

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

Қўлёзма ҳуқуқида

УДК 62-501.12

ЗАРИПОВ Орипжон Олимович

Мавзу: “Адаптив филтрлаш концепциялари асосида
динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмлари”

05.13.07 – «Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни
автоматлаштириш ва бошқариш» ихтисослиги

Техника фанлари номзоди илмий даражасини
олиш учун ёзилган диссертация

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И

Тошкент – 2007

Диссертация иши Абу Райхон Беруний номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилди.

Илмий рахбар:

техника фанлари доктори, профессор ИГАМБЕРДИЕВ Х.З.

Расмий оппонентлар:

техника фанлари доктори, профессор ИСМАИЛОВ М.А.
техника фанлари номзоди, доцент ВАРЛАМОВА Л.П.

Етакчи ташкилот: «Химавтоматика» ОАЖ

Химоя Абу Райхон Беруний номидаги Тошкент давлат техника университети хузуридаги Д067.07.01 ихтисослашган кенгашнинг 2007 йил «___»_____соат ___ да ўтадиган мажлисида бўлади.

Манзил: 700095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй, ТошДТУ бош биноси, 215-ауд.

Диссертация иши билан Абу Райхон Беруний номидаги Тошкент давлат техника университетининг фундаментал кутубхонасида танишиш мумкин (Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй).

Автореферат 2007 йил «___»_____да тарқатилди.

Ихтисослашган кенгаш
илмий котиби, техника

фанлари доктори, профессор

Азимов Р.К.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Мавзунинг долзарблиги. Кўплаб бошқарув жараёнлари ёки кўпқадамли муолажаларда ечим қабул қилишда техник ва технологик системалар учун хос бўлган ноаниқликлар ўрин эгаллайди. Ушбу ноаниқликлар синтезланаётган система ишлашининг сифатига бошқарув амалларининг таъсирини аниқ баҳолашга имкон бермайди. Системанинг ўзида ва кузатишларда мавжуд бўлган ноаниқликлар кўплаб масалаларда стохастик жараён сифатида тавсифланиши мумкин. Бундай масалаларга стохастик бошқариш усуллари қўллаш мумкин. Одатда бошқарувни автоматлаштиришнинг назарияси ва амалиётида ишончли эквивалентлик хоссасининг бажарилиш фаразига асосланган стохастик бошқарув тури қўлланилади. Умумий ҳолда бу бошқарув оптимал эмас. Ишончли эквивалентлик хусусиятига нисбатан бўлиниш хусусияти кучсизроқ ҳисобланади. Бўлиниш принципи оптимал стохастик бошқариш масаласини иккита мустақил остмасаларга: оптимал филтрлаш ёки баҳолаш масаласи ва оптимал детерминирланган бошқарув масаласига ажратиш имконини беради. Бу ҳолатлар яна бир бор синтезлашнинг умумий назариясида ва оптимал бошқариш системаларини қуришда динамик баҳолаш масаласининг муҳимлигини кўрсатади.

Ҳозирги вақтда сезиларли даражада ривож топган баҳолашнинг оптимал алгоритмлари априор статистик маълумотлар тўлиқ мавжуд бўлган ҳолдаги модели масалаларни ечишнинг натижасидир. Амалиётда эса одатда априор статистик маълумотлар тахминан маълум бўлган ёки умуман мавжуд бўлмаган ҳолатлар учрайди. Бундай ҳолатларда модели масалаларнинг шартлари бузилган бўлади, олинган баҳолаш алгоритмлари нооптимал ҳолатга келади, уларнинг баҳолашлари эса тўла эмас, шунингдек тарқоқ бўлиб қолади. Ушбу ҳолатлар юқорида айтиб ўтилган омилларга филтр параметрларининг маълум бир боғлиқ бўлмаслигини таъминлаш зарурлигини, яъни Калман филтрининг мослашиш заруриятини туғдиради.

Баҳолашнинг параметрик адаптив алгоритмларини амалда қўлланилиши ҳисоблаш кўринишидаги сезиларли қийинчиликларга учрайди. Бунга сабаб уларни шакллантиришда бошланғич маълумотларнинг жуда кичик ўзгаришларида ечими турғун бўлмай қоладиган масалаларни кўриб чиқишга тўғри келади. Бундай турдаги масалалар, мавжуд ҳолатда, ёмон шаклланган ҳисобланади. Улар нокоррект қўйилган масалалар синфига тегишли. Шу сабабли, параметрик априор ноаниқлик мавжуд бўлганда динамик системалар ҳолатини турғун баҳолашнинг самарали мунтазам алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни амалий қўллашнинг ҳисоблаш схемаларини синтез қилиш муҳим ўрин эгаллайди.

Кўрилаётган илмий-техник масаланинг ўрганилганлик даражаси. Адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари

ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмлари ва усулларини ишлаб чиқишга тегишли бўлган охирги йиллардаги илмий-техник адабиётлар тахлили бу соҳада сезиларли даражада назарий ва амалий натижаларга эришилганлигини кўрсатади. Хабарлар ва ҳалақитларнинг статистик тавсифларини априор ноаниқлиги шароитида ишловчи юқори аниқликка эга бўлган филтрларни қуришнинг турли йўллари мавжуд ва ишлаб чиқилмоқда.

Шу билан бирга, адабиётларда адаптив филтрларнинг синтезлаш масалаларида мунтазамлаштирувчи муолажаларнинг имкониятлари етарли даражада баҳоланмаган. Бунга сабаб, тегишли филтрлар тенгламаларига кирувчи ағдарилувчи матрицалар бузилмаган ҳолдагина филтрлаш натижалари ҳаққоний бўлади. Кўп ҳолларда ағдарилувчи матрицаларнинг бузилмаганлиги ҳақидаги тахминлар бузилади. Хусусан, ағдарилувчи матрицаларнинг ёмон шаклланганлиги аниқ ўлчашлар амалга оширилганда ёки нисбатан қисқа вақт ичида ҳолат векторини баҳолашга тузатиш киритишда тахминан бир хил ҳисса қўшувчи қатор ноаниқ ўлчашлар амалга оширилганда ўринли бўлади. Қийинчиликлар шартли корреляцион матрица Калман филтри алгоритмида матрицаларни айланишнинг маълум муолажаси натижасида ўзининг ижобий аниқлигини йўқота бошлаган шароитларда ҳам юзага келади. Ушбу ҳолатлар баҳолашнинг назарий ва амалий олинадиган тавсифлари бир-биридан фарқли бўлганликларининг натижасидир. Баъзида бу номутаносибликлар кўпайиб кетади ва баҳолаш алгоритмлари ишлаши натижаларидан фойдаланишнинг мақсадга мувофиқлиги ҳақида қарор қабул қилишда принципиал аҳамият касб этади. Юқорида таъкидланганларга кўра, адаптив баҳолашнинг самарали мунтазам алгоритмларини ишлаб чиқиши тугалланмаган деб ҳисоблаб бўлмайди.

Диссертация ишининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Иш Фан ва технологиялар марказининг давлат илмий-техника дастурлари доирасидаги №П-20.41 – «Мураккаб кимё-технология мажмуалари ва қурилмалари назорати ва бошқарувининг интеллектуаллаштирилган технологияларини тадбиқ этишнинг усуллари ва воситаларини ишлаб чиқиш» (2003-2005) ва №А-14-045 – «Узлуксиз характерли технологик жараёнларга эга саноат ишлаб чиқариши учун интеллектуаллаштирилган ахборот-бошқарув системаларини ишлаб чиқиш ва қўллаш» (2006-2008) топшириқларига мос равишда бажарилган.

Тадқиқот мақсади адаптив филтрация концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни аниқ ишлаб чиқариш жараёнининг автоматлаштириш масалаларини ечишда амалий қўллашдан иборат.

Тадқиқот вазифалари. Қўйилган мақсадга эришиш тадқиқотнинг қуйидаги масалаларини ечишни кўзда тутати:

- адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини баҳолаш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш;

- система шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг статистик тавсифларига инвариант бўлган бошқарув объектлар ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

- сигналлар ва ҳалақитлар тавсифларини бевосита баҳолашни четлаб ўтиб, филтрлашнинг жорий натижаларини қайта ишлаш асосида турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

- филтрнинг ишлаш жараёнида сигналлар ва ҳалақитларнинг стохастик тавсифларини ҳисоблаш ҳамда олинган маълумотларни уни оптималлаш учун қўллаш асосида турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

- объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг авто- ва ўзаро корреляцияланган шароитида адаптив филтрлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

- муайян технологик объектнинг адаптив бошқариш системасини синтезлаш масаласини ечишда ишлаб чиқилган ҳолатни турғун баҳолаш алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини амалий синовдан ўтказиш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Динамик бошқарув объектлар ҳолатини баҳолашнинг ва динамик филтрлашнинг усуллари ва алгоритмлари; адаптив филтрлаш концепцияси асосида динамик бошқарув объектлар ҳолатини турғун баҳолашнинг усуллари ва алгоритмлари.

