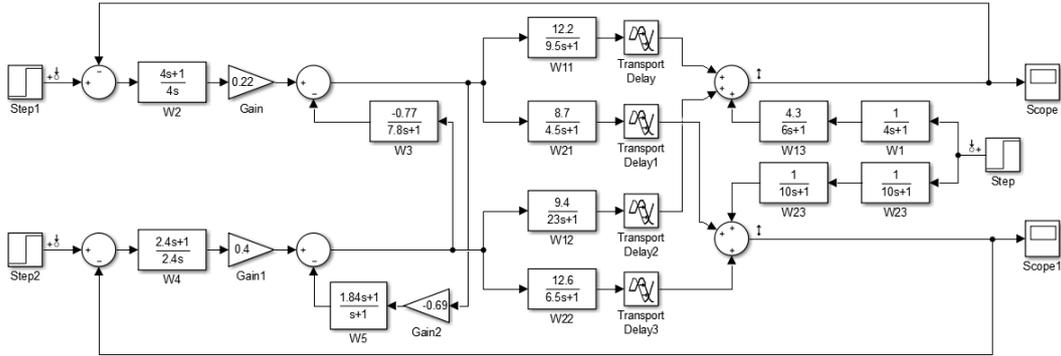
1-расм. Паст ҳароратли сепарациялаш қурилмасининг соддалаштирилган ҳисобий схемаси: 2 ва 4 – иссиқлик алмашиниш қурилмасининг биринчи ва иккинчи поғоналари; 5 – турбодетандер; 1, 3 ва 6 – сепараторлар; 7 – ажратувчи идиш; 8, 9 – жумраклар; G_1, G_2, G_3, G_4 – тегишли нукталардаги газ сарфлари; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$ – тегишли нукталардаги газ ҳароратлари; c_1 ва c_2 – мос равишда иссиқ ва совуқ газнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари.

Адабиётлар таҳлили ва дастлабки тадқиқот натижаларининг кўрсатишича, газни паст ҳароратли сепарациялаш жараёни кўп алоқали ностационар бошқариш объекти ҳисобланади. Шу муносабат билан ноаниқлик шароитида кўрилатган жараённинг автоном бошқариш системасини таҳлил қилиш ва синтезлаш жуда долзарб масала ҳисобланади.

Олтита асосий каналлар бўйича тажрибавий тадқиқотлар олиб борилди: ростловчи орган 8 нинг сепаратордаги ва диэтиленгликол (ДЭГ) ни кириш нуктасидаги ҳароратларни – W_{11} ва W_{21} га нисбатан ҳолати; ростловчи орган 9 нинг диэтиленгликол (ДЭГ) ни кириш нуктасидаги ва сепаратордаги ҳароратларни – W_{22} ва W_{12} га нисбатан ҳолати; ростланадиган турбодетандер 5 нинг сепаратордаги ва диэтиленгликол (ДЭГ) ни кириш нуктасидаги ҳароратларни – W_{13} ва W_{23} га нисбатан ҳолати.

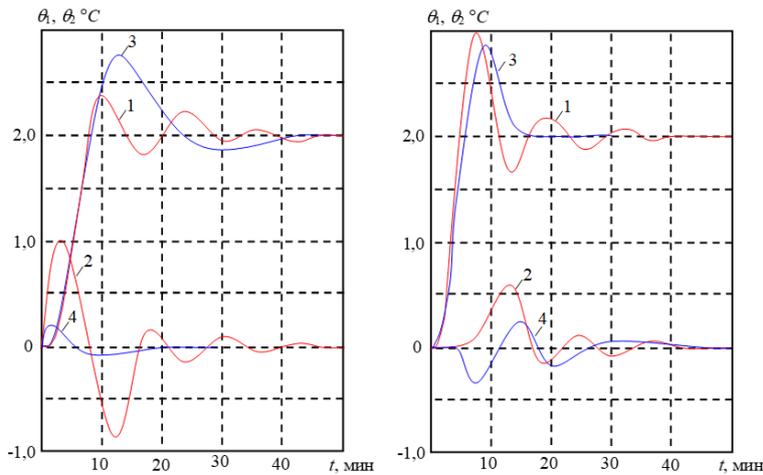
Газ ҳароратини ростлаш системасининг структуравий схемаси 2-расмда кўрсатилган. Ростловчи қурилма сифатида R_{11} ва R_{22} узатиш функцияли пропорционал-интеграл ростлагичлардан фойдаланилган. R_{12} ва R_{21} компенсацияловчи қурилмаларнинг узатиш функциялари ростланадиган

ҳарорат θ_1 нинг $\theta_{20} - \theta_2$ айирмаси ўзгаришидан ва ростланадиган ҳарорат θ_2 нинг $\theta_{10} - \theta_1$ айирмаси ўзгаришининг эркинлик шартидан аниқланди. Бунда θ_{10} ва θ_{20} – ҳароратнинг берилган қийматлари.



2-расм. Газ ҳароратини автоматик ростлаш системасининг боғланган структуравий схемаси

$\Delta\theta_{20} = 2^\circ\text{C}$ бўлганда ҳарорат ўзгаришларининг 1 ва 2 эгри чизиқлари (3-расм) ингибиторни кириш нуктасидаги ва паст ҳароратли сепаратордаги компенсация қурилмаси бўлмаган системадаги ҳарорат динамикасини, 3 ва 4 эгри чизиқлар эса компенсация қурилмаси бор системадаги ўша координаталар динамикасини тавсифлайди.



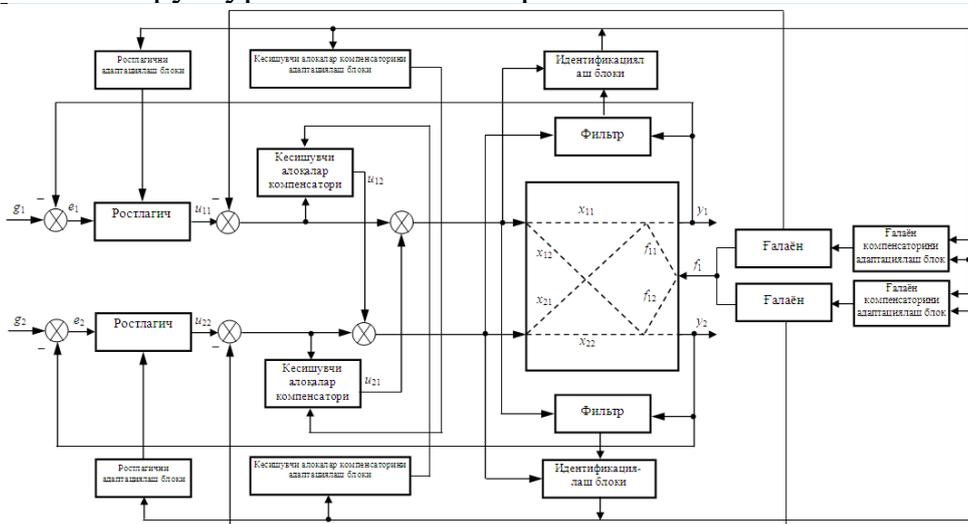
3-расм. $\theta_{y1}=2^\circ\text{C}$ (а) ва $\theta_{y2}=2^\circ\text{C}$ (б) бошқариш таъсирларида ўтиш жараёнлари

3-расмдан кўринадикки, ростлаш жараёни боғланган системада ҳам иккита бир контурлида ҳам турғун бўлади.

Газни паст ҳароратли сепарациялаш жараёнини амалга оширишнинг мавжуд шароитларида объектга ташқи таъсир сифатида паст ҳароратли сепарациялаш қурилмасининг киришидаги газ сарфи – f таъсир кўрсатади. Жараён тавсифларининг ўзгариши ва ташқи ғалаёнлар мавжудлигида бошқариш билан боғлиқ схемаларни қўллаш технологик объектнинг оптимал иш режимини таъминламайди. Шундай ҳолатларда объектни энг яхши сифатли бошқаришга эришиш натижасида мос келувчи динамик компенсаторларни қўллаш ҳисобига чиқиш катталигига фақатгина кесишувчи каналларнигина эмас, балки ташқи ғалаёнланишларнинг

таъсирини ҳам тўлиқ йўқотувчи ўзаро боғлиқ бўлган комбинирланган адаптив бошқариш системасини синтезлаш ва қўллаш имкони пайдо бўлади. Бу синфни энг самарали ишлаб чиқиш инвариантлик, адаптивлик ва автономлик тамойилларини амалга ошириш билан боғлиқ бўлади.

4-расмда таклиф этилаётган адаптив автоном инвариант бошқариш системасининг структуравий схемаси берилган.



4 – расм. Паст ҳароратли сепарациялаш жараёнини адаптив автоном инвариант бошқариш системасининг структуравий схемаси.

