

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 21. Is. 1. Number 81 (2024). Pp.48–62
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>
УДК 681.51

GENERAL PRINCIPLES OF SYNTHESIS OF THE ALGORITHMIC STRUCTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

T. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova*
International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz

Suleymen Sultangazinov — Doctor of Technical Sciences, Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

Berikkazy Terekbaev — Candidate of Technical Sciences, associate professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

Mubarek Orynbekov — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

Altynkul Turebekova — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: turebekova.altynkul@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© S. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova

Abstract. Automatic control systems play a key role in modern engineering and industrial processes. They enable precise and reliable regulation of object behavior, improving efficiency, safety, and performance. This study examines the theoretical foundations of automatic control, methods of system synthesis, and their practical application in industrial and transportation sectors. The main goal of this research is to study methods for designing and synthesizing automatic control systems and analyze their stability, controllability, and observability. Objectives: review the theoretical foundations of automatic control; investigate methods for mathematical modeling and determination of algorithmic system structure; test theoretical results on practical examples; evaluate prospects for implementing automatic systems in various fields. The study identified key principles of designing algorithmic and functional structures of automatic systems. The advantages of digital control systems, including accuracy, flexibility, and integration with computational tools, were confirmed. Methods for system synthesis were proposed, and performance indicators such as stability, controllability, and observability were analyzed. The results confirmed the reliability of mathematical methods in designing automatic systems. The research deepens the understanding of automatic control theory and confirms the practical applicability of modern synthesis methods. Future prospects include integrating artificial intelligence for adaptive control, synthesizing multi-loop systems, and developing simulation models for predicting system performance. The results can be used to improve automation efficiency in industrial, transportation, and telecommunication applications

Keywords. Automatic regulation system, executive structure, automatic control system, modular rationality, symmetric rationality, proconic-integral, automatic control system of the technological process

For citation: S. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova General principles of synthesis of the algorithmic structure of automated control systems//Industrial

Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 48–62. (In Kaz.).
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ АЛГОРИТМДІК ҚҰРЫЛЫМ СИНТЕЗІНІҢ ЖАЛПЫ ҚАҒИДАЛАРЫ

С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова*

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz

Сулеймен Султангазинов — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

Берикказы Терекбаев — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

Мубарек Орынбеков — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

Алтынкуль Туребекова — аға оқытушы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова

Аннотация. Автоматты басқару жүйелері қазіргі техника мен өндірісте маңызды рөл атқарады. Олар объектілердің жұмысын дәл және сенімді түрде реттеуге мүмкіндік береді, өндіріс тиімділігін арттырады және қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Бұл зерттеу автоматты басқару теориясын, жүйелерді синтездеу әдістерін және олардың өнеркәсіп пен көлік саласында практикалық қолдану мүмкіндіктерін қарастырады. Зерттеудің негізгі мақсаты – автоматты басқару жүйелерін жобалау және синтездеу әдістерін зерттеу, олардың тұрақтылығы, басқарылуы және бақылануын талдау. Міндеттері: автоматты басқару теориясының негіздерін қарастыру; жүйелерді математикалық модельдеу және алгоритмдік құрылымын анықтау әдістерін зерттеу; теориялық нәтижелерді практикалық мысалдарда тексеру; автоматты жүйелерді әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндіктерін бағалау. Зерттеу барысында автоматты жүйелердің алгоритмдік және функционалдық құрылымын жобалаудың негізгі принциптері анықталды. Сандық басқару жүйелерінің дәлдігі, икемділігі және есептеу құралдарымен интеграция мүмкіндігі расталды. Автоматты жүйелерді синтездеудің тиімді тәсілдері ұсынылып, олардың тұрақтылығы, басқарылуы және бақылану көрсеткіштері талданды. Зерттеу автоматты басқару теориясын тереңдетуге үлес қосып, практикалық қолдану мүмкіндіктерін растады. Болашақта жасанды интеллект әдістерін интеграциялау, көпконтурлі жүйелерді синтездеу және симуляциялық модельдер арқылы жүйелердің жұмысын болжау перспективалары бар. Нәтижелер өнеркәсіптік, көліктік және телекоммуникациялық салаларда автоматтандыруды жетілдіруге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер. Автоматты реттеу жүйесі, ақарушы құрылым, автоматты басқару жүйесі, модульдік ұтымдылық, симметриялық ұтымдылық, пропорционды-интегралды, технологиялық үдерісті автоматты басқару жүйесі

Дәйексөздер үшін: С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова. Автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылым синтезінің жалпы

қағидалары//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 48–62 бет. (Қаз. тіл.).
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz

Сулеймен Султангазинов — д.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

Берикказы Терекбаев — ст. преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

Мубарек Орынбеков — ст. преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

Алтынкуль Туребекова — преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова

Аннотация. Автоматические системы управления играют ключевую роль в современной технике и производстве. Они позволяют точно и надежно регулировать работу объектов, повышая эффективность и безопасность процессов. В данном исследовании рассматриваются теоретические основы автоматического управления, методы синтеза систем, а также их практическое применение в промышленности и транспортной сфере. Цель исследования – изучение методов проектирования и синтеза автоматических систем, анализ их устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Задачи: изучить теоретические основы автоматического управления; исследовать методы математического моделирования и определения алгоритмической структуры систем; проверить применимость теоретических результатов на практических примерах; оценить перспективы внедрения автоматических систем в различные сферы. В ходе исследования были выявлены основные принципы проектирования алгоритмической и функциональной структуры автоматических систем. Подтверждена эффективность цифровых систем управления в плане точности, гибкости и интеграции с вычислительными средствами. Проведен анализ синтеза систем, оценены показатели устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Полученные результаты подтвердили надежность математических методов для проектирования автоматических систем. Исследование позволило углубить понимание теории автоматического управления и подтвердило практическую применимость современных методов синтеза. Перспективы дальнейшей работы включают интеграцию методов искусственного интеллекта для адаптивного управления, синтез многоконтурных систем и создание симуляционных моделей для прогнозирования работы систем. Результаты могут быть использованы для повышения эффективности автоматизации в промышленности, транспортной и телекоммуникационной сферах.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, исполнительная структура, система автоматического управления, модульная рациональность, симметричная

рациональность, пропорционно-интегральная, система автоматического управления технологическим процессом

Для цитирования: С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова. Общие принципы синтеза алгоритмической структуры систем автоматического управления//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. №. 81. Стр. 48–62. (На каз.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе.

Автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеу» тақырыбы таңдалды, себебі қазіргі уақытта басқару жүйелерін жобалау әдістері объектінің инерциялық қасиеттерін, кешігулерін және сыртқы әсерлерді толық ескере бермейді (Султангазинов, 2009: 50–65). Автоматты басқару – адамның қатысуынсыз жүзеге асатын іс-шаралар жүйесі болып табылады, ол техника мен технологиялық процестерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді (Вавилов, 1981: 30–55). Заманауи техникалық құрылымдар (ұшақтар, станоктар, роботтық жүйелер) және тірі жүйелерде (адамдар ұжымы, жануарлар) басқарудың автоматтандырылған формалары ерекше маңызға ие (Бесекерский, 1975: 12–20).

Автоматты басқару жүйелерін жобалау мен синтездеудің өзектілігі теориялық және практикалық бағытта көрінеді. Теориялық тұрғыдан, қазіргі қолданыстағы әдістер объектінің барлық динамикалық қасиеттерін есепке ала бермейді, әсіресе кешігулер мен сыртқы возмущениялар болған жағдайда. Практикалық мәні – өндіріс, авиация, энергетика және көліктік жүйелерде автоматты басқарудың жоғары дәлдігі мен орнықтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Зерттеу объектісі – инерциялық қасиеттері және кешігулері бар автоматты басқару жүйелері. Бұл объектілерге классикалық машиналардан бастап, заманауи роботтық жүйелерге және күрделі технопроцестерге дейінгі техникалық құрылымдар жатады.

Зерттеу пәні – автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік және функционалдық құрылымдары, яғни жүйенің ішкі элементтерін ұйымдастыру, олардың өзара байланысын және берілген сапа көрсеткіштерін орындау әдістерін зерттеу.

Зерттеудің негізгі мақсаты – объектінің инерциялық қасиеттерін, кешігулерін және сыртқы әсерлерін ескере отырып, автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеудің тиімді әдістемесін әзірлеу. Бұл мақсатқа жету арқылы жүйелердің тұрақтылығы, дәлдігі және сапалық көрсеткіштері қамтамасыз етіледі.

Зерттеу міндеттері:

- Автоматты басқару жүйелерін синтездеудің теориялық негіздерін зерттеу;
- Қазіргі алгоритмдік және функционалдық құрылымдардың тиімділігін талдау;
- Идеалды тұйықталған және комбинирленген басқару жүйелерін құру әдістерін әзірлеу;
- Инженерлік практикада қолдануға болатын нақты конструктивтік элементтерді таңдау және олардың параметрлерін есептеу;
- Алынған алгоритмдік құрылымдардың компьютерлік модельдеу арқылы тиімділігін бағалау;
- Алынған нәтижелерді өндірісте және практикалық жүйелерде қолдану мүмкіндігін қарастыру.

Зерттеу әдістері: Зерттеуде математикалық модельдеу, жүйелерді талдау, алгоритмдік және функционалдық құрылымдарды синтездеу әдістері қолданылады. Сонымен қатар, компьютерлік модельдеу арқылы жүйелердің динамикалық қасиеттері, инерциялары мен кешігулері ескеріле отырып, тәжірибелік тексерулер жүргізіледі.

Зерттеу гипотезасы: Объектінің инерциясын, кешігулерін және сыртқы возмущенияларын ескере отырып әзірленген комбинирленген алгоритмдік құрылымдар автоматты басқару жүйелерінің дәлдігі мен орнықтылығын арттырады деп болжанады.

Ғылыми және практикалық мәні: Ғылыми мәні – автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеу әдістемесін жетілдіру. Практикалық мәні – өндірісте, авиацияда, энергетикада және көліктік жүйелерде автоматты басқару жүйелерін жобалау кезінде дәлдік, орнықтылық және сапалық көрсеткіштерді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер.

Адамның қатысуынсыз іске асатын басқару автоматты басқару деп аталады (Бесекерский, 1975: 12–45). Жаттығу жұмыстары орындаулар мақсат реттеуді тап қалған сапаға үздіксіз әсердің басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқаруды теорияның теориялық жағдайларының қолдануы болып табылады (Бесекерский, 1976: 125; Болнокин, Чинаев, 1986: 12–47). Жаттығу жұмыстары қолданбалы сипатта болады және инженерлік тәжірибеде техникалық есептің анализін жасау кезеңінде қолданылуы мүмкін, АРЖ талаптарды өндіру және берілген жылдамдық, дәлдік және қайта реттеу бойынша тиісті сапа көрсеткіштерімен жұмыстың орнықтылығын қамтамасыз етуі үшін оның динамикалық үзбелерінің параметрлерін қолдану (Вавилов, 1981: 13–30; Воронов, 1980: 14–55).