Тадқиқот усуллари. Системали таҳлил, идентификациялаш, динамик филтрлаш, адаптив бошқариш ва нокоррект қўйилган масалаларни ечиш усуллари.

Химояга олиб чиқиладиган ҳолатлар:

- Калман филтрининг матрицали кучайтириш коэффиценти элементларини ташқи ҳалақит-сигналли муҳитнинг ўзгарувчан шароитида ушбу филтрни мосланишувига имкон берувчи адаптив баҳолашнинг мунтазам итерацион алгоритмлари;

- объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг ковариацион матрицаларини априор ноаниқлиги шароитида ғалаёнли таъсирларнинг ўзгарувчан статистик тавсифларига нисбатан филтрлаш жараёнларининг маълум бир боғлиқ бўлмаслигини таъминловчи ҳолат векторини турғун адаптив баҳолаш алгоритмлари;

- объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг авто- ва ўзаро корреляцияланган шароитларида мунтазам итерацион усуллар концепцияси асосида синтезланган адаптив баҳолаш алгоритмлари;

– грануланган ўғитлар ишлаб чиқаришдаги қуйилтирилган пульпани грануляцияли-қуритиш технологик жараёнининг адаптив бошқариш системаси.

Ишнинг илмий янгилиги адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмлари ва уларни амалий қўллашнинг ҳисоблаш схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти хабар ва ҳалақитларнинг статистик тавсифларини априор ноаниқлик шароитида адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолашнинг конструктив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Иш натижаларининг амалий аҳамияти адаптив филтрлаш ва технологик объектларнинг кенг синфини бошқариш системаларини синтезлаш масалаларининг математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқишдан иборат. Бошқарилувчи объектларнинг ҳолатини турғун баҳолаш учун ишлаб чиқилган алгоритмлар узлуксиз характердаги технологик жараёнларни бошқаришнинг адаптив системаларини лойиҳалашни автоматлаштириш ва функционал структурасини қуришда кенг қўлланилиши мумкин.

Натижаларнинг жорий қилиниши. Ишда олинган натижалар Олмалик «АММОФОС» ОАЖ да аммофос пульпасини грануляцияли-қуритиш технологик жараёнини адаптив бошқариш системасини ишлаб чиқиш бўйича лойиҳалаш ишларида қўллаш учун қабул қилинган. Қутилаётган йиллик иқтисодий самара 4 млн. 680 минг сўмни ташкил этади.

Ишнинг синовдан ўтиши (апробацияси). Диссертация ишининг асосий мавзулари «Автоматика-2004» (Киев, 2004) бошқариш бўйича халқаро анжумани; «World Conference on Intelligent System for Industrial Automation (b-Quadrat Verlag)» – WCIS-2004, 2006 (Tashkent, 2004, 2006) халқаро анжумани; «Инновация-2005» (Тошкент, 2005) халқаро илмий-амалий анжумани; «Современные проблемы математического моделирования» республика илмий анжумани (Нукус, 2005); «Математические методы в технике и технологиях» – ММТТ-18 (Қозон, 2005), ММТТ-19 (Воронеж, 2006) халқаро илмий анжуманлари; «Современное состояние и перспективы развития энергетики» (Тошкент, 2006) халқаро илмий-техник анжумани; «ISTIQLOL» республика илмий-техник анжумани (Навоий, 2007); Аспирант, докторант ва тадқиқотчиларнинг республика илмий-амалий анжумани (Тошкент, 2007) ларда маъруза ва муҳокама қилинган ҳамда тасдиқланган.

Натижаларнинг чоп этилганлиги. Тадқиқотлар натижасига кўра 15 та илмий мақола, шу жумладан, улардан 8 таси илмий журналларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва хажми. Диссертация иши кириш, тўртта боб, хулоса, 142 та адабиётлар рўйхати ва иловадан ташкил топган. Иш 126 бет машинаёзувли матн, 6 та расм ва 1 та жадвалдан таркиб топган.

Фурсатдан фойдаланиб, муаллиф масаланинг қўйилиши ва ишга илмий рахбарлиги учун илмий рахбар – техника фанлари доктори, профессор Х.З. Игамбердиевга, шунингдек, илмий маслахатлар ва ишга етарли эътибор учун ЎзР ФА академиги Н.Р. Юсупбековга ўзининг чуқур миннатдорчилигини билдиради.

ИШНИНГ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари изоҳланган ҳамда ишнинг умумий тавсифи келтирилган.

Диссертациянинг биринчи бобида динамик системаларни стохастик бошқариш ва баҳолаш алгоритмлари ҳамда масалалари таҳлил этилган.

Қуйидаги тенглама билан тавсифланувчи системани кўриб чиқамиз

$$x_{i+1} = A_i x_i + B_i u_i + \Gamma_i w_i, \quad (1)$$

$$z_i = H_i x_i + v_i, \quad (2)$$

бу ерда x_i – системанинг n ўлчамли ҳолат вектори; u_i – l ўлчамли бошқариш вектори; z_i – m ўлчамли кузатиш вектори; w_i ва v_i – $E[w_i] = 0$, $E[w_i w_k^T] = Q \delta_{ik}$, $E[v_i] = 0$, $E[v_i v_k^T] = R \delta_{ik}$, $E[w_i v_k^T] = 0$ тавсифли Гаусс оқ шовқинли кўринишнинг кетма-кетлигида бўлган мос равишда q ва p ўлчамли объект шовқини ва кузатиш ҳалақитлари векторлари; A_i, B_i, Γ_i и H_i – мос ўлчамли матрицалар, δ_{ik} – Кронекер белгиси.

Сифатнинг квадратик мезонини қўллаймиз

$$J_0 = E \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} (x_{k+1}^T P_{k+1} x_{k+1} + u_k^T V_k u_k) \right\}, \quad (3)$$

бу ерда P_k вазн матрицалари – мусбат ва ярим аниқланган. Бошқарув қонуни мавжудлиги ҳақидаги тахминда бошқарувнинг вазн матрицалари V_k мусбат аниқланган деб қабул қилинади. Сифатнинг квадратик мезонини кенг қўлланилишининг асосий сабаби аналитик тадқиқотларда унинг қулайлигидир.

(1)-система чизиқли бўлганлиги, бошланғич ҳолат, шовқин ва ҳалақитлар Гаусс кўринишга эга бўлганлиги учун, системанинг ҳолати ҳам вақтнинг исталган моментида Гаусс кўринишига эга. Бундан ташқари шовқин ва ҳалақитларнинг Гаусс характерли эканлигини инобатга олинса ҳамда (2) тенгламанинг чизиқли эканлиги тахмин қилинса, у ҳолда барча i лар учун ўлчашлар ҳам Гаусс кўринишга эга бўлади. Зичликлар $p(x_i | z^i)$ ва $p(x_i | z^{i-1})$ барча i лар учун Гаусс кўринишида бўлишини кўрсатиш мумкин. Апостериор зичлик $p(x_i | z^i)$ ўрта қиймат $\hat{x}_{i|i}$ ва баҳолаш хатолигининг ковариацион матрицаси $P_{i|i}$ орқали ёзилиши мумкин. Бу статистикалар Калман фильтри тенгламаси орқали аниқланади:

$$\hat{x}_{i|i-1} = A_{i,i-1} \hat{x}_{i-1|i-1} + B_{i,i-1} u_{i-1}, \quad (4)$$

$$\hat{x}_{i|i} = \hat{x}_{i|i-1} + K_i [z_i - B_{i,i-1} u_{i-1} - H_i \hat{x}_{i|i-1}], \quad (5)$$

бу ерда

$$K_i = P_{i|i-1} H_i^T [H_i P_{i|i-1} H_i^T + R_i]^{-1}, \quad (6)$$

$$P_{i|i-1} = A_{i|i-1} P_{i-1|i-1} A_{i|i-1}^T + Q_{i-1}, \quad (7)$$

$$P_{ij} = P_{ij-1} - K_i H_i P_{ij-1}, \quad (8)$$

бошланғич шартлар эса қуйидагича

$$\hat{x}_{0|-1} = \mu_0, \quad P_{0|-1} = M_0.$$

(4)-(8) тенгламалар ўрта, ковариация ва шу сабабли (1)-(2) тенгламага мос келувчи система учун Гаусс апостериор зичлиги функциясини тавсифлайди. У холда (1) ва (2) кўринишли чегараланишлар бўлганда (3) сифат мезонини минималлаштирувчи бошқариш стратегияси қуйидаги тенглама асосида шаклланади:

$$u_i = -\Lambda_{i+1} A_{i+1,i} x_i,$$

бу ерда

$$\begin{aligned} \Lambda_{i+1} &= (\tilde{A}_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i,i+1} \tilde{A}_{i+1,i} + V_i)^{-1} \tilde{A}_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i,i+1}, \\ \tilde{I}_{i,i+1} &= A_{i+1,i}^T \tilde{I}_{i+1,i+1} A_{i+1,i} + P_i, \quad \Pi_{ij} = \Pi_{ij+1} - \Pi_{ij+1} \Gamma_{i+1,i} \Lambda_{i+1}, \\ \tilde{I}_{N-1|N} &= P_N. \end{aligned}$$