Идентификациялаш учун объект тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$x(t+1) = b_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i x(t+1-i) + \sum_{i=n_1+1}^n b_i x(t+1-\tau_1-i) + \sum_{j=1}^m b_{n+j} u(t+1-\tau-j) + \xi(t); \quad (17)$$

бу ерда τ_1, τ – ҳақиқий дискрет кечикишлар, бошқариш таъсирлари $u_1 \leq u(t) \leq u_2$ амплитуда бўйича чекланишларга эга; $b_i (i=0, \dots, n+m)$ – объектнинг номаълум параметрлари; $|\xi(t)| \leq \xi_1$.

(17) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$Y(t) = Z(t-1)\beta(t); \quad (18)$$

бу ерда:

$$Y(t) = (y^T(t) \dots y^T(t-p+1))^T; \quad Z(t-1) = (z^T(t-1) \dots z^T(t-p))^T;$$

$$y(k) = z(k-1)\beta(t), \quad k = t, t-1, \dots, t-p+1;$$

$$z(k) = (1, x(k), \dots, x(k+1-n_1); x(k-\tau_1-n_1), \dots, x(k+1-\tau_1-n); u(k-\tau), \dots, u(k+1-\tau-m));$$

$$\beta^T(t) = (b_0, b_1, \dots, b_{n+m}).$$

$\Delta\beta(t) = \beta(t) - \beta(t-1)$ параметрларнинг вектор орттирмаларини қуйидаги мезонлардан аниқлаймиз:

$$\|e_0(t) - Z(t-1)\Delta\beta(t)\|^2 = \min, \quad \|\Delta\beta(t)\|^2 = \min,$$

Яъни:

$$\Delta\beta(t) = Z^+(t-1)(X(t) - Z(t-1)\beta(t-1)), \quad (19)$$

бу ерда:

$$X(t) = (x^T(t) \dots x^T(t-p+1))^T; \quad e_0(t) = X(t) - Z(t-1)\beta(t-1).$$

Псевдоўзгариш амалининг турғунлигини ошириш мақсадида (19) ифодани қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\Delta\beta(t) = (Z^T(t-1)Z(t-1) + \alpha I)^{-1} Z^T(t-1)(X(t) - Z(t-1)\beta(t-1));$$

бу ерда мунтазамлаштириш параметри α ни квазиоптималлик ёки нисбатлар усуллари асосида аниқлаш мақсадга мувофиқ бўлади.

$\Delta\beta(t)$ орттирмани аниқлагандан кейин параметрнинг ўзини топамиз:

$$\beta(t) = \beta(t-1) + \Delta\beta(t). \quad (20)$$

t вақтнинг ҳар бир они учун бошқаришни қуйидаги кўринишдаги тенгламага келтирувчи $(y(t+1+\tau) - x^*(t+1+\tau))^2 = \min, u_1 \leq u(t) \leq u_2$ квадратик мезондан аниқлаймиз:

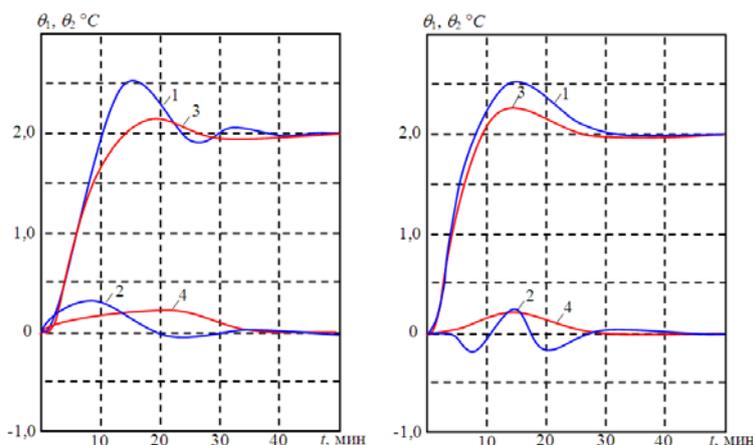
$$u(t) = \begin{cases} u_1, & \text{агар } v(t) < u_1 \text{ бўлса,} \\ v(t), & \text{агар } u_1 \leq v(t) \leq u_2 \text{ бўлса,} \\ u_2, & \text{агар } u_2 < v(t) \text{ бўлса.} \end{cases} \quad (21)$$

Унда:

$$t \geq 0 \text{ бўлганда } v(t) = \beta_{n+1}^{-1}(t) [x^*(t+1+\tau) - L(\beta'(t), y(t+\tau), u(t-1))];$$

бу ерда: $x^*(t+1) - t > 0$ вақтнинг ҳар бир онда белгиланган траектория.

(18–20) ларда келтирилган ифодалар асосида (21) га мос ҳолда объектни идентификациялаш ва бошқариш таъсирларини шакллантириш ишлаб чиқилди. Ўткинчи жараёнлар эгри чиқизлари 5 – расмда келтирилган.



5 – расм. $\theta_{y1}=2^\circ\text{C}$ (а) ва $\theta_{y2}=2^\circ\text{C}$ (б) бошқариш таъсирларида адаптив автоном инвариант бошқариш системасининг ўтиш жараёнлари: 1, 2 – автономлик қурилмаси бўлмагандаги $\theta_1(t)$ ва $\theta_2(t)$; 3, 4 – автономлик қурилмаси бўлгандаги $\theta_1(t)$ ва $\theta_2(t)$.

Шундай қилиб, бошқариш алгоритмларини адаптациялаш ва объектни жорий идентификациялаш алгоритмлари асосида таклиф этилган адаптив автоном инвариант бошқариш системасидан фойдаланиш ностационарлик шароитида газни паст ҳароратли сепарациялаш технологик жараёнларини бошқариш сифатини ошириш имконини беради.

Х У Л О С А

Диссертацияда автоматик бошқариш назариясининг тизимли таҳлил усуллари асосида нокоррект масалаларни ечиш ва динамик филтрлашда

шартли Гаусс филтрлаш усули асосида стохастик бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари ишлаб чиқилди.

Ишлар якунида қуйидаги илмий натижалар олинди:

1. Дастлабки ахборотларнинг чегараланган шартларида бошқариш объектлари бошланғич ҳолатларини мунтазам баҳолаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Таклиф этилган алгоритмлар филтр ишлашининг ўткинчи режимида динамик филтрлаш аниқлигини баҳолаш имконини беради.

2. Номаълум ғалаёнли динамик бошқариш объектлари ҳолатини баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилди. Олинган алгоритмлар фазо ҳолатининг кенгайиш тамойили асосида номаълум ғалаёнли объектлар учун динамик филтрни синтезлаш амалини бажариш имконини беради.

3. Корреляцион шовқинларнинг нопараметрик тавсифида бошқариш объектларини шартли оптимал филтрлашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилди. Таклиф этилган алгоритмлар шартли оптимал филтрлашнинг итерацион алгоритмларини келиб чиқиш тезлигини ошириш ва ҳисоблаш қийинчиликларини камайтириш имконини беради.

4. Параметрик ғалаёнларни ҳисобга олган ҳолда бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг мунтазамлашган алгоритмлари ишлаб чиқилди. Ушбу алгоритмлар объект ва кузатгич параметрларининг ғалаёнланишида ҳолат векторининг ҳақиқий баҳосини олиш аниқлигини оширади.

5. Бошқариш объектлари ҳолатини субоптимал баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилди. Бу алгоритмлар тасодифий жараёнларнинг кузатилмайдиган координатасини субоптимал баҳолаш амалининг турғунлиги ва аниқлигини ошириш имконини беради.

6. Бошқарилувчи объектларнинг кенгайтирилган ҳолат векторини баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилди. Олинган алгоритмлар система параметрларини ва ҳолат векторини қўшма турғун баҳолаш, шунингдек бошқариш ва баҳолашнинг алоҳида остсистемаларини амалга ошириш имконини беради.

7. Ночизиқли бошқариш объектлари ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг турғун алгоритмлари ишлаб чиқилди. Бу алгоритмлар матрицани ўзгартиришнинг ҳисоблаш амалини барқарорлаштирилишини осонлаштиради ва ночизиқли стохастик системалар ҳолатини кўп қадамли баҳолашнинг аниқлигини оширади.

8. Ишлаб чиқилган мунтазам синтезлаш алгоритмлари асосида газни паст ҳароратли сепарациялаш жараёнини адаптив автоном инвариант бошқариш системаси таклиф этилди. Таклиф этилган адаптив бошқариш системаси жараённинг бориш технологик режимини барқарорлаштириш ва унинг сифатини ҳамда бажарадиган вазифасининг самарадорлигини ошириш имконини беради.