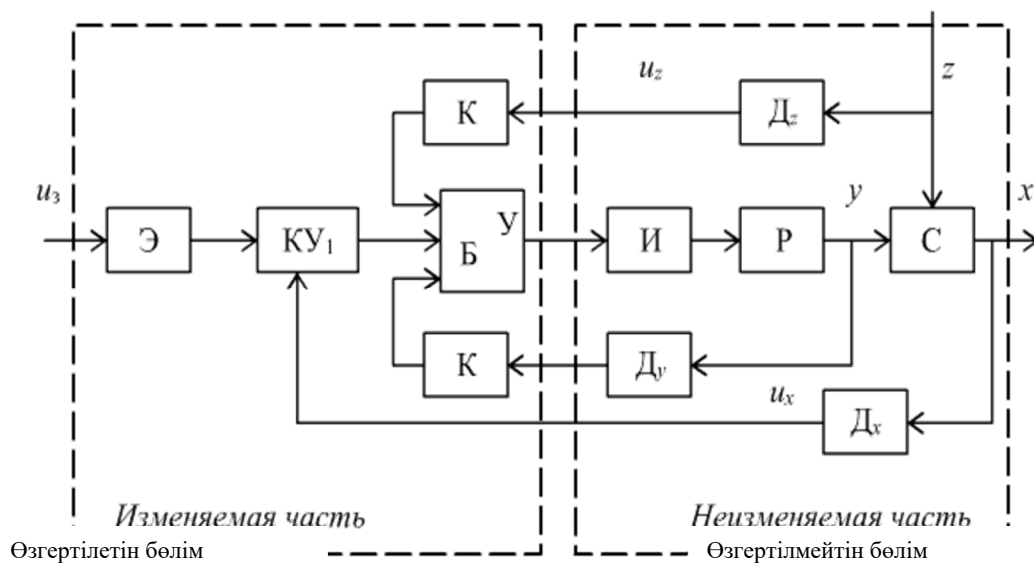
Автоматты басқару теориясындағы математикалық есептер талдау және автоматты жүйелердің синтезінің есептерінен тұрады. Талдау есебінде түгелімен жүйенің құрылымы белгілі, жүйенің барлық параметрлері берілген, және оның бір статикалық немесе динамикалық қасиетін бағалау қажет. Синтездің есептерін талдаудың кері есептері сияқты қарауға болады, өйткені оларда берілген сапа көрсеткіштері бойынша құрылымды және жүйенің параметрлерін анықтау керек. Мысалы, синтездің ең оңай есептері интегралды қатенің тап қалған қатеге немесе минимумы бойынша тұйықталмаған контурдың беріліс коэффициентін анықтайтын есептер болып табылады (Иващенко, 1979: 14–54).

Автоматты жүйенің синтезі деп құрылымды процедурасын және жүйенің параметрлерін берілген сапа көрсеткіштері бойынша анықтауды атайды (Кочетков, 1964: 18–19). Синтез жобалау және жүйені құрастырудағы ең маңызды кезең болып табылады. Жүйені жобалауда алгоритмдік және функционалды (толық синтездің есебі) құрылымды анықтау керек. Жүйенің алгоритмдік құрылымдарын (немесе оның бөлігін) айқын математикалық формада жазылған талаптар негізінде математикалық әдістер көмегімен табады. Сондықтан алгоритмдік құрылымды іздеп табудың процедурасын теориялық синтез немесе басқару жүйесінің аналитикалық құрастырулары деп атайды (Красовский, 1962: 19–28).

Функционалды құрылымның синтезі немесе жүйенің техникалық синтезі нақты элементтердің таңдауында болады (Султангазинов, 2004: 15–21; Султангазинов, 2009: 20–41). Жобалаудың бұл кезеңінде қатал математикалық негізі жоқ және инженерлік өнердің облысына жатады.

Толық синтездің есебінің шешімінің тізбегі әр түрлі болуы мүмкін. Кей қарапайым жағдайларда есепті идеалды тізбекте шешуге болады: алдымен математикалық әдістер көмегімен жүйенің алгоритмдік құрылымын анықтау қажет, содан кейін сәйкес конструктивті элементтерді таңдау керек (Султангазинов, 2022: 65; Султангазинов, 2021: 16). Күрделі жағдайларда конструктивті элементтерді таңдап алу қиындықтарға әкелуі мүмкін, өйткені басқару құралдарының шектелген номенклатурасында қажет алгоритм қасиеттері бар құрылымдар болмауы мүмкін. Сондықтан синтездің есебін көптеген жағдайларда келесі түрде шешеді: бастапқыда, сериялы жабдықтың тізбелері бойынша жүйенің функционалды қажет элементтерін: (РО) реттейтін орган, (АК) атқарушы құрылым, (Д) датчиктерді оның жұмысының шартын есепке ала отырып және жүйенің тағайындалуының талаптарына сүйене отырып таңдайды. Бұл элементтер басқару

объектісімен бірге жүйенің өзгермейтін бөлігін құрайды (Султангазинов, 2004: 15–34; Султангазинов, 2009: 20–41).