Ушбу стратегия бошқарув системаларини тақсимлаш принципи асосида синтез қилиш имконини беради. Бу принципга кўра параметрлар ёки ҳолат ўзгарувчиларини баҳолаш муолажаси бошқариш қурилмаси параметрларини ҳисоблаш билан алоҳида бажарилади. Юқорида қайд этилганларга кўра турли функционал вазифали динамик объектларни бошқариш системаларини қуришнинг назарияси ва амалиётида объект шовқинлари ва ўлчаш халақитлари мавжуд бўлган шароитда бошқарилувчи объектлар ҳолат векторини баҳолаш масаласига жуда муҳим аҳамият берилади. Бошқарилувчи объектлар иш фаолиятининг реал шароитларида ташқи халақит-сигналли шароитлар катта чегарада ўзгариши мумкин. Ушбу шароитлар ёки филтрлар параметрларини ўлчаш учун олинган баҳоларни қўллаган ҳолда объект шовқини ва ўлчаш халақитининг номаълум статистик тавсифларини баҳолашни ёки филтр параметрларини бевосита мослашиш орқали адаптацияни амалга оширувчи кўрсатилган тавсифларда тўғридан-тўғри баҳолашсиз филтрларни қўллаш зарурлигини келтириб чиқаради. Аммо кўрсатилган ёндошувларнинг амалий қўлланилишида ечилаётган масалаларнинг ёмон шаклланган ва нотурғунлигига боғлиқ бўлган ҳисоблаш характерли қийинчиликлар юзага келади. Агар бошланғич маълумотлар тахминан маълум бўлса, у холда кўрсатиб ўтилган нотурғунлик берилган аниқлик чегарасида ечимнинг амалда ягона эмаслигига ва олинаятган тахминий ечимнинг маъносини англашда катта қийинчиликларга олиб келади. Шунинг учун динамик системалар ҳолатини ҳисоблашнинг аниқлигини ошириш масаласини ечишда мумкин бўлган турли ёндошувларни мунтазамлаштириш усуллари асосида кўриб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Қайд этилган ҳолатлар параметрик априор ноаниқлик шароитида динамик системалар ҳолатини турғун баҳолашнинг мунтазам алгоритмларини яратиш ва уларни амалий тадбиқ этиш зарур эканлигини кўрсатади. Юқорида баён этилган ҳулосалар ушбу адаптив филтрлаш

концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқишга ва уларни ишлаб чиқаришнинг муайян жараёнини автоматлаштириш масаласини ечишда амалий қўллашга бағишланган диссертация иши мақсадининг қўйилишини келтириб чиқаради.

Диссертациянинг иккинчи боби параметрик априор ноаниқликда турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқишга бағишланган.

(1) ва (2) тенгламалар билан берилган чизиқли динамик системага қараймиз. Оптимал филтрнинг муҳим хоссаси оқ шовқиннинг кетма-кет кўриниши ҳисобланувчи $y_i = z_i - H_i \hat{x}_{i|i-1}$ каби аниқланадиган қолдиқ хадларни ўз ичига олади. Бунда қолдиқ хаднинг ковариацияси $C_0 \stackrel{\Delta}{=} E[y_i y_i^T] = HPH^T + R$ га тенг, y_i жараённинг автоковариацион матрицаси эса $j = 1, 2, 3, \dots$, да

$$C_j \stackrel{\Delta}{=} E[y_{i+j} y_i^T] = H[A(I - KH)]^{j-1} A[PH^T - KC_0] \quad (9)$$

га тенг, бу ерда K – кучланишнинг ҳосилавий коэффициенти.

$$S = PH^T - KC_0 \quad (10)$$

дан S матрицани аниқлаб, (9) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$C_j = H[A(I - KH)]^{j-1} AS.$$

(9) ва (10) тенгламалардаги K ва S матрицалар бир хил $n \times m$ ўлчамга эга.

$$f = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_{ij}^2 \text{ кўринишда аниқланувчи } f \text{ функция абсолют минимумга}$$

$S=0$ да эришади, бу ерда s_{ij} – S матрицанинг (i,j) -элементи.

S матрицани нолга олиб келувчи K кучайтириш коэффициентини аниқлаш учун градиент проекцияси усулидан фойдаланамиз. Одатда етарли кичик хатоликлардаги градиент усулида бошланғич маълумотларга дастлабки яқинлашиш аниқ бошланғич маълумотлар билан мос келувчи яқинлашишдан кам фарқ қилади. Итерация сонини катталаштириш билан олинган яқинлашиш изланган ечимдан анча четлаб кетиши ҳам мумкин. Бошқача қилиб айтганда, ихтиёрий итерацион усулга принципиал мосланишлик учун, жумладан, градиентга ҳам нокоррект топшириқларни ечишга у мунтазамлаш параметри итерация рақами ҳисобланадиган мунтазамловчи операторлар оиласини келтириб чиқариши керак.

А.Н. Тихонов функциясини қаралаётган топшириқ учун ёзамиз

$$T_r(k_{pq}) = J(k_{pq}) + \alpha_r \Omega(k_{pq}), \quad k_{pq} \in K,$$

бу ерда $\alpha_r > 0$, $r = 1, 2, \dots$, $\lim_{r \rightarrow \infty} \alpha_r = 0$, турғунловчи бўлиб эса $\Omega(k_{pq}) = \|k_{pq}\|^2 / 2$ функция хизмат қилади.

Шунингдек $\Omega(k_{pq}) = \|k_{pq}\|^2 / 2$ – кучли каварик функция, у холда Ω – меъёрий ечим мавжуд бўлади ва ягона $k_{pq}^* \in K^* = \{k_{pq} : k_{pq} \in K, J(k_{pq}) = J_*\}$, $J_* = \inf J(k_{pq})$, $J_* > -\infty$, бунда $\lim_{r \rightarrow \infty} \|k_{pq}^r - k_{pq}^*\| = 0$ ва $r \rightarrow \infty$ бўлганда $\|v_r - k_{pq}^r\| \rightarrow 0$.

У холда

$$v_{r+1} = P_K(v_r - \beta_r(f'_r(v_r) + \alpha_r v_r)), \quad r = 1, 2, \dots; \quad v_1 \in K, \quad (11)$$

шарт билан аниқланувчи $\{k_{pq}^r\}$ кетма-кетлик минимал меъёр билан $k_{pq}^* \in K^*$ нуқтада меъёрга тушади. (11) даги $\{\alpha_r\}$, $\{\beta_r\}$ кетма-кетликларни $\alpha_r = r^{-1/3}$, $\beta_r = r^{-1/2}$, $r = 1, 2, \dots$ кўринишда танлашимиз мумкин.

Объект шовқини ва ўлчаш халақитларининг ковариацион матрицасини априор ноаниқлик шаротида холат векторини адаптив баҳолаш масаласини ечишда янгиланиш жараёни учун тенгламани қуйидагича ёзамиз:

$$v_{i+1|i} = z_{i+1} - H\hat{x}_{i+1|i},$$

бу ерда $\hat{x}_{i+1|i} = A_{i+1,i}\hat{x}_i = A_i^l \hat{x}_i$.

$M(v_{i+j|i} v_{i+1|i}^2)$, $j = 2, \dots, l$ ўзароковариацион матрицанинг навбатдаги кетма-кетлигини кўриб чиқамиз. Оптимал динамик фильтрация усулини назарда тутиб қуйидагини кўрсатиш мумкин

$$M(v_{i+j|i} v_{i+1|i}^2) = H A_i^{j-1} P_{i+1|i} H^T, \quad j = 2, \dots, l, \quad (12)$$

бу ерда $P_{i+1|i} = M(\tilde{x}_{i+1|i} \tilde{x}_{i+1|i}^T)$.