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

КОДИРОВ ДИЛМУРОД ТУХТАСУНОВИЧ

**АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ
МЕТОДОВ УСЛОВНО-ГАУССОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

**05.01.08 - Автоматизация и управление технологическими процессами
и производствами**

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2017.2.PhD/T169.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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

Научный руководитель: **Игамбердиев Хусан Закирович**
доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты: **Гулямов Шухрат Маннапович**
доктор технических наук, профессор

Холматов Даврон Абдуалимович
кандидат технических наук, доцент

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

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

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №87). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2019 года.
(реестр протокола рассылки №__ от «__» _____ 2019 года)

Н.Р.Юсупбеков

Председатель научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

У.Ф.Мамиров

Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

А.М.Назаров

Заместитель председателя
научного семинара при научном совете
по присуждению учёных степеней, д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последнее время в области автоматизации технологических процессов и производств особое внимание уделяется разработке методов и алгоритмов оценивания состояния стохастических объектов управления. В этой области разработка регулярных алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации является одной из важных задач. Поэтому возникает реальная необходимость разработки разнообразных методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния сложных управляемых объектов при различных помехосигнальных условиях их функционирования.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по созданию универсального подхода к оцениванию состояния стохастических объектов управления, ориентированные на решение задач адаптивного управления динамическими объектами. В связи с этим важной задачей является усовершенствование и модификация методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации в условиях различного рода возмущений и помех.

В настоящее время в Республике уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управления, в том числе созданию систем усовершенствованного управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении различными технологическими процессами и производствами. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы обозначены задачи «...сокращения энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»¹. В этом аспекте создание эффективных алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации, способствующих повышению точности и качественных показателей процессов управления, является весьма актуальным.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП–4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями №ПП–3151 от 27 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему расширению участия отраслей и сфер экономики в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием» и №ПП–3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» УП–4947 от 7 февраля 2017 года.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технической литературы последних лет, касающихся исследований по разработке методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области. Опубликовано большое количество работ, посвященных проблемам синтеза адаптивных систем управления, разработаны общетеоретические концепции, возрастает число решенных практических задач. Большой вклад в развитие адаптивных методов оценивания состояния стохастических объектов управления внесли многие зарубежные ученые, такие как Andreas S.S., Boujema A., Chen R., Glonti O.A., Hans A.K., Ibrahim H., Kalman R., Khechinashvili Z., Liu J.S., Nan C., Peter D., Singh T., Singla P., Terejanu G., Бабиц О.А., Барабанов А.Е., Белицер Э.Н., Борисов А.В., Воробейчиков С.Э., Григорьев Г.К., Демин Н.С., Еникеева Ф.Н., Клепцына М.Л., Конев В.В., Корепанов Э.Р., Краснова С.А., Кузнецов Н.А., Липцер Р.Ш., Лепский О.В., Лукомский Ю.А., Миллер Б.М., Мирошников А.Н., Овчаренко В.Н., Панков А.Р., Платонов Е.Н., Полин С.В., Приходько М.Л., Пчелинцев Е.А., Рыбаков К.А., Семаков С.Л., Семенихин К.В., Сергеев И.В., Сеницын И.Н., Стефанович А.И., Уткин А.В., Фрадков А.Л. и др., а также отечественные ученые – Азимов Б.М., Бекмуратов Т.Ф., Гулямов Ш.М., Жуманов И.И., Зарипов О.О., Игамбердиев Х.З., Исмаилов М.А., Кадыров А.А., Камалов Н.З., Камилов М.М., Марахимов А.Р., Сиддииков И.Х., Фозилов Ш.Х., Юсупбеков Н.Р. и др.

Однако постоянное усложнение и расширение круга научных исследований требует разработки новых эффективных методов и алгоритмов адаптивной идентификации, оценивания состояния и управления в условиях неопределенности на основе концепций условно-гауссовской фильтрации. Требуют своего развития также регуляризованные алгоритмы условно-оптимальной фильтрации объектов управления при непараметрическом описании коррелированных шумов, адаптивного оценивания состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений. Кроме того, оказывается целесообразным осуществлять разработку устойчивых алгоритмов субоптимального оценивания состояния объектов управления, расширенного вектора состояния управляемых объектов, а также алгоритмов устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления. В связи с вышеотмеченным возникает настоятельная необходимость дальнейшей модификации и создания эффективных алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где

выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: ЁФ-4-06 – «Разработка регулярных методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями» (2012-2013); А-5-42 – «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); ОТ-Ф4-78 – «Разработка теоретических основ и регулярных методов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе идентификационного подхода» (2017-2020).

Целью исследования является разработка алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации и вычислительных схем их практической реализации.

Задачи исследования:

системный анализ развития методов и алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации;

разработка устойчивых алгоритмов условно-оптимальной фильтрации объектов управления при непараметрическом описании коррелированных шумов;

разработка регулярных алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений;

разработка устойчивых алгоритмов субоптимального адаптивного оценивания состояния объектов управления;

разработка алгоритмов устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления;

практическая апробация разработанных алгоритмов и вычислительных схем адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации при решении задачи синтеза адаптивной системы управления конкретным технологическим объектом.

Объектом исследования являются алгоритмы оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы адаптивного регулярного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, идентификации, оценивания, адаптивного управления и решения некорректно поставленных задач.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны устойчивые алгоритмы условно оптимальной фильтрации объектов управления при непараметрическом описании коррелированных шумов на основе блочного варианта метода Гаусса – Зейделя;

разработаны регулярные алгоритмы адаптивного оценивания состояния

объектов управления с учетом параметрических возмущений на основе устойчивой процедуры обращения плохообусловленных знаконеопределенных матриц;

разработаны устойчивые алгоритмы субоптимального адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе рекуррентных алгоритмов отыскания псевдообратных матриц;

разработаны алгоритмы устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления на основе метода редукции процедур субоптимальной фильтрации с использованием концепций устойчивого псевдообращения неотрицательно определенных матриц.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе результатов промышленного эксперимента в условиях нормального функционирования разработаны математические модели процесса низкотемпературной сепарации газа в производстве природного газа;

разработаны структурные и функциональные схемы автоматизации и адаптивного управления технологическим процессом низкотемпературной сепарации газа;

предложена система управления технологическим процессом низкотемпературной сепарации газа с соответствующим техническим обеспечением, позволяющая стабилизировать технологические режимы протекания процессов и повысить эффективность его.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивного оценивания состояния; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивного управления; результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования состоит в разработке конструктивных алгоритмов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации. Разработанные алгоритмы могут найти широкое применение при построении функциональной структуры и автоматизации проектирования адаптивных систем управления технологическими процессами с непрерывным характером производства.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации:

разработанные регулярные алгоритмы адаптивного оценивания

состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений внедрены на ООО «Muborakneftgaz» (Справка АО «Ўзнефтгазқазибчиқариш» №05/09-58ж от 30 января 2019 года). В результате повышается точность вычисления параметров регуляторов;

разработаны устойчивые алгоритмы субоптимального адаптивного оценивания состояния объектов управления внедрены на ООО «Muborakneftgaz» (Справка АО «Ўзнефтгазқазибчиқариш» №05/09-58ж от 30 января 2019 года). Алгоритмы позволяют стабилизировать технологические режимы протекания процесса низкотемпературной сепарации газа.

разработанные алгоритмы устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления внедрены на ООО «Muborakneftgaz» (Справка АО «Ўзнефтгазқазибчиқариш» №05/09-58ж от 30 января 2019 года). В результате повышается точность определения параметров объекта и возмущений.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 6 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 8 – в журнальных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 1 в иностранном и 7 в республиканских журналах, 9 тезисов на международных и республиканских конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 124 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «**Задачи и алгоритмы оценивания состояния объектов управления на основе условно-гауссовской фильтрации**» приводятся методы статистического оценивания сигналов и помех, особенности условно-гауссовских процессов, методы анализа нелинейных систем и алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе условно-гауссовской фильтрации, постановка цели и задачи исследования. Учет априорной информации в задачах оценивания состояния управляемых объектов является важным, поскольку непараметрическая точность оценивания может оказаться невысокой. Однако и в задачах

параметрического оценивания использование дополнительной априорной информации о структуре модели обычно приводит к повышению точности оценок.

Удачной в этой связи видится методология системной градации задач адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации, основанная, в частности, на привлечении концепций обратных задач динамики управляемых объектов и регулярных методов. Поэтому оказывается целесообразным рассмотреть различные возможные подходы к решению задач повышения точности вычисления состояния динамических систем на основе методов условно-гауссовской фильтрации и выявить наиболее перспективные для практического использования методы и алгоритмы решения некорректно поставленных задач. Вышеизложенные выводы обусловили постановку цели настоящей диссертационной работы, посвященной разработке алгоритмов регулярного адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации и принципа регулярности, и их практическом применении при решении задач автоматизации и управления конкретными технологическими процессами производства.

Вторая глава диссертации **«Разработка алгоритмов устойчивого рекуррентного оценивания состояния на основе методов условно-гауссовской фильтрации»** посвящена анализу алгоритмов устойчивого синтеза динамических объектов управления на основе принципов замкнутого стохастического управления, разработке алгоритмов устойчивого оценивания начального состояния объектов управления в условиях ограниченного объема исходной информации, состояния динамических объектов управления с неизвестными возмущениями, и устойчивых алгоритмов условно-оптимальной фильтрации объектов управления при непараметрическом описании коррелированных шумов.