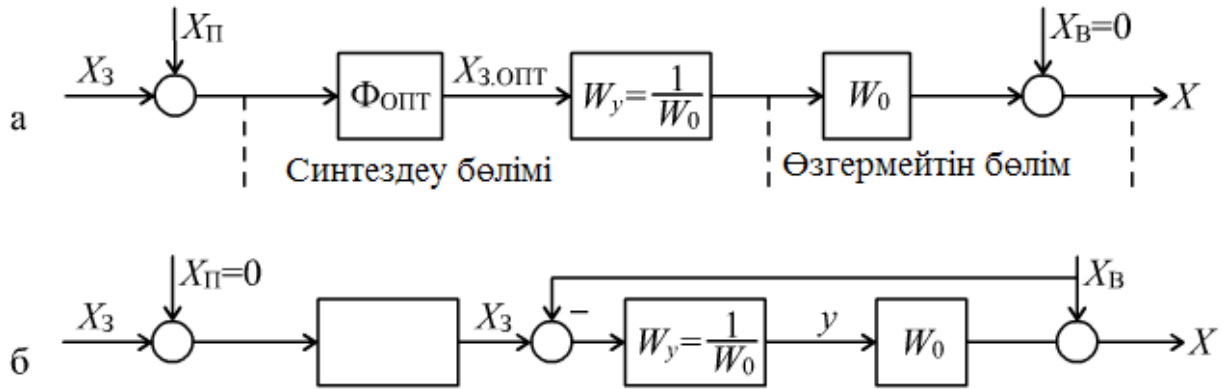
1-сур. Синтезделетін жүйенің функционалды құрылымы

Содан соң талаптар негізінде статикалық және динамикалық қасиеттерімен өзгеретін бөлігін анықтайды, оған күшейткіш – түрлендіретін блок (УБ) және әр түрлі түзететін (КУ) құрылымдар кіреді (Бесекерский, 1975: 10–22; Болнокин, 1986: 17–33). Өзгеретін бөліктің алгоритмдік құрылымын қажетті таңдаулы функционалды элементтер қасиеттерін есепке алып табады, бұл бөліктің техникалық іске асыруы үйреншікті унифицирленген реттеушілер және әр түрлі түзететін және орнын толтыратын құрылымдардың қолдануымен іске асады. Осылайша, барлық жүйенің алгоритмдік және функционалды құрылымдарын анықтау үрдістері бір-бірімен тығыз байланысты.

Басқару жүйесінің жобалауының қорытынды кезеңдері параметрлік тиімділік болып табылады – таңдаулы реттеушінің бейімдеуші параметрлерінің есептелуі. Синтез есебінің шешімдерін жасағаннан кейін әдетте синтезделген жүйенің анализін жасайды: қажетті дәлдік, орнықтылық және сапа көрсеткіштеріне ие болуын тексереді (Иващенко, 1979: 20–44).

Синтез және жүйелерді талдаудың барлық кезеңдерінде ЭЕМ қолдану орынды. ЭЕМде жүйелердің пішінуі, құрылымдар және параметрлердің варианттарының үлкен санын зерттеп, синтез есебінің шешімін үдетуге мүмкіндік береді (Кочетков, Половко, Понамарев, 1964: 12–49).

Жүйенің идеалды құрылымы. Алгоритмдік құрылым синтезінің есебін шешу үшін басқару объектісінің $W_0(p)$ беріліс функциясы, объектінің кіріс және шығысында жұмыс істейтін қоздырулар y_g және x_g және сонымен бірге тапсырма және өлшеу каналдарында пайда болатын x_n бөгеуілдер белгілі болуы керек. 2, а, б суреттерінде анық көрсетілген.



2-сур. Идеалды тұйықталмаған жүйенің алгоритмдік құрылымы

Ең оңай жағдайда объектіде қоздырушы әсерлер болмағанда, басқаруды тұйықталмаған схема (2-ші сурет) бойынша жүзеге асыруға болады. Егер басқарылатын құрылғының беріліс функциясын $W_y(p)$

$$W_y(p) = 1/W_0(p) \tag{1}$$

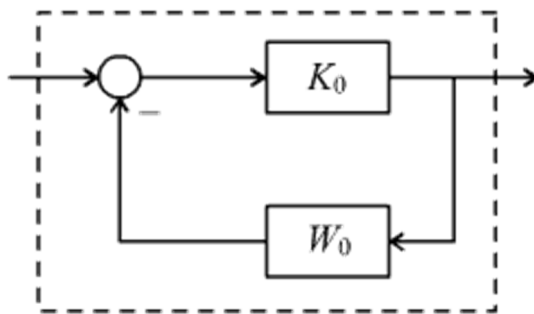
тең деп алсақ, онда объектінің инерциялығының толық (құрылымдық) өтемі қамтамасыз етіледі және басқару жүйесі объектінің шығысында тез берілетін әсерді $x_{3.опт}$ шығарады. $x_{3.опт}$ тапсырмасы $\Phi_{опт}(p)$ беріліс функциясы бар арнайы сүзгісімен қалыптасады, ол былайша таңдалады, сүзгі барлық құралған x_3 сигналдарды жақсы өткізу керек және x_n бөгеуіл басым болмауы керек (Болнокин, Чинаев, 1986: 127; Султангазинов, 2009: 151).

Егер объектіге өлшенетін x_g қоздыру әсер етсе, онда теория жағынан қоздырудың толық өтеуімен идеалды тұйықталмаған басқару жүйесін синтездеуге болады (2-ші сурет, б). Объектінің толық өтелу инерттілігін қамтамасыз ететін беріліс функциясы (1) x_g қоздырудың өтеуіне де жақсы болып келеді. (1) шарттарды орындағанда шынымен де әрдайым $W_y(p)W_0(p) = 1$ тең, сондықтан да x_y объектінің шығысындағы пайдалы құраушысы x_g қоздыруына толығымен теңестіріледі.