(12) тенгламани матрицали шаклда ёзамиз

$$Y_v = S P_{i+1|i} H^T, \quad (13)$$

бу ерда

$$Y_v = \begin{bmatrix} M(v_{i+2|i} v_{i+1|i}^T) \\ M(v_{i+3|i} v_{i+1|i}^T) \\ M(v_{i+4|i} v_{i+1|i}^T) \\ \dots \\ M(v_{i+l|i} v_{i+1|i}^T) \end{bmatrix}, \quad S = \begin{bmatrix} H \\ H A_i \\ H A_i^2 \\ \dots \\ H A_i^{l-2} \end{bmatrix} A_i.$$

Y_v ва S матрицаларни бошқа усулда ҳосил қилиш ҳам мумкин. Қаралаётган холатда адаптив филтрни синтез қилиш учун $P_{i+1|i} H^T$ матрицани ҳисоблаш керак. Амалий нуқтаи назардан (1) ва (2) даги ўлчаш халақитлари ва объект моделидаги мавжуд шовқинларни ҳисобга олиб, (13) тенгламанинг

ўнг томони бир қанча хатоликлар билан берилган деб фараз қиламиз. Шунингдек (13) билан бирга ҳар бир Y_v^δ матрицанинг j ($j=1,2,\dots,m$)-устунлар рақами учун $\|y_{v,j}^\delta - y_{v,j}\| \leq \delta$ аппроксимация шарти билан қуйидаги тенгламани ҳам кўриб чиқамиз

$$Y_v^\delta = SP_{i+1|i} H^T. \quad (14)$$

Кейинги ўринларда соддароқ кўриниш олиши учун (14) тенгламани $D_i = P_{i+1|i} H_i^T$ алмаштириш киритиб қуйидагича ёзамиз:

$$Y_v^\delta = SD_i. \quad (15)$$

(15) тенгламани ечиш учун мунтазамлаш усулини қўллаймиз. У ҳолда

$$d_j^\alpha = (\alpha I + S^T S)^{-1} S^T y_{v,j}^\delta \quad (\alpha = r^{-1}),$$

бу ерда $\alpha > 0$ - мунтазамлаш параметри.

Хисоблаш нуқтаи назаридан мунтазамлаш усулининг

$$d_{j,r} = (I - S^T S g_r(S^T S)) d_{j,0} + g_r(S^T S) S^T y_{v,j}^\delta, \quad j=1,\dots,m, \quad (16)$$

кўринишда ёзиш мумкин бўлган итерирланган варианты анча қулай. Бу ерда d_j - D матрицанинг j - устуни, $g_r(S^T S) = (S^T S + \alpha I)^{-1}$ ёки $g_r(\lambda) = (r^{-1} + \lambda)^{-1}$, - функциянинг натижавий системаси, бунда $0 \leq \lambda < \infty$.

(16) даги r мунтазамлаш параметрини $\|Sd_j^r - y_{v,j}^\delta\|$ мос келмаслик катталиги бўйича танлаш мақсадга мувофиқ. (16) ни яқинлашишини амалга оширишда мунтазамлаш параметрини

$$b_1 \delta \leq \|Sd_{j,r} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta, \quad b_1 > 1, \quad b_2 \geq b_1 \quad (17)$$

кўринишдаги тенгсизликнинг бажарилишидан келиб чиқиб танлаймиз. Бунда агар $\|Sd_{j,0} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta$ бўлса, у ҳолда $r=0$ деб белгилаймиз, яъни (15) тенгламанинг тахминий ечими учун бошланғич тахмин $d_{j,0}$ ни қабул қиламиз.

Итерацион жараёни (17) тўхтатиш қоидаси асосида (16) яқинлашининг боришини ўрнатиш учун қуйидаги тенгликни қараймиз

$$\begin{aligned} d_{j,r} - d_j^* &= (I - S^T S g_r(S^T S))(d_{j,0} - d_j^*) + g_r(S^T S) S^T (y_{v,j}^\delta - y_{v,j}), \\ Sd_{j,r} - y_{v,j}^\delta &= S(I - S^T S g_r(S^T S))(d_{j,0} - d_j^*) - (I - S^T S g_r(S^T S))(y_{v,j}^\delta - y_{v,j}) \end{aligned}$$

бу ерда $d_j^* - d_{j,0}$ га энг яқин бўлган (15) тенгламанинг ечими.

Шундай қилиб, агар исталганча етарли бўлмаган $\delta > 0$ да (17) тўхтатиш қоидаси $r=0$ ни берса, у ҳолда $\|Sd_{j,0} - y_{v,j}^\delta\| \leq b_2 \delta$ ва $\delta \rightarrow 0$ бўлгандаги ораликда

$Sd_{0,r} = y_{v,j}$ ни оламиз, $d_{0,r}$ - (15) тенгламанинг ечими. Шунингдек, бу ерда адаптив филтрлар асосида объект шовқинининг ковариацион матрицаси,

кетма-кет скаляр ўлчашлар бўйича адаптив филтрлашнинг мунтазам алгоритмларини синтез қилиш, динамик система ҳолатини баҳолашнинг соддалаштирилган адаптив алгоритмларини тузиш ва ҳолат векторини турғун баҳолаш саволлари кўриб чиқилган. Уларни амалий қўллашда энг тез тушишнинг мунтазамлашган усулини ва соддалаштирилган мунтазамлашнинг ҳисоблаш схемаларини самарали эканлиги кўрсатилган.

Келтирилган алгоритмлар баҳолашнинг мунтазам усуллари асосидаги технологик жараёнларни бошқариш системаларини синтез қилишда қаралаётган адаптив баҳолаш масалаларини мунтазамлашга олиб келади.

Диссертациянинг учинчи бобида системанинг ўзаро боғланган шовқин ва ўлчаш халақитларида динамик объектлар ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш натижалари келтирилган.

Аввало объектнинг мавжуд автокоррелирланган шовқин ва ўлчаш халақитларида динамик системани филтрлаш алгоритмларини кўриб чиқамиз. Системалар ва ўлчаш моделини қуйидагича деб фараз қиламиз:

$$x_{i+1} = A_{i+1|i} x_i + \Gamma_{i+1|i} \eta_i, \quad \eta_{i+1} = \tilde{A}_{i+1|i} \eta_i + \tilde{\mu}_i w_{i+1}, \quad (18)$$

$$z_{i+1} = H_{i+1} x_{i+1} + \xi_{i+1}, \quad \xi_{i+1} = \tilde{H}_{i+1} \xi_i + \tilde{v}_i v_{i+1}. \quad (19)$$

Априор маълумотлар ушбу кўринишда берилган

$$w_i \sim N(0, Q_i), \quad v_i \sim N(0, R_i), \quad x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_0), \quad \eta_0 \sim N(\bar{\eta}_0, P_0^{(\eta)})$$

$$\text{cov}(x_0, \eta_0) = \text{cov}(x_0, w_i) = \text{cov}(\eta_0, w_i) = \text{cov}(\eta_0, v_i) = \text{cov}(v_i, w_i) = 0.$$

У ҳолда, динамик баҳолаш ва оптимал филтрлаш назарияси усулини ҳисобга олиб филтрлаш алгоритминини қуйидаги муносабатда келтириш мумкин

$$x_{i+1|i+1} = x_{i+1|i} + K_{i+1} (z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i - H_{i+1} x_{i+1|i} + \tilde{H}_{i+1} H_i x_{i|i}), \quad (20)$$

$$x_{i+1|i} = A_{i+1|i} x_{i|i} + \Gamma_{i+1|i} \eta_{i|i}, \quad \eta_{i+1|i} = \tilde{A}_{i+1|i} \eta_{i|i}, \quad (21)$$

$$\eta_{i+1|i+1} = \eta_{i+1|i} + K_{i+1}^{(\eta)} (z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i - H_{i+1} x_{i+1|i} + \tilde{H}_{i+1} H_i x_{i|i}), \quad (22)$$

$$P_{i+1}^{(1)} = P_{i|i} H_i^T - A_{i+1|i} P_{i|i} H_i^T \tilde{H}_{i+1} - \tilde{A}_{i+1|i} W_{i/i}^T H_i^T \tilde{H}_{i+1}, \quad (23)$$

$$P_{i+1}^{(2)} = W_{i|i}^T H_i^T - \tilde{A}_{i+1|i} W_{i|i}^T H_i^T \tilde{H}_{i+1}, \quad \text{cov}(x_i, \eta_i) = W_{i|i}.$$

Бунда K_{i+1} ва $K_{i+1}^{(\eta)}$ кучайтириш коэффицентлари

$$K_{i+1} P_{i+1|i}^{(22)*} = P_{i+1}^{(1)}, \quad K_{i+1}^{(\eta)} P_{i+1|i}^{(22)*} = P_{i+1}^{(2)}, \quad (24)$$

тенгликлар ёрдамида аниқланади, бу ерда $P_{i+1|i}^{(22)*}$ – объект шовқини ва ўлчаш халақитларининг автокоррелирланган ҳолати учун баҳолаш хатолигининг ковариацион матрицаси.