При реализации алгоритмов устойчивого адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации часто используют непараметрический ковариационный метод, который позволяет избежать возможных вычислительных трудностей, вызванных плохой обусловленностью матриц высокой размерности, так как в данном случае расширенные ковариационные уравнения заменяются подсистемами уравнений низких порядков. Приведем регулярный алгоритм решения рассматриваемой задачи.

Рассмотрим задачу оценивания состояния линейной системы вида:

$$x_{k+1} = A_k x_k + \Gamma_k w_k, \quad (1)$$

$$y_{k+1} = C_{k+1} x_{k+1} + v_{k+1}, \quad (2)$$

где x_k , y_{k+1} , w_k , v_{k+1} – векторы состояния, измерения, шума в объекте и шума в измерителе размерности n , l , p , l соответственно; A_k , Γ_k , C_{k+1} – матричные функции дискретного аргумента соответствующих размерностей, пара (A_k, C_{k+1}) является наблюдаемой по Калману при всех $k \geq 0$, причем $E\{w_k w_{k-i}^T\} = Q_k(i)$, $E\{v_{k+1} v_{k+1-i}^T\} = R_{k+1}(i)$, $(k, i = \overline{0, N})$, $E\{x_0 w_i^T\} = V_0(i)$, $E\{x_0 v_{i+1}^T\} = W_0(i+1)$.

Рассмотрим аппроксимации шума w_k в объекте и в измерениях v_{k+1} моделями авторегрессии порядка $\alpha < \nu$:

$$w_{k+1} = \sum_{j=0}^{\alpha} \Phi_{k-j} w_{k-j} + \xi_k, \quad v_{k+1} = \sum_{j=0}^{\beta} \Lambda_{k-j} v_{k-j} + \eta_k, \quad (3)$$

где ξ_k – белый шум с ковариационной матрицей Q_{ξ_k} , не коррелированный с $w_0, w_{-1}, \dots, w_{-\alpha}$; η_k – белый шум, не коррелированный с $v_0, v_{-1}, \dots, v_{-\beta}$ и имеющий ковариационную матрицу R_{ξ_k} .

Основной уязвимой процедурой в рассматриваемой задаче фильтрации при непараметрическом задании коррелированных шумов является оценивание матриц Φ_{k-j} и Λ_{k-j} в (3). Приведем регулярный алгоритм оценивания матриц Φ_{k-j} , который может быть использован и при оценивании матриц Λ_{k-j} .

Матрицы модели (3) Φ_{k-j} ($j = \overline{0, \alpha}$), Q_{ξ_k} можно оценить на основе матричных уравнений вида:

$$Q_{k+1}^T(1, \gamma) = Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_k^T(1, \alpha), \quad Q_{k+1}(0) = \Phi_{k+1}(1, \alpha) Q_k(\alpha, \alpha) \Phi_k^T(1, \alpha) + Q_{\xi_k}, \quad (4)$$

где $\alpha \leq \gamma < s$, а блочные матрицы $\Phi_k(1, \alpha)$, $Q_k(1, \gamma)$, $Q_k(\gamma, \alpha)$ имеют следующую структуру:

$$\Phi_k(1, \alpha) = [\Phi_k, \Phi_{k-1}, \dots, \Phi_{k-\alpha}], \quad Q_{k+1}(1, \gamma) = [Q_{k+1}(1), Q_{k+1}(2), \dots, Q_{k+1}(\gamma+1)],$$

$$Q(\gamma, \alpha) = \begin{bmatrix} Q_k(0) & Q_k^T(1) & \dots & Q_k^T(\alpha) \\ Q_k(1) & Q_{k-1}(0) & \dots & Q_{k-1}(\alpha-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_k(\alpha) & Q_{k-1}(\alpha-1) & \dots & Q_{k-\alpha}(0) \\ Q_k(\alpha+1) & Q_{k-1}(\alpha) & \dots & Q_{k-\alpha}(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_k(\gamma) & Q_{k-1}(\gamma-1) & \dots & Q_{k-\alpha}(\gamma-\alpha) \end{bmatrix}$$

Уравнение (4) запишем в виде:

$$Q_{k+1,j}^T(1, \gamma) = Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_{k,j}^T(1, \alpha), \quad (5)$$

где $Q_{k+1,j}^T(1, \gamma)$ и $\Phi_{k,j}^T(1, \alpha)$ – j -ые столбцы матриц $Q_{k+1}^T(1, \gamma)$, $\Phi_k^T(1, \alpha)$ соответственно, $j = 1, 2, \dots, p$.

Учитывая большую размерность матрицы $Q_k(\gamma, \alpha)$ при решении уравнения (5) будем использовать блочный вариант метода Гаусса – Зейделя для нормальных систем уравнений с использованием «микроитераций»:

$$d_r = Q_{k,l}^+(\gamma, \alpha) \phi_r, \quad \Phi_{k,j,r+1}^T(1, \alpha) = \Phi_{k,j,r}^T(1, \alpha) + \xi I_l d_r, \quad \phi_{r+1} = \phi_r - \xi Q_{k,l}(\gamma, \alpha) d_r,$$

где $l = l(r) = (r \bmod p) + 1$; $\{\xi\}_{l=0}^{\infty}$ – периодическая последовательность вида $1, 2, \dots, \alpha + 1, 1, 2, \dots, \alpha + 1, \dots$; $I = (I_1 I_2 \dots I_{\alpha+1})$; $I_l \in R^{p \times p_j}$; I – единичная матрица порядка n .

Если $\Phi_{k,j,0}^T(1, \alpha)$ – произвольный вектор, а ϕ_0 удовлетворяет условию согласования $\phi_0 = Q_{k+1,j}^T(1, \gamma) - Q_k(\gamma, \alpha) \Phi_{k,j,0}^T(1, \alpha)$, то $\Phi_{k,j,r}^T(1, \alpha) \xrightarrow{r \rightarrow \infty} \Phi_{k,j,*}^T(1, \alpha)$, где $\Phi_{k,j,*}^T(1, \alpha)$ – псевдорешение системы уравнений (5).

Предложенные устойчивые итерационные алгоритмы условно оптимальной фильтрации линейных систем управления при непараметрическом описании коррелированных шумов позволяют снизить

вычислительную сложность и повысить скорость и точность итерационного процесса вычисления матриц аппроксимации шумов.

В главе также рассмотрены вопросы синтеза динамических объектов управления на основе принципов замкнутого стохастического управления, устойчивых алгоритмов оценивания начального состояния объектов управления в условиях ограниченного объема исходной информации, и алгоритмов устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления с неизвестными возмущениями. Показано, что при их практической реализации эффективными оказываются вычислительные схемы упрощенной регуляризации.

Третья глава диссертации «Разработка алгоритмов устойчивого адаптивного оценивания состояния на основе методов условно-гауссовской фильтрации» посвящена разработке устойчивых алгоритмов адаптивного оценивания состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений, субоптимального оценивания состояния объектов управления, адаптивного оценивания расширенного вектора состояния управляемых объектов, и адаптивного многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления.

При решении разнообразных задач синтеза систем управления динамическими объектами возникает проблема оценивания вектора состояния управляемого объекта на основе фильтра Калмана с учетом параметрических возмущений. Запишем уравнения для ошибки возмущенного фильтра и случайной составляющей $\delta P_i^{(v)}$:

$$\delta \hat{x}_{i+1} = L_0 \delta \hat{x}_i + L_1 \delta A_{i+1}^{(v)} + L_2 \delta H_{i+1}^{(v)} + L_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} + L_4 \delta R_{i+1}^{(v)} + L_5 \delta P_i^{(v)}. \quad (6)$$

$$\delta P_{i+1}^{(v)} = N_0 \delta P_i^{(v)} + N_1 \delta A_{i+1}^{(v)} + N_2 \delta H_{i+1}^{(v)} + N_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} + N_4 \delta R_{i+1}^{(v)}, \quad (7)$$

где $\delta P_0^{(v)}$ - вектор ошибок определения элементов матрицы априорной ковариации.

Уравнение (6) позволяет сформировать стохастическое уравнение истинной оценки в следующем виде:

$$x_{i+1}^0 = L_0 x_i^0 + K_{i+1} y_{i+1} - L_1 \delta A_{i+1}^{(v)} - L_2 \delta H_{i+1}^{(v)} - L_3 \delta Q_{i+1}^{(v)} - L_4 \delta R_{i+1}^{(v)} - L_5 \delta P_i^{(v)}, \quad x_0^0 = \hat{x}_0 - \delta \hat{x}_0$$

где $\delta \hat{x}_i$ - возмущения вектора состояния объекта.