АБЖ идеалды алгоритмдік құрылымын модельдеу кезіндегі негізгі қиындық объектінің кері беріліс функциясының іске асуы болып келеді. Объектінің кері беріліс функциясының моделі ретінде келесі үзбелердің қосылуын ұсынуға болады 3-ші суретте көрсетілген.

k_0 беріліс коэффициенті үлкен болғанда үзбелердің эквиваленті беріліс функциясының қосылулары келесі түрде болады

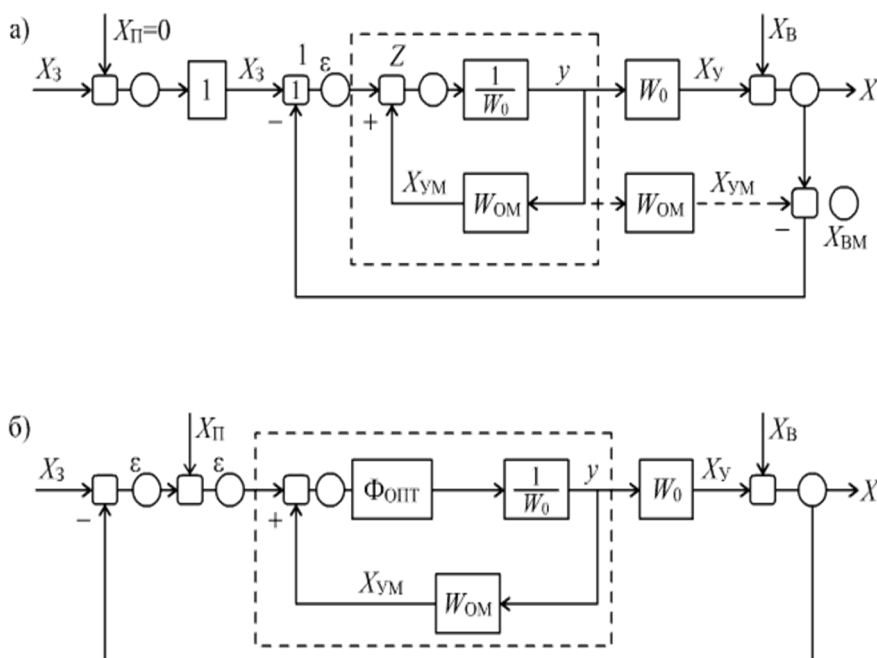
$$W(p) = k_0 / (1 + k_0 W_0(p)) \approx 1/W_0(p) \tag{2}$$



3-сур. Кері беріліс функциясының моделі $1/W_0$ (Иващенко, 1979: 134)

Егер x_ε қоздыруды өлшеуге болмаса, онда идеалды тұйықталған жүйенің құрылымын табу үшін $W_0(p)$ объектінің моделі көмегімен x_ε қоздырудың жанама ойын пайдалануға болады 4-ші. а-сурете көрсетілген.

4-сур. Идеалды тұйықталған жүйенің алгор



Анық, егер

$$W_{OM}(p) = W_0(p) \tag{3}$$

модельдің шығысында анықталатын сигнал

$$x_{\varepsilon M} = x - x_{yM} = (x_y + x_\varepsilon) - x_{yM} = x_\varepsilon \tag{4}$$

x_ε жанама өлшенген қоздыру болса және оны 2-ші б суреттегі схемадағыдай $1/W_0(p)$ беріліс функциясымен басқарылатын құрылғыға енгізгенде идеалды тұйықталмаған құрылымды жаңадан алуға болады. Оған құрылымдық түрлендіргіштер ережесі бойынша x_{yM} сигналын басқарушы құрылғының кірісіне ауыстыруға болады және екінші сумматорға салуға болады. Сонда басқарушы құрылғы $1/W_0(p)$ ішкі оң кері байланыспен қамтылған болады, ал бірінші сумматордан кейінгі сигнал қатенің сигналына

$\xi = x_3 - x$ сәйкес келеді. Соңғысы жүйенің тұйықталғанын және беріліс функциясы бар болатын (штрих тік төртбұрыш) реттеуішімен кері байланысқан теріс қағидасына сәйкес жұмыс істейтін білдіреді:

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi(p)} = \frac{1/W_0(p)}{1 - W_{om}(p)/W_0(p)} \quad (5)$$

Модель мен объектінің дәл келсе реттегіш (5) $k_p = \infty$ -мен пропорционалды түрінде жұмыс істейді, ол қоздыру және тапсырма арнасымен нолдік қателікке сай болып келеді. Жалпы жағдайда, егер $x_g \neq 0$ және $x_n \neq 0$ болса идеалды тұйықталған жүйенің алгоритмдік құрылымы (7.4-ші б сурет) жоғарыда түсіндірілген эвристикалық жолмен екі құрылымдардың белгілерін өз бойында тіркестіреді. Бұл идеалды құрылымда реттегіште ішкі оң кері байланыс, $1/W_0$ үзбесі, W_{om} және оптималды сүзгі Φ_{opt} болады (Бесекерский, 1976: 125). Идеалды тұйықталған реттегіштің беріліс функциясы

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi_1(p)} = \frac{\Phi_{opt}(p)}{1 - \Phi_{opt}(p)} \cdot \frac{1}{W_0(p)} \quad (6)$$

$\Phi_{opt}(p)$ үзбесі сыртқы қоздырулардың ұтымды сүзгілеуді жүзеге асырады және $x_{3.opt}$ ұтымды тапсырманы істеп шығарады. $1/W_0(p)$ объектінің кері моделі оның инерциялылығының орнын толтырады, ал $W_{om}(p)$ түзу моделі объектінің шығысындағы x_y құраушысын есептейді (Воронов, 1979: 167).

Нәтижелер

Идеалды қосу жүйесімен бірге объектінің кері моделі түріндегісі басқару жүйесінің параметрлік және құрылымдық синтезінің принципиалды негізі болып келеді, ал тәсіл объектінің инерттілігін өтеу әдісі деп аталады.