Бу ерда ҳолат векторини кенгайтириш усули ва Брайсон-Хенриксоннинг фарқли ўлчаш усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. x_i ҳолат векторини кенгайтириш усулида x_i вектор η_i вектор билан тўлдирилади. Янги ҳолат вектори $x_i^* = [x_i^T, \eta_i^T]^T$ кўринишга эга бўлади. У ҳолда (18)-(19) муносабатлар

$$x_{i+1}^* = A_{i+1|i}^* x_i^* + b_i^* w_{i+1}, \quad (25)$$

$$z_{i+1} = H_{i+1}^* x_{i+1}^* + \xi_{i+1}, \quad (26)$$

кўринишни олади, бу ерда

$$x_i^* = \begin{bmatrix} x_i \\ \eta_i \end{bmatrix}, \quad A_{i+1|i}^* = \begin{bmatrix} A_{i+1|i} & \Gamma_{i+1|i} \\ 0 & \tilde{A}_{i+1|i} \end{bmatrix}, \quad b_i^* = \begin{bmatrix} 0 \\ b_i \end{bmatrix}, \quad H_{i+1}^* = \begin{bmatrix} H_{i+1} & 0 \end{bmatrix}.$$

Фарқли ўлчаш усулидан фойдаланилганда икки кетма-кет z_i ва z_{i+1} ўлчашнинг чизиқли комбинацияси каби янги y_{i+1} ўлчаш шакллантирилади:

$$y_{i+1} = z_{i+1} - \tilde{H}_{i+1} z_i, \quad (27)$$

(25)-(27) дан фойдаланиб, ўлчашнинг тавсифи учун модел оламиз

$$y_{i+1} = (H_{i+1}^* A_{i+1|i} - \tilde{H}_{i+1} H_i^*) x_i^* + H_{i+1}^* b_i^* w_{i+1} + \tilde{v}_i v_{i+1}. \quad (28)$$

(25) ва (28) муносабатлар учун асосий блоки қуйидаги кўринишга эга бўлган Глonti-Липцер филтритдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ

$$x_{i+1|i+1}^* = x_{i+1|i}^* + K_{i+1} (y_{i+1} - y_{i+1|i}),$$

$$\begin{bmatrix} x_{i+1|i}^* \\ y_{i+1|i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{i+1|i}^* \\ (H_{i+1}^* A_{i+1|i} - \tilde{H}_{i+1} H_i^*) A_{i+1|i}^* \end{bmatrix} x_{i|i}^*.$$

(20)-(23) филтрлаш алгоритмини функциялаштириш самарадорлиги (24) тенглик асосида K_{i+1} ва $K_{i+1}^{(\eta)}$ кучайтириш коэффициентлари матричасини ҳисоблаш аниқлигига жуда боғлиқ. Бу тенгликларда $P_{i+1|i}^{(22)*}$ матричасининг бузилгани ёки яхши шартланмаганлиги, ёмон шаклланганлиги сезилиши мумкин. K_{i+1} ва $K_{i+1}^{(\eta)}$ ларни ҳисоблаш учун мунтазам муолажаларни қўллаш мақсадга мувофиқ. (24) тенгламага мунтазам итерацион усулларнинг оператор шаклини қўллаш билан

$$k_{i+1,r}^{(j)} = (I - P_{i+1|i}^{(22)*T} G_k) k_{i+1,0}^{(j)} + G_k P_{i+1}^{(1)T} \quad (r = m^l, l = 1, 2, \dots), \quad (29)$$

ни оламиз, бунда $k_{i+1}^{(j)} = K_{i+1}^T$, $j = 1, 2, \dots, n$ матрицанинг j -нчи устуни; $m \geq 2$ – бериладиган натурал сон.

$$(29) \quad \text{да} \quad G_k = G_{k-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I - P_{i+1|i}^{(22)*T} G_{k-1})^j, \quad k = 1, 2, \dots \quad \text{операторлар} \quad \text{қуйидаги}$$

бошланғич оператор бўйича итератив равишда қурилади.

$$G_0 = g(P_{i+1|i}^{(22)*T}) = (P_{i+1|i}^{(22)*T} + \alpha I)^{-1}, \quad (30)$$

бу ерда $\alpha = \text{const} > 0$.

(29) мунтазам итерацион схемани $m = 2$ бўлганда қўллаш маъқул. (29) ҳисоблаш схемасида итерация рақами мунтазамлаш параметри бўлиб ҳисобланади. (30) тенглама воситасида (29) тенгликка киритилган α параметр фақат ва фақат унинг сонли турғунлик ўлчамларини яхшилаш учун киритилган. Бу ерда мунтазамлаш α нинг қайд қилинган қийматларида кўпқиррали итерирлаш ҳисобига амалга оширилади.

Динамик системаларни оптимал рекуррент филтрлаш назарияси ва амалиётида система шовқини ва ўлчаш халақитлари ўзаро коррелирланган ҳолатга ҳам рўбарў бўлинади. Қаралаётган ҳолатда динамик баҳолаш назарияси усуллари асосан филтрлаш алгоритмини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$x_{i+1|i+1} = x_{i+1|i} + K_{i+1} (z_{i+1} - H_{i+1} x_{i+1|i}), \quad x_{i+1|i} = A_{i+1|i} x_{i|i} + K_i^p [z_i - H_i x_{i|i}], \quad (31)$$

$$K_{i+1} = P_{i+1|i} H_{i+1}^T [H_{i+1} P_{i+1|i} H_{i+1}^T + R_{i+1}]^{-1},$$

$$P_{i+1|i} = [A_{i+1|i} - K_i^p H_i] P_{i|i} [A_{i+1|i} - K_i^p H_i]^T + \Gamma_i Q_i \Gamma_i^T - K_i^p R_i K_i^p, \quad P_{i+1|i+1} = [I - K_{i+1} H_{i+1}] P_{i+1|i}.$$

(31) даги K_i^p кучайтириш матричаси ушбу тенглик асосида топилади

$$K_i^p R_i = \tilde{A}_i \tilde{O}_i, \quad (32)$$

бу ерда $\tilde{O}_i = \text{cov}(w_i, v_i)$.

Ўлчаш халақитлари объектнинг коррелирланган шовқинларида филтрлаш масаласи ечимининг аниқлиги (32) тенглама асосида ҳисобланувчи K_i^p кучайтириш коэффициентига жиддий равишда боғлиқ. Бу тенграмалар системаси яхши шаклланмаган бўлиши мумкин, яъни бошланғич маълумотларнинг кичик ўзгаришида ечимнинг катта ўзгариши юзага келиши мумкин. (32) тенграмани ечишда белгиланган ҳолат мунтазамлаш усулини қўллаш кераклилигига олиб келади. Тенглама ечимини мунтазамлаш учун мунтазам итерацион усуллардан фойдаланамиз.

Бошланғич маълумотларни аппроксимациялаш шартини $\|\mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)} - \mathbf{s}_{i,j}\| \leq \delta$, $\|R_i^{(h)T} - R_i^T\| \leq h$ кўринишда қабул қиламиз. $k_{i,j}^* = (R_i^T)^+ \mathbf{s}_{i,j}$ псевдо ечимга яқинлашиш (32) тенграмани қуйидагича курамиз:

$$k_{i,j,r} = g_r(R_i^{(h)T}) \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}, \quad \bar{k}_{i,j,r} = g_r(R_i^{(h)T}) R_i^{(h)T} k_{i,j,r}, \quad (33)$$

бу ерда $k_{i,j} = K_i^{pT}$, $j=1,2,\dots,n$ матрицанинг j -нчи устуни; $\mathbf{s}_{i,j} = \mathbf{S}_i^T = \hat{O}_i^T \tilde{A}_i^T$ матрицанинг j -нчи устуни.

(33) ни яқинлашишини қуйидаги $k_{i,j,r} = B_r^{(h)} \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}$, $\bar{k}_{i,j,r} = \bar{B}_r^{(h)} \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}$ кўринишда ёзамиз, бу ерда операторлар

$$B_r^{(h)} = g_r(R_i^{(h)T}), \quad \bar{B}_r^{(h)} = B_r^{(h)} R_i^{(h)T} B_r^{(h)}, \quad (34)$$

R_i^T – аппроксимация қилади. Шунга эътибор бериш керакки, $g_r(\lambda) = (\alpha + \lambda)^{-1}$ ва $\alpha = r^{-1}$ бўлганда М.М.Лаврентьевнинг усулини қўллаган ҳолда (32) тенграманинг ечимини мунтазамлаш учун $R_i^{(h)T}$ матрицали оператор ўзаро туташган бўлади. У ҳолда (33) ва (34) ифодалар қуйидаги кўринишни олади $k_{i,j,\alpha} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1} \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}$, $\bar{k}_{i,j,\alpha} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1} R_i^{(h)T} k_{i,j,\alpha}$, $B_\alpha^{(h)} = (R_i^{(h)T} + \alpha I)^{-1}$, $\bar{B}_\alpha^{(h)} = B_\alpha^{(h)} R_i^{(h)T} B_\alpha^{(h)}$. Кўрилатгани усулнинг итерирланган вариантини қуйидаги ёзиш мумкин

$$k_0 = 0, \quad k_{i,j}^{(l)} = k_{i,j}^{(l-1)} - B^{(h)} (R_i^{(h)T} k_{i,j}^{(l-1)} - \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}), \quad l=1,\dots,r, \quad (35)$$

$$\bar{k}_0 = 0, \quad \bar{k}_{i,j}^{(l)} = \bar{k}_{i,j}^{(l-1)} - B^{(h)} (R_i^{(h)T} \bar{k}_{i,j}^{(l-1)} - R_i^{(h)T} k_{i,j,r}), \quad l=1,\dots,r. \quad (36)$$