Уравнение расширенного оцениваемого вектора в этом случае имеет вид

$$Z_{i+1} = G_L \cdot Z_i + G_N \cdot \left[\left(\delta A_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta H_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta Q_{i+1}^{(v)} \right)^T \mid \left(\delta R_{i+1}^{(v)} \right)^T \right]^T + G_c,$$

где

$$Z_i = \begin{bmatrix} x_i^0 \\ -\delta \hat{x}_i \\ \delta P_i^{(v)} \end{bmatrix}; \quad G_L = \begin{bmatrix} L_0 & 0 & -L_5 \\ 0 & L_0 & L_5 \\ 0 & 0 & N_0 \end{bmatrix}; \quad G_N = \begin{bmatrix} -G \\ G \\ G_1 \end{bmatrix}; \quad G_c = \begin{bmatrix} K_{i+1} y_{i+1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$G = [L_1 \mid L_2 \mid L_3 \mid L_4], \quad G_1 = [N_1 \mid N_2 \mid N_3 \mid N_4].$$

Уравнение наблюдения можно записать следующим образом:

$$\hat{x}_{i+1} = A_{i+1/i} (x_i^0 + \delta \hat{x}_i) + K_{i+1} (H_{i+1} A_{i+1/i} \Delta_i + H_{i+1} w_{i+1} + v_{i+1}),$$

где Δ_i - вектор ошибок оптимальной оценки вектора состояния невозмущенной системы «объект-наблюдатель».

Функциональный характер данного уравнения позволяет получить уравнения искомого фильтра на основе методов теории условно-гауссовской фильтрации. Алгоритм оценивания стохастического объекта при наличии параметрических возмущений можно записать в виде:

$$\hat{Z}_{i+1} = G_c + G_L \hat{Z}_i + (G_L J_i A_c^T) F^+ (\hat{x}_{i+1} - A_c \hat{Z}_i), \quad (8)$$

$$J_{i+1} = G_L J_i G_L^T + G_N D_\xi G_N^T - G_L J_i A_c^T F^+ A_c J_i G_L^T, \quad (9)$$

$$\hat{Z}_0 = M(Z_0) = \begin{bmatrix} \hat{x}_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad J_0 = \begin{bmatrix} D_{\delta x} & D_{\delta x} & 0 \\ D_{\delta x} & D_{\delta x} & \\ 0 & & D_{\delta p} \end{bmatrix},$$

$$F = E_p + A_c J_i A_c^T, \quad (10)$$

где

$$D_\xi = \begin{bmatrix} D_{A_{i+1}} & & & 0 \\ & D_{H_{i+1}} & & \\ & & D_{Q_{i+1}} & \\ 0 & & & D_{R_{i+1}} \end{bmatrix} \cdot \delta_{(i+1,j+1)}; \quad A_c = [1 \quad 1 \quad 0] \otimes A_{i+1/i};$$

$$E_p = [K_{i+1} H_{i+1} A_{i+1/i} \mid K_{i+1} H_{i+1} \mid K_{i+1}] \begin{bmatrix} P_{i/i-1} & & 0 \\ & Q_{i+1} & \\ 0 & & R_{i+1} \end{bmatrix} [K_{i+1} H_{i+1} A_{i+1/i} \mid K_{i+1} H_{i+1} \mid K_{i+1}]^T,$$

где $D_{\delta x}$ – ковариационная матрица ошибок определения вектора начальной оценки; $D_{\delta p}$ – ковариационная матрица ошибок определения матрицы априорных ковариаций P_0 ; $D_{A_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$, $D_{H_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$, $D_{Q_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$ и $D_{R_{i+1}} \delta_{(i+1,j+1)}$ – соответствующие матрицы интенсивностей; \otimes – символ кронекерова произведения.

Матрица F вида (10), псевдообратная которой F^+ используется в (8) и (9) для оценивания Z и J , является симметричной плохообусловленной закононеопределенной матрицей. С целью стабилизации искомого решения и придания большей численной устойчивости процедуре псевдообращения в (8), (9), необходимо использовать регулярные методы. При реализации (8) и (9) в работе использован регуляризованный метод Холецкого факторизации симметричных матриц.

Приведенные алгоритмы позволяют стабилизировать процедуру обращения матриц при оценивании состояния стохастических объектов и тем самым повысить точность определения истинной оценки вектора состояния при возмущении параметров объекта и наблюдателя.

Результатом решения задач фильтрации, как известно, являются оптимальные правила оценок случайных процессов и соответствующие им структурные схемы оптимальных устройств оценивания. Рассмотрим совместный процесс $Z^T(k+1) = [X^T(k+1), Y^T(k+1)]$, который описывается стохастическим разностным уравнением:

$$Z(k+1) = \Phi_z[k+1, k; Z(k)] + \Gamma_z[k+1, k; Z(k)] N_z(k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (11)$$

где $Z(k+1)$ – вектор-столбец размером $(n+m) \times 1$; $X(k+1)$ – $(n \times 1)$ -мерный ненаблюдаемый компонент вектора $Z(k+1)$; $Y(k+1)$ – часть компонент

вектора $Z(k+1)$, доступная для непосредственного наблюдения; $\Phi_z[\cdot]$ и $\Gamma_z[\cdot]$ – известные векторные функции своих аргументов; $N_z(k)$ – векторы независимых гауссовских случайных величин.

Предположим, что функции, входящие в правую часть уравнения (11), имеют вид:

$$\begin{aligned}\Phi_z[k+1, k, Z(k)] &= \Phi_{zx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{zy}[k+1, k; Y(k)] = \\ &= \begin{bmatrix} \Phi_{xx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{xy}[k+1, k; Y(k)] \\ \Phi_{yx}[k+1, k; Y(k)]X(k) + \Phi_{yy}[k+1, k; Y(k)] \end{bmatrix}, \\ \Gamma_z &= \Gamma_z[k+1, k; Y(k)] = [\Gamma_x^T[k+1, k; Y(k)]\Gamma_y^T[k+1, k; Y(k)]]^T.\end{aligned}$$

При реализации субоптимальных алгоритмов дискретной фильтрации обычно стремятся сократить общие вычислительные затраты. С этой точки зрения целесообразно использовать субоптимальный алгоритм оценивания вида:

$$\begin{aligned}X^*(k+1) &= \Phi_{xx}[k+1, k; Y(k)]X^*(k) + \Phi_{xy}[k+1, k; Y(k)] + \\ &+ \bar{K}(k+1)\{Y(k+1) - \Phi_{yx}[k+1, k; Y(k)]X^*(k) - \Phi_{yy}[k+1, k; Y(k)]\},\end{aligned}\quad (12)$$

в котором субоптимальные значения матрицы коэффициентов передачи $\bar{K}(k+1)$ и ковариационной матрицы $P(k+1)$ могут быть вычислены по формулам:

$$\bar{K}(k+1) = [\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T][\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]^{-1},\quad (13)$$

$$\begin{aligned}P(k+1) &= \Phi_{xx}P(k)\Phi_{xx}^T + \Gamma_x\Gamma_x^T + [\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T] \times \\ &\times [\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]^{-1}[\Phi_{xx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_x\Gamma_y^T]^T.\end{aligned}\quad (14)$$

Таким образом, при вычислении матриц $\bar{K}(k+1)$ и $P(k+1)$ в выражениях (13) и (14) необходимо на каждом шаге обращать матрицу $A(k) = [\Phi_{yx}P(k)\Phi_{yx}^T + \Gamma_y\Gamma_y^T]$. От точности обращения этой матрицы существенно зависит эффективность субоптимального алгоритма оценивания (12).

Принимая во внимание, что матрица $A(k)$ в выражениях (13) и (14) является квадратной и положительно определенной, целесообразно использовать следующие рекуррентные соотношения:

$$\begin{aligned}\gamma_{t+1} &= \gamma_t - \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ a_{t+1} \gamma_t, \quad \gamma_0 = I, \\ X_{t+1} &= X_t + \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ (c_{t+1} - a_{t+1} X_t), \quad X_0 = 0,\end{aligned}$$

где $a_t, t=1,2,\dots,n$ – строки матрицы $A(k)$, $\gamma_{t+1}, t=1,2,\dots,n$ – последовательность матриц размерности $(n \times n)$, $c_t, t=1,2,\dots,n$ – строки матрицы $I - \gamma_n$, $X_t, t=1,2,\dots,n$ – последовательности матриц, размерности $(n \times n)$.

Точность вычислений здесь контролируется по следам матриц $\gamma_t, t=1,2,\dots,n$ в зависимости от обусловленности матрицы $A(k)$.

Приведенные алгоритмы позволяют повысить точность и устойчивость процедуры субоптимального оценивания ненаблюдаемых координат случайных процессов.

Во многих случаях при описании объектов управления возникает необходимость использования нелинейных уравнений или нелинейных

рекуррентных соотношений. Пусть уравнения динамики и измерений стохастической системы описываются разностными уравнениями

$$X_{k+1} = f(X_k, k) + \sigma(X_k, k)V_{1,k}, \quad X \in R^n, \quad V_1 \in R^T, \quad k = 0, 1, \dots,$$

$$Y_k = \varphi(X_k, k) + \psi(X_k, k)V_{2,k}, \quad Y \in R^n, \quad V_2 \in R^m.$$

В случае высокой размерности вектора X целесообразно использовать многошаговые алгоритмы фильтрации, позволяющие существенно сократить количество уравнений, определяющих оценку \hat{X} . Для реализации такого подхода вектор $X \in R^n$ разбивают на s подвекторов, т.е. $X = [X_1^T, X_2^T, \dots, X_s^T]^T$, где $X_1 \in R^{n_1}$, $X_2 \in R^{n_2}$, ..., $X_s \in R^{n_s}$ и $n_1 + n_2 + \dots + n_s = n$.