Синтездеудің практикалық есептерінде көбінесе бөліктік (параметрлік) өту қолданылады - объектінің тұрақты уақыттарының бір екеуін жою (Красовский, Поспелов, 1962: 198). Ол үшін инерциаллық объектімен тізбектей

$$W_0(p) = k_0 / (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1) \dots (T_{0n} + 1), \quad (7)$$

мұндағы $T_{01} > T_{02} > T_{03} > \dots > T_{0n}$ беріліс функциясымен бірінші-екінші реттік тіркейтін үзбені қосады

$$W_k(p) = k_k (T_{k1}p + 1)(T_{k2}p + 1), \quad (8)$$

Ол үшін $T_{k1} = T_{01}$; $T_{k2} = T_{02}$; $k_k = 1/k_0$

Кешігуі бар объектіге арналған идеалды реттегіш. Кешігуі бар инертті объектілерге арналған идеалды реттегіштің құрылымын және беріліс функциясын анықтайық, оны қорытылған беріліс функциясымен сипаттауға болады:

$$W_0(p) = W'_0(p)e^{-p\tau_0} \quad (9)$$

Мұндағы $W_0(p)$ - объектінің инерциялық бөлігін сипаттайтын бөлшекті – рационалды функция; τ_0 – объектінің таза кешігуі. Егер (9)-ды (6) қойсақ реттегіштің беріліс функциясында $e^{+p\tau_0}$ көбейткіші пайда болады. Сондықтан да, шығарылған реттегіш құрылымын оңайту мақсатымен және оның техникалық іске асуын оңайту үшін идеалды жүйе кешігумен берілетін қоздыруды қосуға жол беру керек, яғни (Султангазинов, Наурызова, Рустамбекова, 2021: 164)

$$\Phi_{x_3}(p) = \Phi_{онт}(p) = \Phi'_{онт}(p)e^{-p\tau_0} \quad (10)$$

мұндағы $\Phi'_{онт}(p)$ - x_3 және x_n сигналдар үшін ұтымды сүзгі. Сонда сәйкес, кешігуі бар объекттер үшін идеалды реттеуішті аламыз

$$W_{pu}(p) = \frac{\Phi'_{онт}(p)}{1 - \Phi'_{онт}(p)e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W'_0(p)} \quad (11)$$

ол Ресквиктің реттеуіші деп аталады.

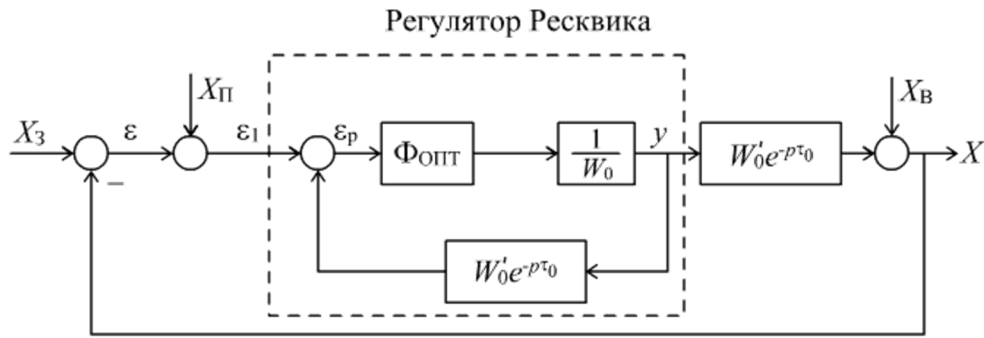
5-ші суретте көрсетілген құрылымға 11-өрнекке сәйкес келеді. Ресквик таза кешігуі бар үзбе реттеуішінің ішкі кері байланысы, объектінің шығысында y басқарылатын әсердің тағы бір өзгеруінен қандай сигнал пайда болуын болжайды. Өйткені бұл байланыстар оң, онда болжалатын сигнал оған тең объектінің нақты шығыс сигналына үнемі (бейтарап қалдырады) орнын толтырады. Қорытынды сигнал ξ_p тек қана алғашқы уақыт кезінде сыртқы әсерлер x_3 , x_n немесе x_g өзгерістерінен кейін шығады. Осылайша, негізгі контурдан таза кешігуі τ_0 шығарылады.

Ресквик реттеуішімен жүйенің елеулі кемшілігі оның объектінің кешігуінің аз вариацияларына сын көзімендігі болып табылады.

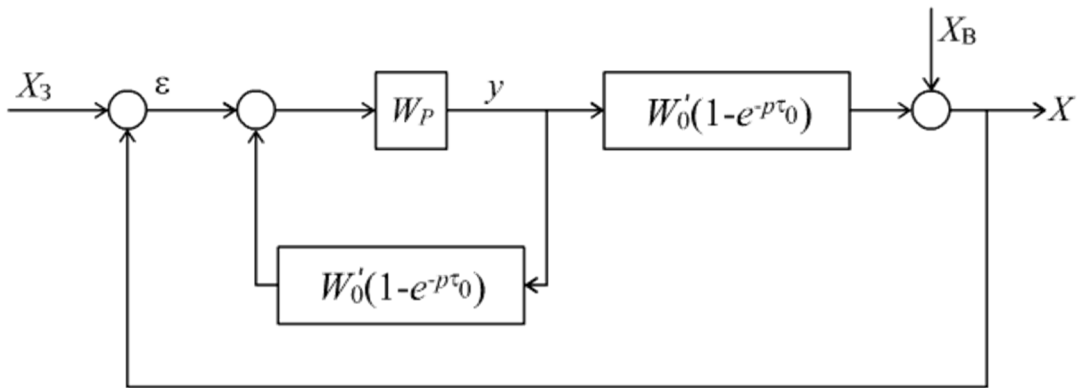
Объектінің кешігуін бейтараптандыру идеясын сонымен бірге бір үлгідегі реттеуіштерді қамтитын Смит упредителі арқылы жүзеге асырылады 7.6-шы суретте көрсетілген.