(35) ва (36) ифодаларда $B^{(h)} = g(R_i^{(h)T})$. Мунтазамлаш параметри учун r итерация сонини қўллаймиз. (35) ва (36) ифодаларнинг итерациясини $n=2^l$ кўринишли номери учун Шульц-Хотеллинг схемаси бўйича ҳисоблаш мақсадга мувофиқ

$$G_0^{(h)} = g(R_i^{(h)T}), \quad G_i^{(h)} = G_{i-1}^{(h)} (2I - R_i^{(h)T} G_{i-1}^{(h)}), \quad i=1,2,\dots,$$

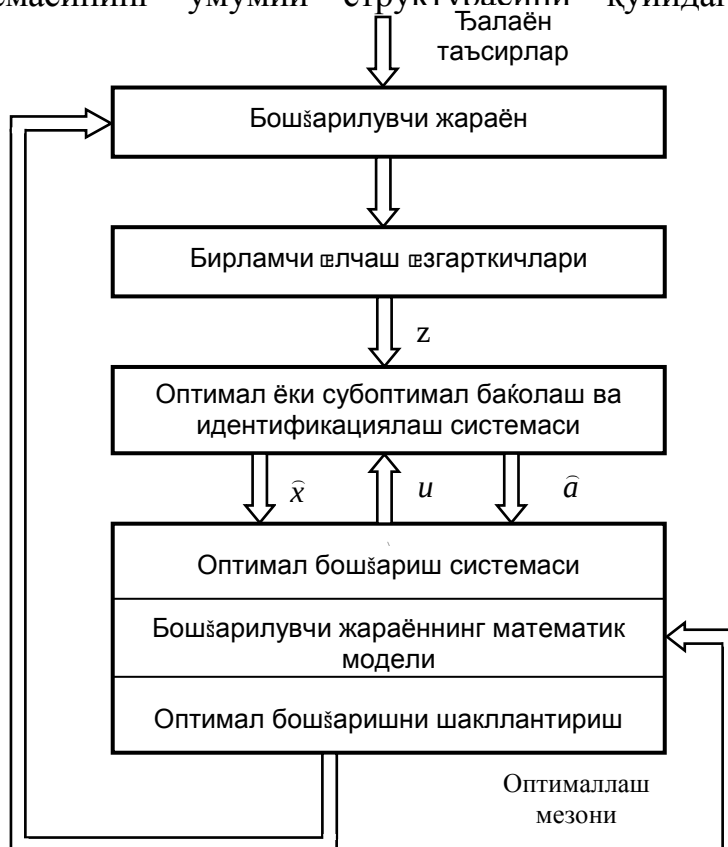
$$k_{i,j}^{(l)} = G_i^{(h)} \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}, \quad \bar{k}_{i,j}^{(l)} = G_i^{(h)} R_i^{(h)T} G_i^{(h)} \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}, \quad l=2^i, \quad i=1,2,\dots.$$

Шунинг учун $B_i^{(h)} = G_i^{(h)}$, $\bar{B}_i^{(h)} = B_i^{(h)} R_i^{(h)T} B_i^{(h)}$ операторларни R^+ псевдо тескари операторнинг аппроксимацияси кўринишида изохлаш мумкин. (35) ва (36) ифодалардаги r параметрни танлашда $\|R_i^{(h)T} k_{i,j,r} - \mathbf{s}_{i,j}^{(\delta)}\| = b(\delta + \|k_{i,j,r}\| h)$, $b > 1$ кўринишдаги ифода асосида мос келмасликни қиймати бўйича амалга ошириш мумкин.

Келтирилган динамик объектлар ҳолат векторини адаптив баҳолашнинг мунтазам рекуррент-итерацион алгоритмлари тенгламаларни ЭХМда яхши тадбиқ этилишини намоён этади ва объект шовқини ва ўлчаш халақитларининг авто- ва ўзаро коррелирланган шароитида бошқариш системаларнинг синтезлаш масалаларида самарали фойдаланиш мумкин.

Диссертациянинг тўртинчи боби гранулаланган аммофос ишлаб чиқаришдаги қуйилтирилган пульпани грануляцияли-қуритиш технологик жараёнининг адаптив бошқариш системасини синтез қилишда ишлаб чиқилган алгоритмларни амалий қўллаш билан ёритилган.

Диссертациянинг олдинги бобларида ишлаб чиқилган бошқаришнинг оптимал адаптив системаларидаги адаптив баҳолашнинг мунтазам алгоритмлари ва бошқариш таъсирлари синтезининг маълум усуллари асосида мос алгоритмик таъминотли грануляцияли-қуритиш жараёнини адаптив бошқариш системасининг умумий структурасини қуйидагича келтириш мумкин (1-расм).



1-расм. Қуйилтирилган аммофос пульпасини грануляцияли-қуритиш жараёнининг адаптив оптимал автоматик бошқариш системасининг умумий структураси

Ахамиятли даражадаги адаптив оптимал автоматик бошқариш системасини ушбу синфнинг структураси бўлиниш принципи билан аниқланади. Бу принципга мувофиқ чизикли-квадратик масалаларда оптимал ёки нозикли масалаларда субоптимал бўлган система баҳолаш ва идентификациялаш ҳамда оптимал бошқариш системаларининг оптимал ёки субоптимал системаларидан ташкил топади.

Математик моделлар структурасини танлаш, жараённинг сифат кўрсаткичларига таъсир қилувчи асосий бошқариш ўзгарувчиларини аниқлаш

барабанли гранулятор-куриткич (БГК) нинг меъёрий иш режимидаги ишлашини дастлабки тадқиқ қилиш босқичида амалга оширилади. Грануляцияли-куритиш жараёнининг асосий кўрсаткичлари сифатида қуйидаги ўзгарувчилар назарда тутилади:

Бошқарилувчи параметрлар $U = (u_1, u_2, u_3)$, бу ерда u_1 – БГК киришидаги иссиқлик узатувчининг температураси; u_2 – пульпанинг сарфи; u_3 – ретурнинг сарфи;

Чиқиш параметрлари $Y = (y_1, y_2, y_3)$, бу ерда y_1 – иссиқлик узатувчининг температураси; y_2 – грануланинг намлиги; y_3 – аммофоснинг гранулометриқ таркиби;

Ғалаёнли таъсирлар $W = (w_1, w_2, w_3)$, бу ерда w_1 – аммофос пульпасининг намлик даражаси; w_2 – пульпанинг гранулометриқ таркиби; w_3 – ретурнинг гранулометриқ таркиби.

Жараённинг ишлаб чиқилган шакллантирилиши қуйидаги кўринишли математик моделлар структурасини танлаш имконини беради:

$$x_{i+1} = A_i x_i + F_i x_{i-h} + B_i u_i + w_i, \quad (37)$$

$$y_i = H_i x_i + v_i. \quad (38)$$

$\theta^T = [a^T \mid f^T \mid b^T]$ вектор параметрларининг ўзгариш жараёни ўзида $\theta_{i+1} = \theta_i + w_i^\theta$ кўринишидаги Марков жараёнини намоён этади деб хисоблаймиз, $a^T = (a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{31}, a_{32}, a_{33})$, $f^T = (f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{21}, f_{22}, f_{23}, f_{31}, f_{32}, f_{33})$, $b^T = (b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{31}, b_{32}, b_{33})$, w_i^θ – тасодифий функцияларнинг амалга оширилиши.

У холда жараён ва кузатиш тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$x_{i+1} = A_i x_i + F_i x_{i-h} + w_i, \quad (39)$$

$$\theta_{i+1} = \theta_i + w_i^\theta, \quad (40)$$

$$y_i = H_i x_i + v_i, \quad (41)$$

бу ерда $w_i, w_i^\theta, v_i, i = 0, 1, \dots$ – $E[w_i w_i^T] = Q_i^x \delta_{ii}$, $E[w_i^\theta w_i^{\theta T}] = Q_i^\theta \delta_{ii}$, $E[v_i v_i^T] = R_i \delta_{ii}$ оқ гаусс кетма-кетлигининг бир-бирига боғлиқмаслиги, бу ерда δ_{ii} – Кронекер белгиси.

(39), (41) фарқ тенгламаларида u_i бошқариш яққол кўринишда хисобга олинмаган. Бироқ бошқариш хар доим вақт бўйича маълум (аниқ ўлчанадиган) функция хисобланади. Шунинг учун ҳам (39), (41) ифодаларда i дискрет вақтга бўлган боғлиқлик орқали хисобга олинishi мумкин.

Идентификациялаш моделларини олиш ва улардан башорат қилиш ва объектларни чиқиш параметрлари билан бошқариш воситаси сифатида амалий фойдаланиш учун Олмалик «Аммофос» ОАЖ да аммофос пульпасини грануляцияли-куритиш жараёнининг меъёрий фаолияти шароитларида саноат тажрибаси ўтказилган. Тажриба жараёнида у ёки бу технологик параметрнинг кузатилганлигига боғлиқ холда назорат қандай

узлуксиз амалга оширилган бўлса, худди шундай экспресс-тахлил усули билан дискрет тарзда амалга оширилган.