В соответствии с принятой последовательностью операций данного алгоритма, например, на i -м шаге, при $i \leq s$ определяют оценку \hat{X}_i на основе следующих рекуррентных соотношений:

$$\begin{aligned} \hat{X}_{i,k+1} &= \hat{X}_{i,k+1/k} + \alpha_{i,k+1} \beta_{i,k+1}^{-1} [Y_{k+1} - \bar{\varphi}_i + \bar{\varphi}_{x_i} \hat{X}_{i,k} - \bar{\varphi}_{x_i} X_{i,k+1/k}], \\ \hat{X}_{i,k+1/k} &= \bar{f}_i(\hat{X}_{1,k}, \dots, \hat{X}_{s,k}, k), \quad \alpha_{i,k+1} = [\bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T + \sigma_i \sigma_i^T] \varphi_{x_i}^T, \\ \beta_{i,k+1} &= \bar{\varphi}_{x_i} [\bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T + \sigma_i \sigma_i^T] \bar{\varphi}_{x_i}^T + \psi_i \psi_i^T, \quad P_{i,k+1} = \bar{f}_{ix_i} P_{i,k} \bar{f}_{ix_i}^T - \alpha_{i,k+1} \beta_{i,k+1}^{-1} \alpha_{i,k+1}^T + \sigma_i \sigma_i^T. \end{aligned} \quad (15)$$

Наиболее трудоемкой в рассматриваемом алгоритме многошагового оценивания является операция обращения матрицы $\beta_{i,k+1}$ в (15). От качества осуществления этой процедуры существенно зависит точность и вычислительная устойчивость алгоритма оценивания.

Для устойчивого псевдообращения матрицы $\beta_{i,k+1}$ в работе использовались следующие соотношения:

$$\beta_{i,k+1}^+ = T^T (TT^T)^{-2} T, \quad (16)$$

где матрица $T_{(n \times r)}$ ранга r определяется из разложения

$$\beta_{i,k+1} = T^T T.$$

В случае, если матрица $\beta_{i,k+1}$ плохо обусловлена или вырождена, то для повышения устойчивости процедуры псевдообращения в (16) целесообразно использовать регулярные процедуры вида:

$$\beta_{i,k+1}^+ = T^* (TT^* + \alpha I)^{-2} T,$$

где $\alpha > 0$ – параметр регуляризации, I – единичная матрица.

Параметр регуляризации α здесь целесообразно определять на основе способа модельных примеров.

Приведенные алгоритмы способствуют стабилизации вычислительной процедуры обращения матрицы $\beta_{i,k+1}$, и тем самым повышению точности многошагового оценивания состояния нелинейных стохастических систем.

Здесь также рассмотрены вопросы построения алгоритмов устойчивого адаптивного оценивания расширенного вектора состояния управляемых объектов. При их практической реализации эффективными оказываются вычислительные схемы метода «умеренной порчи».

В четвертой главе диссертации «**Применение разработанных алгоритмов в задачах автоматизации и управления технологическим процессом низкотемпературной сепарации газа**» приводятся результаты

применения разработанных алгоритмов синтеза адаптивных систем управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации при автоматизации и управлении технологическим процессом низкотемпературной сепарации газа.

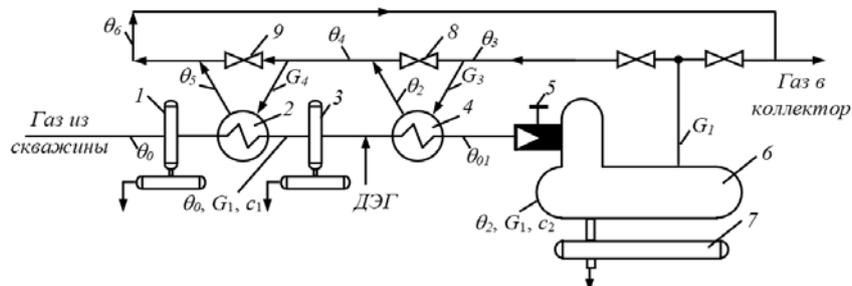


Рис. 1. Упрощенная расчетная схема установки низкотемпературной сепарации: 2 и 4 – первая и вторая ступени теплообменника; 5 – турбодетандер; 1, 3 и 6 – сепараторы; 7- разделительная емкость, 8, 9 – задвижки; G_1, G_2, G_3, G_4 – расходы газа в соответствующих точках; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$ – температуры газа в соответствующих точках; c_1 и c_2 – удельные теплоемкости горячего и холодного газа соответственно.

Анализ литературных данных и результаты предварительных исследований показывают, что процесс низкотемпературной сепарации газа относится к многосвязным нестационарным объектам управления. В этой связи весьма актуальной является задача синтеза и анализа автономной системы управления рассматриваемым процессом в условиях неопределенности.

Экспериментальные исследования проводились по шести основным каналам: положение регулирующего органа 8 - температура в сепараторе и в точке ввода диэтиленгликоля (ДЭГ) – W_{11} и W_{21} ; положение регулирующего органа 9 - температура в точке ввода ДЭГ и в сепараторе – W_{22} и W_{12} ; положение регулируемого штуцера 5 - температура в сепараторе и в точке ввода ДЭГ – W_{13} и W_{23} .

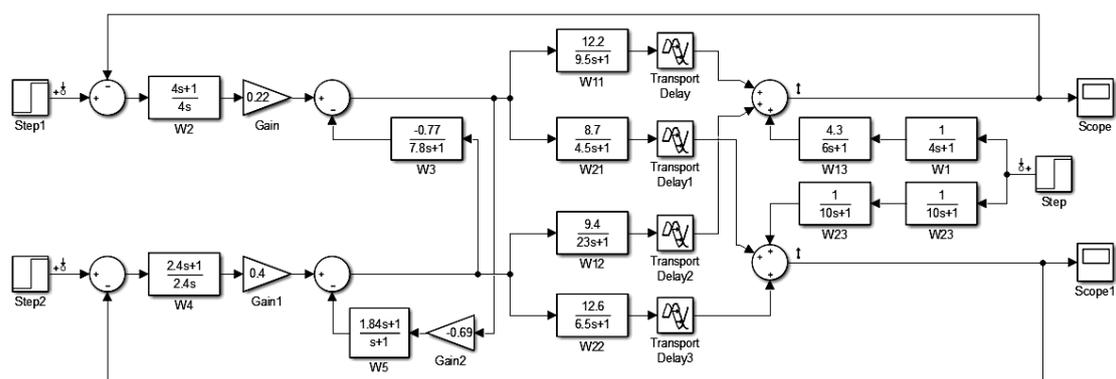


Рис. 2. Структурная схема связанной системы автоматического регулирования температуры газа.

Система регулирования рассматриваемого процесса приведена на рис.2. Здесь R_{11} и R_{22} – ПИ-регуляторы; R_{12} и R_{21} – передаточные функции динамических компенсаторов определены из условия независимости регулируемой температуры θ_1 от изменения разности $\theta_{20} - \theta_2$ и регулируемой

температуры θ_2 от изменения разности $\theta_{10} - \theta_1$, где θ_{10} и θ_{20} – заданные значения температур.

Кривые 1 и 2 изменения температуры при $\Delta\theta_{20} = 2^\circ\text{C}$ приведены на рис.3.

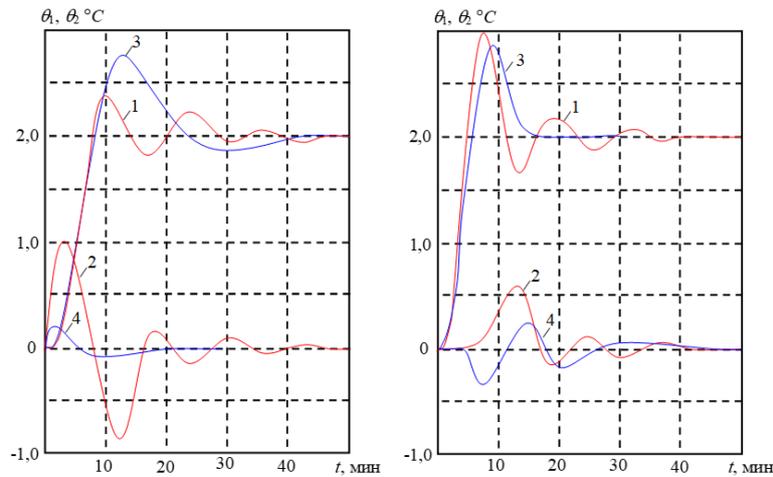


Рис. 3. Кривые переходных процессов при управляющем воздействии $\theta_{y1}=2^\circ\text{C}$ (а) и $\theta_{y2}=2^\circ\text{C}$ (б).