$(k_p \rightarrow \infty)$ үлкен беріліс коэффициентінде Смит упредителі бар реттегіші Ресквик реттегішіне $\Phi_{онт} = 1$ эквивалентті болып келетініне көз жеткізуге қиын емес:

$$W_{\text{смит}}(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)W_0'(p)(1 - e^{-p\tau_0})} = \frac{1}{1/W_p(p) + W_0'(p)(1 - e^{-p\tau_0})} \approx \frac{1}{1 - e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W_0'(p)} \quad (12)$$



5-сур. Ресквик реттегіш базасындағы кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы



6-сур. Смит упредителі негізінде кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы

Смиттің упредителімен жүйені жеңілдетуді техникалық тұрғыда жүзеге асыру оңайға соғады, өйткені объекттің кері беріліс функциясын модельдеуге керек болмайды.

Тұрақтанған және абайлаушы жүйелердегі инварианттылығының жүзеге асыруы. Автоматты жүйесінің синтезінің бас мақсаттарының бірі орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі тиісті дәлдігінің қамтамасыз етуі болып табылады. Орналастырылған тәртіптердегі жүйелерінің дәлдігі астатизмның реті және алшақ салынған нобайдың коэффициентін үлкейте жақсартуға болады. Сонымен бірге, әдеттегідей бірақ, орнықтылықтың қоры азаяды, тербелмелілік үлкееді және өтпелі тәртіптердегі жүйесінің дәлдігі азады. Орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі дәлдігі шарттарының арасындағы қарама-қайшылықтарды жою тиімді құралымен инварианттылықтың жүзеге асыруы өтем сыртқы әсер жолымен қызмет көрсетеді.

"Инварианттылық" бір физикалық шаманың екіншісіне тәуелсіздігін білдіреді. АБТ-да шығыс (басқарылатын шама немесе қатенің сигналы) шамаларының кіріс әсерлерінен тәуелсіздіктерді қарайды. Тұрақтану жүйелердегі қоздырушы әсерден басқарылатын шаманың тәуелсіздіктерін алуға ұмтылады, абайлаушы жүйелерде - берілетін әсерден қате сигналының тәуелсіздігі.

АБЖ инварианттылық әсер бойынша басқару арқылы жетеді, басқарылатын әсер қоздыратын әсердің өзгеруіне байланысты құрылады. Егер қоздырушы әсер өлшенетін

болса, басқару принципі қолданылатыны анық. Қоздыру бойынша басқару принципті әдетте (құрамалы жүйе) ауытқулар бойынша басқарумен бірге қолданылады.

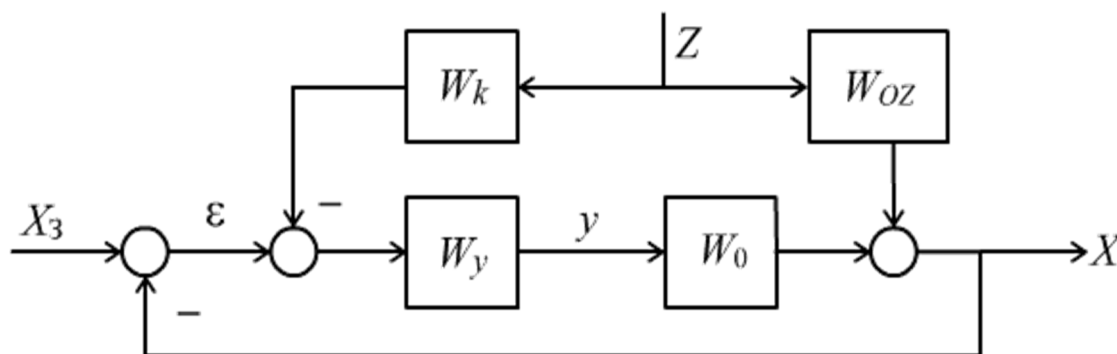
Тұрақты комбинирленген жүйенің алгоритмдік құрылымын қоздыру бойынша өтеуші байланыспен қарастыруға болады 7.7-ші суретте көрсетілген Өтеу байланысы шығыс шамасына таңбамен әсер етеді, ол әрдайым шығысқа қоздырудың әсерінің таңбасына кері болады. Қоздыру бойынша жүйенің беріліс функциясы

$$\Phi_{xz}(p) = \frac{x(p)}{z(p)} = \frac{W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (13)$$

мұндағы $W_0(p)$ және $W_{0z}(p)$ - сәйкесінше басқарушы және қоздырушы әсер бойынша объектінің беріліс функциялары;

$W_y(p)$ – бағдарлаушы құрылымның беріліс функциясы;

$W_k(p)$ - орнын толтыратын құрылымның беріліс функциясы.



7-сур. АБЖ аралас құрылымның басқару әсеріндегі байланыс компенсациясы

Басқарылатын шама $x(t)$ қоздыруға $z(t)$ тәуелді емес, егер (13) беріліс функциясы нөлге тең болса

$$\Phi_{xz}(p) = 0 \quad (14)$$

егер оның алымы нөлге тең болса бұл болуы мүмкін. Қоздыруға қарағанда тұрақтандырылатын шаманың инварианттылығының шарты осыдан

$$W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (15)$$

15-шарт, қоздырушыдан $x(t)$ шаманың тәуелсіздігінің табысы үшін қоздырушы $z(t)$ бойынша жұмыс істеген екі параллель каналдардың динамикалық қасиеті бірдей болуы үшін керектігін білдіреді, өтейтін құрылымның беріліс функциясы.