Кўрилатган жараённинг математик моделини ишлаб чиқиш учун динамик баҳолаш назариясига асосланган идентификациялаш алгоритмларидан фойдаланилган. Кенгайтирилган ҳолат вектори сифатида $x^{pT} = [x^T \mid \theta^T]$ вектор қабул қилинган. Жараённинг асосий ўзгарувчилари ўртасида ўрнатилган миқдорий ўзаро алоқаларнинг математик модели қуйидаги кўринишга эга:

$$\begin{bmatrix} x_{1,i+1} \\ x_{2,i+1} \\ x_{3,i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,921 & -0,234 & 0,301 \\ 0,877 & 0,616 & 0,423 \\ 0,753 & 0,214 & -0,175 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1,i} \\ x_{2,i} \\ x_{3,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,254 & -0,321 & 0,911 \\ 0,975 & 0,196 & 0,712 \\ -0,553 & 0,142 & 0,659 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1,i-h} \\ x_{2,i-h} \\ x_{3,i-h} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,455 & 0,391 & 0,153 \\ 0,322 & 0,686 & 0,174 \\ 0,183 & -0,482 & 0,558 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{1,i} \\ u_{2,i} \\ u_{3,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{1,i} \\ w_{2,i} \\ w_{3,i} \end{bmatrix}, \quad (42)$$

$$\begin{bmatrix} y_{1,i} \\ y_{2,i} \\ y_{3,i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{1,i} \\ x_{2,i} \\ x_{3,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{1,i} \\ v_{2,i} \\ v_{3,i} \end{bmatrix}.$$

Ишлаб чиқилган моделлар монандлигини моделга нисбатан қўйилган фаразларни текшириш билан боғлиқ мезонлар ва қолдиқлар хоссаларининг тахлиliga асосланиб ўтказилган текширишлар, (42) модел кўрилатган жараёни тажриба соҳасида монанд тавсифланиши ва бошқариш тизимларини ишлаб чиқишда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Аммофос пульпасини грануляцияли-қуришти жараёнининг ишлаб чиқилган математик модели асосий кириш ва чиқиш ўзгарувчилари ўртасида миқдорий муносабатни ўрнатиш, танланган ёки мавжуд бошқаришдаги жараён ҳолатини башорат қилиш ва қаралаётган жараённинг оптимал адаптив бошқариш қонунларини синтез қилиш имконини беради.

Кўриб чиқилаётган грануляцияли-қуришти жараёнини бошқариш ғоят мураккаб ҳисобланиб, бу мураккаблик унинг номинал-фазовий хоссаларининг кечикиши бир неча минутлиги, ўрнатиш вақтининг давомийлиги, хўл пульпанинг намлик даражасини тебраниш диапазонини катталиги ва пульпа хоссаларининг ўлчанмайдиган ўзгаришлари ҳисобига юзага келади. Топширик бошқарувчи ЭХМ ни қўллаш ҳисобига бошқариш сифатини яхшилашга қўйилади. Объектга (37) ва (38) ростлагични улаймиз

$$u_i = K_i^T z_i,$$

бу ерда K – ростлагич параметрларининг $n \times 2l$ -ўлчамли матрицаси. A , F , B , H матрицаларни номаълум параметрлар $\xi \in M$ векторига боғлиқ деб фараз қиламиз, бу ерда M – синтезланаётган система адаптивлигини аниқловчи синф тўплами.

Кўрилатган масалани ечиш учун қуйидаги кўринишдаги Ляпунов – Красовский функционалини оламиз:

$$V(x_s, k_s) = x_s^T L_0 x_s + \sum_{i=1}^m (k_i - k_{0i})^T L_i (k_i - k_{0i}) - \gamma \left[\frac{1}{2} (x_{i-h}^T x_{i-h} + x_i^T x_i) + \sum_{l=1-h}^{-1} x_{i+l}^T x_{i+l} \right],$$

бу ерда L_0 , L_i – моддий симметрик мусбат аниқланган матрицалар; k_{0i} – бир қанча K_0 матрицаларнинг i -устуни; $\gamma > 0$.

2-расм. Қуйилтирилган аммофос пульпасини грануляцияли-қуритиш жараёнини адаптив бошқариш системасининг структураси:

g – бериладиган таъсир, w, v – ғалаёнли таъсирлар, u – бошқарувчи таъсир,
 $\hat{\theta}$ – объектнинг параметрларини баҳоси, $\hat{x}$ – объект жорий ҳолатининг баҳоси,
 k – ростлагичнинг созланувчи параметрлари, z – объектнинг чиқиш сигнали

Келтирилган адаптив бошқариш системаларини амалий тадбиқ этиш жараённинг технологик режимини стабиллаштириш ва фосфор таркибли мажмуали ўғитлар ишлаб чиқаришдаги БГҚ нинг ишлаш самарасини ошириш имконини беради.

ХУЛОСА

Диссертацияда системали таҳлил ва динамик филтрлаш концепциялари ҳамда нокоррект масалаларни ечиш усуллари асосида сигналлар ва ҳалақитларнинг статистик тавсифларини априор ноаниқлиги шароитида адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Иш якунида қуйидаги натижалар олинган:

1. Сигналлар ва ҳалақитларни статистик тавсифларининг априор ноаниқлиги шароитида динамик системаларнинг ҳолатини баҳолашнинг мунтазамлашган алгоритмлари келтирилган.
2. Калман филтрининг матрицали кучайтириш коэффиценти элементларини ўзгарувчан ҳалақит-сигналли шароитга филтрни мослаштиришга имкон берувчи адаптив баҳолашнинг мунтазам итерацион алгоритмлари ишлаб чиқилган.
3. Объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг ковариацион матрицаларини априор ноаниқлиги шароитида ҳолат векторини сигналларнинг информацион параметрларини тавсифларига нисбатан филтрлаш жараёнларининг маълум бир боғлиқ бўлмаслигини таъминловчи турғун адаптив баҳолаш алгоритмлари таклиф этилган.
4. Объект киришида бўялган оқ шовқин мавжуд бўлганда янгиладиган жараён бўйича тескари алоқали филтрларни қўллаш орқали адаптив баҳолашнинг мунтазам алгоритмлари ишлаб чиқилган.
5. Ўлчашларда кетма-кет корреляцияланган ҳалақитлар шароитида филтр тавсифларини инвариантлик принципи асосида турғун адаптив баҳолашнинг алгоритмлари таклиф этилган.
6. Автокорреляцион объект шовқинлари ва ўлчаш ҳалақитлари мавжуд бўлганда ҳолат вектори ва айирмалари ўлчашларни кенгайтириш усуллари асосида адаптив баҳолашнинг мунтазамлаштирилган алгоритмлари ишлаб чиқилган.
7. Объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг авто- ва ўзаро корреляцияланган шароитларида мунтазам итерацион усуллар асосида синтезланган адаптив баҳолашнинг алгоритмлари таклиф этилган.
8. Таклиф этилган турғун баҳолашнинг мунтазам алгоритмлари асосида гранулаланган ўғитлар ишлаб чиқаришда жараён кечишининг технологик

режимини стабиллашувига ва унинг иш фаолияти унумдорлигини оширишга имкон берувчи барабанли гранулятор-қуриткичнинг адаптив бошқариш системаси ишлаб чиқилган.

Диссертациянинг асосий таркиби қуйидаги ишларда чоп этилган:

1. Зарипов О.О. Адаптивные алгоритмы синтеза динамических систем с децентрализованной структурой управления // Материалы 11-ой Международной конференции по управлению «Автоматика-2004», Киев, 2004. – с.20.
2. Зарипов О.О. Оценивание состояния динамических систем на основе регулярных методов // «Химическая технология. Контроль и управление». 2005, №2. –с.62-65.
3. Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Зарипов О.О. Алгоритмы оценивания состояния управляемых объектов на основе идентификационного подхода // Сборник трудов Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-18», Том 2, Казань, 2005. –с.215-217.
4. Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Зарипов О.О. Устойчивое оценивание параметров управляемых объектов на основе методов итеративной регуляризации //Сборник научных статей Международной научной конференции «Инновация-2005». Ташкент. 2005.- с.179-181.
5. Зарипов О.О. Регуляризованные алгоритмы синтеза систем управления непрерывными технологическими процессами // Материалы Республиканской научной конференции «Современные проблемы математического моделирования». Том №2. Нукус, 2005. – с.112-113.
6. Зарипов О.О. Регулярные алгоритмы идентификации динамических объектов на основе анализа поведения обновлений // «Химическая технология. Контроль и управление». 2005, №6. –с.53-55.
7. Зарипов О.О., Ниязов З.К. Регулярные алгоритмы адаптивного оценивания в задачах синтеза систем управления технологическими объектами // «Химическая технология. Контроль и управление». 2006, №1. –с.60-63.
8. Ниязов З.К., Зарипов О.О. Устойчивое оценивание вектора состояния и ковариационных матриц шумов объекта на основе адаптивных фильтров // «Химическая технология. Контроль и управление». 2006, №4. –с.69-72.
9. Игамбердиев Х.З., Зарипов О.О., Ниязов З.К. Алгоритмы адаптивной фильтрации при наличии автокоррелированных шумов с использованием обновляемой последовательности // Вестник ТашГТУ. 2006, №3. - с.31-34.
10. Игамбердиев Х.З., Ниязов З.К., Зарипов О.О. Адаптивное оценивание в условиях последовательно коррелированного шума в измерениях // Вестник ТашГТУ. 2006, №4. - с.29-31.
11. Igamberdiev H.Z., Niyazov Z.K., Abdurahmanova Yu.M., Zaripov O.O. Regular parametrical adaptive algorithms estimation in problems of synthesis of control systems of dynamic objects // Fourth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation “WCIS- 2006”. «b Quadrat Verlag», 2006. –pp.263-267.
12. Зарипов О.О. Регуляризованные алгоритмы синтеза адаптивных фильтров в информационно-управляющих системах // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики». Ташкент, 2006. –с.147-148.
13. Зарипов О.О. Регуляризованные алгоритмы синтеза систем управления технологическими объектами на основе концепций адаптивной фильтрации // Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции аспирантов, докторантов и соискателей. I-часть. Ташкент, 2007. –с.45-47.