В реальных условиях функционирования процесса низкотемпературной сепарации на объект оказывает влияние внешнее возмущение f – расход газа на входе установки низкотемпературной сепарации. Применение схем связанного управления при наличии внешних возмущений и изменении характеристик процесса не обеспечивает оптимального режима работы технологического объекта. В этом случае получить наилучшее качество управления объектом позволяет синтез и использование связно-комбинированных адаптивных систем управления, существенно снижающих, а иногда и полностью исключаящих влияние на выходную величину не только перекрестных каналов, но и внешних возмущений за счет применения соответствующих динамических компенсаторов. Разработка наиболее эффективных систем этого класса связана с реализацией принципов инвариантности, автономности и адаптивности.

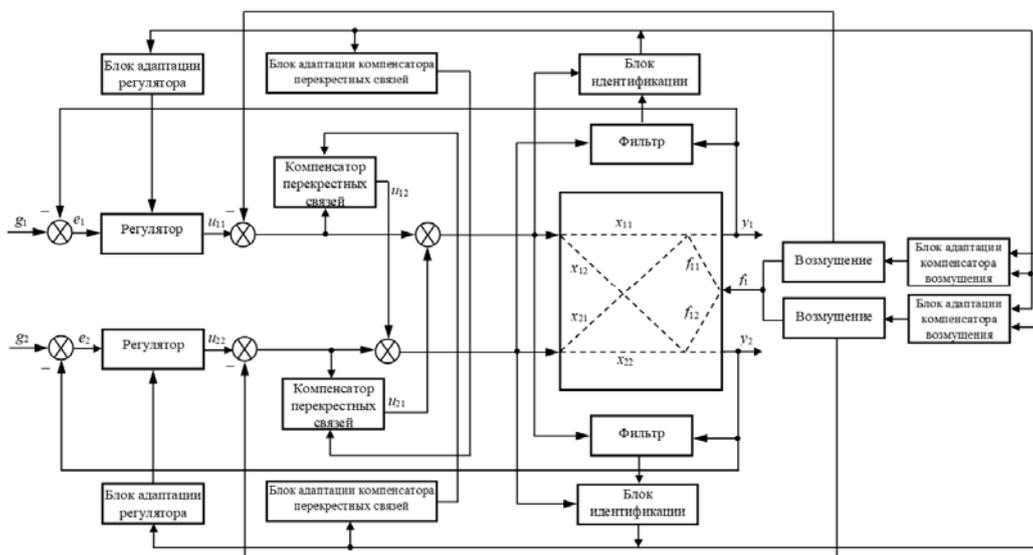


Рис. 4. Структурная схема адаптивной связанной инвариантной системы управления.

На рис. 4 приведена структурная схема предлагаемой адаптивной связанной инвариантной системы управления.

Для идентификации уравнение объекта запишем в виде:

$$x(t+1) = b_0 + \sum_{i=1}^{m_1} b_i x(t+1-i) + \sum_{i=n_1+1}^n b_i x(t+1-\tau_1-i) + \sum_{j=1}^m b_{n+j} u(t+1-\tau-j) + \xi(t), \quad (17)$$

где τ_1, τ - дискретные чистые запаздывания, управляющее воздействие имеет ограничение по амплитуде $u_1 \leq u(t) \leq u_2$; $b_i (i=0, \dots, n+m)$ - неизвестные параметры объекта; $|\xi(t)| \leq \xi_1$.

Уравнение (17) можно записать в следующем виде:

$$Y(t) = Z(t-1)\beta(t), \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} Y(t) &= (y^T(t) \dots y^T(t-p+1))^T, \quad Z(t-1) = (z^T(t-1) \dots z^T(t-p))^T, \\ y(k) &= z(k-1)\beta(t), \quad k = t, t-1, \dots, t-p+1, \\ z(k) &= (1, x(k), \dots, x(k+1-n_1), x(k-\tau_1-n_1), \dots, x(k+1-\tau_1-n), u(k-\tau), \dots, u(k+1-\tau-m)), \\ \beta^T(t) &= (b_0, b_1, \dots, b_{n+m}). \end{aligned}$$

Вектор приращений параметров $\Delta\beta(t) = \beta(t) - \beta(t-1)$ находим из критериев

$$\|e_0(t) - Z(t-1)\Delta\beta(t)\|^2 = \min, \quad \|\Delta\beta(t)\|^2 = \min,$$

т.е.

$$\Delta\beta(t) = Z^+(t-1)(X(t) - Z(t-1)\beta(t-1)), \quad (19)$$

где

$$X(t) = (x^T(t) \dots x^T(t-p+1))^T, \quad e_0(t) = X(t) - Z(t-1)\beta(t-1).$$

С целью обеспечения устойчивости процедуры псевдообращения выражение (19) запишем в виде:

$$\Delta\beta(t) = (Z^T(t-1)Z(t-1) + \alpha I)^{-1} Z^T(t-1)(X(t) - Z(t-1)\beta(t-1)),$$

где параметр регуляризации α целесообразно определять на основе способов квазиоптимальности или отношений.

После определения приращения $\Delta\beta(t)$ находим сами параметры

$$\beta(t) = \beta(t-1) + \Delta\beta(t). \quad (20)$$

Управление для каждого момента времени t находим из квадратичного критерия

$$(y(t+1+\tau) - x^*(t+1+\tau))^2 = \min, \quad u_1 \leq u(t) \leq u_2,$$

что приводит к уравнению вида

$$u(t) = \begin{cases} u_1, & \text{если } v(t) < u_1, \\ v(t), & \text{если } u_1 \leq v(t) \leq u_2, \\ u_2, & \text{если } u_2 < v(t), \end{cases} \quad (21)$$

в котором

$$v(t) = \beta_{n+1}^{-1}(t) [x^*(t+1+\tau) - L(\beta'(t), y(t+\tau), u(t-1))], \quad t \geq 0,$$

где $x^*(t+1)$ - назначенная траектория в каждый момент времени $t > 0$.

На основе приведенных выражений (18-20) производилась идентификация объекта и формирование управляющего воздействия в соответствии с (21). Кривые переходных процессов приведены на рис. 5

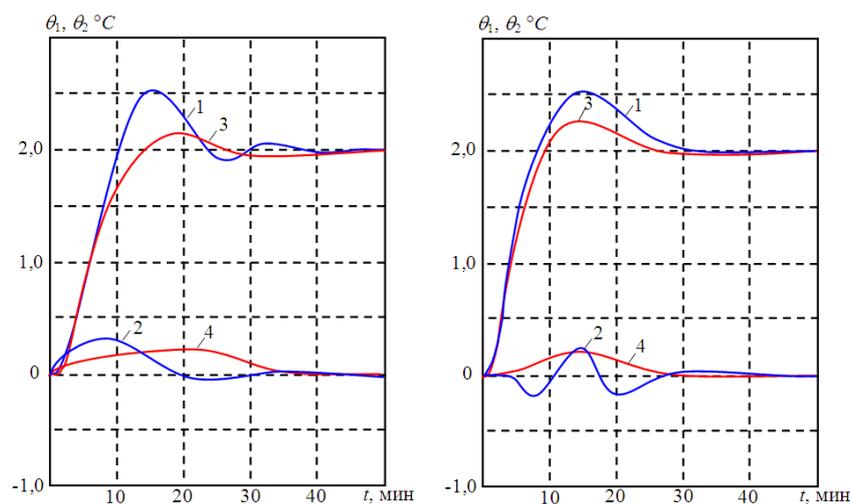


Рис. 5. Кривые переходных процессов в адаптивной автономной инвариантной системе управления при управляющем воздействии $\theta_{y1}=2^{\circ}\text{C}$ (а) и $\theta_{y2}=2^{\circ}\text{C}$ (б): 1 и 2 – $\theta_1(t)$ и $\theta_2(t)$ при адаптации регуляторов; 3 и 4 – $\theta_1(t)$ и $\theta_2(t)$ при адаптации регуляторов и автономных компенсаторов

Таким образом, использование предложенной адаптивной автономной инвариантной системы управления на основе алгоритмов текущей идентификации объекта и адаптации управляющих алгоритмов позволит повысить качество управления технологическим процессом низкотемпературной сепарации газа в условиях нестационарности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа, теории автоматического управления, динамической фильтрации и решения некорректных задач разработаны алгоритмы адаптивного оценивания состояния стохастических объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации.

В итоге получены следующие научные результаты:

1. Разработаны алгоритмы регулярного оценивания начального состояния объектов управления в условиях ограниченного объема исходной информации. Предложенные алгоритмы позволяют оценить точность динамической фильтрации в переходном режиме работы фильтра.
2. Разработаны алгоритмы устойчивого оценивания динамических объектов управления с неизвестными возмущениями. Полученные алгоритмы позволяют осуществлять процедуру синтеза динамического фильтра для объектов с неизвестными возмущениями на основе принципа расширения пространства состояния.
3. Разработаны устойчивые алгоритмы условно оптимальной фильтрации объектов управления при непараметрическом описании коррелированных шумов. Предложенные алгоритмы позволяют снизить вычислительную сложность и повысить скорость сходимости итерационного алгоритма условно оптимальной фильтрации.

4. Разработаны регуляризованные алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений. Алгоритмы позволяют повысить точность определения истинной оценки вектора состояния при возмущении параметров объекта и наблюдателя.
5. Разработаны устойчивые алгоритмы субоптимального оценивания состояния объектов управления. Настоящие алгоритмы позволяют повысить точность и устойчивость процедуры субоптимального оценивания ненаблюдаемых координат случайных процессов.
6. Разработаны алгоритмы устойчивого оценивания расширенного вектора состояния управляемых объектов. Полученные алгоритмы позволяют производить устойчивое совместное оценивание вектора состояния и параметров системы, а также реализовать отдельные подсистемы оценивания и управления.
7. Разработаны алгоритмы устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления. Эти алгоритмы способствуют стабилизации вычислительной процедуры обращения матрицы и повышению точности многошагового оценивания состояния нелинейных объектов управления.
8. На основе разработанных алгоритмов регулярного синтеза предложена адаптивная автономная инвариантная система управления процессом низкотемпературной сепарации газа. Предложенная адаптивная система управления позволит стабилизировать технологические режимы протекания процесса и повысить качество и эффективность его функционирования.

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

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

KODIROV DILMUROD TUKHTASUNOVICH

ADAPTIVE EVALUATION ALGORITHMS FOR THE STATUS OF
STOCHASTIC CONTROL OBJECTS BASED ON CONDITION-GAUSS
FILTRATION METHODS

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2017.2.PhD/T169.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

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

Scientific adviser: **Igamberdiev Khusan Zakirovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

Official opponents: **Gulyamov Shukhrat Mannapovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Kholmatov Davron Abdualimovich
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Leading organization: **Bukhara engineering-technological institute**

Defense of dissertation will take place in «__» _____ 2019 at ____ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.27.06.2017.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 87). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel. : (99871) 246-03-41.)

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

N.R.Yusupbekov
Chairman of the Scientific Council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

U.F.Mamirov
Scientific Secretary of Scientific Council,
on awarding scientific degrees,
PhD in technical science

A.M.Nazarov
Vise-Chairman of the Academic Seminar
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work algorithms for adaptive estimation of the state of stochastic control objects based on the methods of conditionally Gaussian filtering and computational schemes for their practical implementation.

The object of the research are the algorithms for estimating the state of stochastic control objects based on conditional Gaussian filtering methods.

Scientific novelty of the research work is as follows:

developed stable algorithms for conditionally optimal filtering of control objects with a non-parametric description of correlated noise based on the block version of the Gauss – Seidel method;

developed regular algorithms for adaptive estimation of the state of control objects taking into account parametric perturbations on the basis of a stable procedure for the treatment of poorly defined sign-undefined matrices;

developed stable algorithms for suboptimal adaptive state estimation of control objects based on recurrent algorithms for finding pseudoinverse matrices;

algorithms for sustainable multi-step state estimation of nonlinear control objects are developed based on the method of reduction of suboptimal filtering procedures using the concepts of stable pseudo-inversion of nonnegatively defined matrices.

Implementation of the research results. On the basis of the obtained results of adaptive estimation of the state of stochastic control objects based on the methods of conditionally Gaussian filtering, the following were implemented:

developed regular algorithms for adaptive estimation of the state of control objects taking into account parametric perturbations (Reference of JSC «Uzneftgazqazibchiqirish» №05/09-58ж of January 30, 2019). As a result, the accuracy of calculating the parameters of the regulators is improved;

sustainable algorithms for suboptimal adaptive assessment of the state of control objects were developed (Reference of JSC «Uzneftgazqazibchiqirish» №05/09-58ж of January 30, 2019). Algorithms allow to stabilize the technological modes of the process of low-temperature gas separation.

developed algorithms for sustainable multi-step estimation of the state of nonlinear control objects (Reference of JSC «Uzneftgazqazibchiqirish» №05/09-58ж of January 30, 2019). As a result, the accuracy of determining object parameters and disturbances is increased.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and applications. The dissertation volume is 124 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Зарипов О.О., Кодиров Д.Т. Регулярные алгоритмы устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления на основе концепций адаптивной фильтрации // Вестник ТашГТУ, №4, 2010. – С.178-182. (05.00.00; №16)
2. Зарипов О.О., Севинов Ж.У., Кодиров Д.Т. Регулярные алгоритмы синтеза динамических систем на основе принципов замкнутого стохастического управления // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. №5, 2011. -С.70-74. (05.00.00; №12)
3. Кодиров Д.Т. Регулярное оценивание начального состояния объектов управления в условиях ограниченного объема исходной информации // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. №2, 2012. -С.87-89. (05.00.00; №12)
4. Кодиров Д.Т. Алгоритмы устойчивого многошагового оценивания состояния нелинейных стохастических систем // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. №5, 2017. -С.66-71. (05.00.00; №12)
5. Кодиров Д.Т., Мамиров У.Ф. Алгоритмы устойчивого оценивания расширенного вектора состояния динамической системы на основе методов условно-гауссовской фильтрации // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. №6, 2017. -С.73-78. (05.00.00; №12)
6. Kodirov D.T., Mamirov U.F. Sustainable Algorithms of Suboptimal Estimation Based on Methods of Condition-Gaussian Filtration // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 5, Issue 4, April 2018. -PP. 5634-5638. (05.00.00; №8)
7. Игамбердиев Х.З., Кодиров Д.Т. Регуляризованные алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления с учетом параметрических возмущений // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, ТашГТУ. №3, 2018. -С.47-51. (05.00.00; №12)
8. Игамбердиев Х.З., Кодиров Д.Т., Мамиров У.Ф. Устойчивые алгоритмы условно оптимальной фильтрации линейных систем управления при непараметрическом описании коррелированных шумов // Вестник ТашГТУ, №3, 2018. –С.10-15. (05.00.00; №16)

II бўлим (Часть II; Part II)

9. Botirov T.V., Kodirov D.T., Shukurova O.P., Safarov E.T. Adaptive algorithms of steady estimation of the condition of dynamic control objects // Sixth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation «WCIS – 2010». Tashkent, Uzbekistan. November 25-27, 2010. –pp. 198-200.
10. Зарипов О.О., Кодиров Д.Т. Регулярные алгоритмы устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления на основе концепций адаптивной фильтрации // Международная научно-практическая конференция «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации», Ташкент, 2010. – С.126-128.
11. Игамбердиев Х.З., Зарипов О.О., Кодиров Д.Т. Алгоритмы устойчивого адаптивного оценивания состояния объектов управления // «Халк хўжалик тармоқларида жараёнларни математик моделлаштириш ва бошқариш муоммалари» мавзусида ўтказиладиган Республика илмий-амалий конференцияси, Карши, 2011 йил 22 – 23 апрел. - С.160-161.
12. Игамбердиев Х.З., Кодиров Д.Т., Зарипов О.О. Регуляризованные алгоритмы адаптивной фильтрации на основе оценивания параметрических возмущений // Международная научная конференция «INNOVATION – 2011». Ташкент 25-27 октября. 2011. –С.225-226.
13. Кодиров Д.Т., Зарипов О.О. Анализ алгоритмов устойчивого адаптивного оценивания состояния линейного стохастического объекта управления // Журнал «Актуальные проблемы современной науки», Москва, №6, 2011. – с.314-318.
14. Кодиров Д.Т. Алгоритмы адаптивного оценивания состояния объектов управления на основе методов условно-гауссовской фильтрации // Республиканская научно-техническая конференция «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли», Навои, 14-15 июня. 2012. –С. 278.
15. Игамбердиев Х.З., Кодиров Д.Т. Алгоритмы адаптивного оценивания состояния управляемых объектов на основе условно-гауссовской фильтрации // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы энергосбережение при использования альтернативных источников энергии», Карши 28-29 апреля. 2017. –С. 426.
16. Кодиров Д.Т. Алгоритмы устойчивого оценивания состояния объектов управления на основе условно-гауссовской фильтрации // Материалы IX Международной научно-технической конференции: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса», Навои 12-14 июня, 2017. –С. 516.
17. Кодиров Д.Т. Устойчивые алгоритмы субоптимального оценивания на основе методов условно-гауссовской фильтрации // Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энергоресурсосбережения». Андижан, 3-4 октября. 2018. –С.1093-1094.
18. Kodirov D.T. Algorithms for sustainable adaptive evaluation of the state of the stochastic control objects / International scientific review of the problems and prospects of modern science and education, Boston, USA. April 22-23, 2019. –PP. 25-26.

Автореферат “ТошДТУ хабарлари” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84^{1/16}. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 71.

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