- 14.Зарипов О.О. Адаптивные редуцированные алгоритмы оценивания состояния динамических систем // «Химическая технология. Контроль и управление». 2007, №1. –с.75-78.
- 15.Зарипов О.О. Регуляризованные алгоритмы адаптивной фильтрации по последовательности скалярных измерений // Вестник ТашГТУ. 2007, №1. - с.61-64.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор
Зарипов Орипжон Олимовични 05.13.07 – «Технологик жараёнлар ва ишлаб
чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқариш» ихтисослиги бўйича «Адаптив
филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини
турғун баҳолаш алгоритмлари» мавзусидаги диссертациясининг

ҚИСҚАЧА МАЗМУНИ

Таянч сўзлар: динамик бошқарув объекти, априор ноаниқлик, адаптив филтрлаш, мунтазамлаштириш, мунтазамлаштириш параметри, адаптив система.

Тадқиқот объектлари: динамик бошқарув объектлар ҳолатини динамик филтрлаш ва баҳолаш усуллари ва алгоритмлари.

Ишнинг мақсади: адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни ишлаб чиқишнинг маълум бир жараёнини автоматлаштириш масаласини ечишда амалий қўлланилиши.

Тадқиқот усули: системали таҳлил усуллари, идентификациялаш, динамик филтрлаш, адаптив бошқарув ва нокоррект қўйилган масалаларни ечиш усуллари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: Калман филтридаги матрицали кучайтириш коэффицентининг элементларини адаптив баҳолашнинг мунтазам итерацион алгоритмлари; объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитидаги ковариацион матрицаларнинг априор ноаниқлик шароитида ҳолат векторини турғун адаптив баҳолаш алгоритмлари; объект шовқини ва ўлчаш ҳалақитларининг авто- ва ўзаро коррелирланган шароитида адаптив баҳолашнинг мунтазамлашган алгоритмлари; грануланган аммофос ишлаб чиқаришда қўйилтирилган пулпани грануляцияли-қуритиш технологик жараёнини адаптив бошқариш системаси. Ишнинг янгилиги адаптив филтрлаш концепциялари асосида динамик бошқарув объектлари ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини ва уларнинг амалий тадбиқининг ҳисоблаш схемаларини ишлаб чиқишдан иборат.

Амалий аҳамияти: иш натижаларининг амалий муҳимлиги технологик объектларнинг катта синфли бошқариш системаларини синтезлаш ва адаптив филтрлашнинг математик ва алгоритмик таъминлаш масалалари ишлаб чиқишдан иборат. Ишлаб чиқилган бошқарилувчи объектларнинг ҳолатини турғун баҳолаш алгоритмларини функционал структураларни қуришда ва узлуксиз характерли ишлаб чиқаришли технологик жараёнларни адаптив бошқариш системаларини лойиҳалашни автоматлаштиришда кенг қўллаш мумкин.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: ишдан олинган натижалар Олмалик «АММОФОС» ОАЖ даги аммофос пулпасини грануляцияли-қуритиш технологик жараёнини адаптив бошқариш системасини ишлаб чиқиш бўйича лойиҳа ишларида тадбиқ этиш учун қабул қилинган. Қутилган йиллик самара 4 млн. 680 минг сўмни ташкил этади.

Қўлланиш соҳаси: изланишлар ва янгиликлар натижалари узлуксиз ишлаб чиқариш характериға эға бўлган кимё корхоналари ва саноатнинг қайта ишловчи тармоқларида фойдаланилиши мумкин.

РЕЗЮМЕ

диссертации Зарипова Орипжона Олимовича на тему: «Алгоритмы устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления на основе концепций адаптивной фильтрации» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»

Ключевые слова: динамический объект управления, априорная неопределенность, адаптивная фильтрация, регуляризация, параметр регуляризации, адаптивные системы.

Объект исследования: методы и алгоритмы динамической фильтрации и оценивания состояния динамических объектов управления.

Цель работы: разработка алгоритмов устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления на основе концепций адаптивной фильтрации и их практическом применении при решении задачи автоматизации конкретным процессом производства.

Методы исследования: методы системного анализа, идентификации, динамической фильтрации, адаптивного управления и решения некорректно поставленных задач.

Полученные результаты и их новизна: регулярные итерационные алгоритмы адаптивного оценивания элементов матричного коэффициента усиления калмановского фильтра; алгоритмы устойчивого адаптивного оценивания вектора состояния в условиях априорной неопределенности ковариационных матриц шума объекта и помехи измерений; регуляризованные алгоритмы адаптивного оценивания в условиях авто- и взаимной коррелированности шума объекта и помехи измерений; адаптивная система управления технологическим процессом грануляции-сушки упаренной пульпы в производстве гранулированного аммофоса. Новизна работы заключается в разработке алгоритмов устойчивого оценивания состояния динамических объектов управления на основе концепций адаптивной фильтрации и вычислительных схем их практической реализации.

Практическая значимость: практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач адаптивной фильтрации и синтеза систем управления широким классом технологических объектов. Разработанные алгоритмы устойчивого оценивания состояния управляемых объектов могут найти широкое применение при построении функциональной структуры и автоматизации проектирования адаптивных систем управления технологическими процессами с непрерывным характером производства.

Степень внедрения и экономическая эффективность: полученные в работе результаты приняты для внедрения в проектные работы по разработке

системы адаптивного управления технологическим процессом грануляции-сушки аммофосной пульпы на Алмалыкском ОАО «АММОФОС». Ожидаемый годовой экономический эффект составляет 4 млн. 680 тыс.сум.

Область применения: результаты исследований и разработок могут быть использованы на предприятиях химической и перерабатывающих отраслей промышленности с непрерывным характером производства.

THE RESUME

Of the dissertation of Zaripov Oripjon Olimovich on «Algorithms of firm estimation of conditions of dynamic object control on the basis of the adaptive filtering concept» for the scientific degree of Candidate of Technical Science in the specialty 05.13.07 - «Automation and control of technological processes and production»

Key words: dynamic object of control, apriori uncertainty, adaptive filtering, regularization, parameter of regularization, adaptive systems

Subject of the inquiry: methods and algorithms of dynamic filtering and estimation conditions of dynamic object control.

Aim of the inquiry: developing algorithm of firm estimation conditions of dynamic objects control on the basis of the concept of adaptive filtering and their practical application in the solution of the problems of automation by a certain manufacturing process.

Method of inquiry: methods of system analysis, identification, dynamic filtering, adaptive control and solution of problems set forth incorrectly.

The results achieved and their novelty: regular iterative algorithms of the adaptive evaluation of the elements of matrix factor of the Kalman filter; the algorithms of firm adaptive estimation of the vector of the condition of apriori uncertainty covariations matrixes of the noise of the object and hindrances of the measurements; the regularized algorithms of adaptive estimation of the conditions of auto- and mutual correlated noise of the object and hindrances of the measurements; the adaptive regulation system by technological process of granulations-drying of steamed pulps in production of granulated ammofos. Novelty of the work is in the development of algorithm of firm estimation of conditions of dynamic objects control on the basis of the concept of adaptive filtering and computing schemes and their practical realization.

Practical value: the practical value of the results of the research is the development of mathematical and algorithmic solution of the problems of adaptive filtering and syntheses of regulation system of a wide range class of technological objects. The designed algorithms of firm estimation of conditions of operated object can be widely used in building of functional structures and automations of the designing adaptive regulation system of technological process with ceaseless production.

Degree of embed and economic effectivity: the results of the research are accepted for introduction in design works on system development of adaptive management of technological process of granulations-drying ammofos pulps on Almalik plant "AMMOFOS". Expected annual economic benefit makes 4 million and 680 000 sum.

Sphere of usage: results of research and development can be used at the enterprises of chemical and processing industries with continuous manufacturing.