$$W_k(p) = W_{0z}(p) / W_y(p)W_0(p) \quad (16)$$

Абайлаушы жүйелерде берілген қоздырудан қате сигналының тәуелсіздігіне жету керек. Схемалар үшін 8-суретте әсермен $x(t)$ және қатенің сигналы $\xi(t)$ аралығында беріліс функция келтірілген:

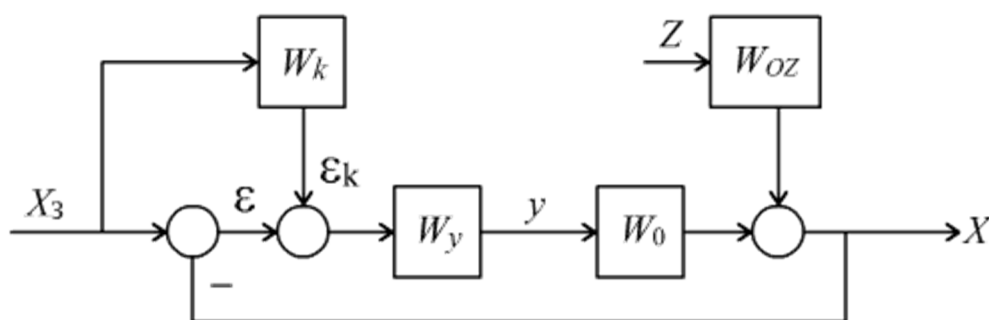
$$\Phi_{\xi_3}(p) = \frac{1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (17)$$

17- функцияны нөлге теңестіре отырып берілген әсерге байланысты аңду қатесінің инварианттылығының шартын табамыз

$$1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (18)$$

бұдан өтуші құрылымның керекті беріліс функциясы шығады

$$W_k(p) = 1/W_y(p)W_0(p) \quad (19)$$



8-сур. Берілетін әсер бойынша өтуші байланысымен АБЖ комбинирленген құрылымы.

Қорытынды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – автоматты басқару теориясын зерттеу, автоматты жүйелерді синтездеу және жобалау әдістерін талдау, сондай-ақ алынған нәтижелердің практикалық қолдану мүмкіндіктерін бағалау – толық орындалды. Зерттеу барысында математикалық модельдеу, жүйелердің құрылымдық талдауы, құжаттық талдау сияқты әртүрлі ғылыми әдістер қолданылды. Бұл әдістер автоматты жүйелердің алгоритмдік және функционалдық құрылымдарын кешенді зерттеуге, олардың тұрақтылығын, басқарылуын және бақылануын бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, автоматты жүйелерді синтездеудің заманауи тәсілдері тек дәлдік пен реттеу жылдамдығы көрсеткіштерін қамтамасыз етіп қана қоймай, өзгермелі сыртқы әсерлер жағдайында тиімді жұмыс істей алатын адаптивті құрылымдарды құруға мүмкіндік береді. Негізгі заңдылықтар анықталды: жүйенің алгоритмдік және функционалдық құрылымын дұрыс жобалау оның тұрақтылығына тікелей әсер етеді, ал конструктивті элементтерді таңдау бүкіл жүйенің тиімділігін анықтайды. Сондай-ақ, сандық басқару жүйелері дәлдік, икемділік және қазіргі есептеу құралдарымен интеграция мүмкіндігі жағынан артықшылықтарға ие екендігі растаылды, бұл олардың өнеркәсіпте, көлік жүйелерінде және телекоммуникация салаларында қолдану перспективаларын ашады.

Аталған зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, келесі қорытындылар жасауға болады:

- Зерттеу мақсаттары толық орындалды, ал қолданылған әдістер автоматты жүйелердің тиімділігін бағалауда сенімді нәтижелер беретінін көрсетті.

- Жүйелерді синтездеу және құрылымдық талдау алгоритмдері әртүрлі жұмыс режимдерінде автоматты жүйенің мінез-құлқын алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

- Алынған нәтижелер автордың бастапқы тұжырымының дұрыстығын растайды: жүйелік тәсіл мен математикалық модельдеу автоматты жүйелерді жобалауда негізгі құралдар болып табылады.

- Алынған нәтижелердің практикалық қолданылуы әртүрлі салаларда мүмкін: өнеркәсіптік автоматтандыру, теміржол көлігі, авиация, робототехника. Сандық басқару және адаптивті алгоритмдер қолданылған жүйелер сенімділікті арттырады, техникалық қызмет көрсету шығындарын төмендетеді және өндірістік көрсеткіштерді жақсартады.

Болашақ зерттеулер перспективаларына көпконтурлі күрделі жүйелерді синтездеу мүмкіндіктерін кеңейту, адаптивті басқару үшін жасанды интеллект әдістерін интеграциялау, сондай-ақ автоматты жүйелердің нақты жағдайдағы жұмысын болжауға арналған кешенді симуляциялық модельдер әзірлеу кіреді. Сонымен қатар, ұсынылған шешімдерді оқу және өндірістік жүйелерге енгізу арқылы олардың тиімділігін бағалау және мүмкін шектеулерді анықтау қажет.

Қорытындылай келе, жүргізілген зерттеу автоматты басқару теориясын тереңдетуге үлес қосып, заманауи синтез және жобалау әдістерінің практикалық қолданылуын растады және автоматтандыру саласын әртүрлі техникалық бағыттарда дамытуға перспективаларды ашты.

ӘДЕБИЕТТЕР

Бесекерский, 1975 – Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука.— 1975. — 122 с. [Russ.]

Бесекерский, 1976 – Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. — М.: Наука.— 1976. — 125 с. [Russ.]

Болнокин, 1986 – Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. — М.: Радио и связь.— 1986. — 127 с. [Russ.]

Вавилов, 1981 – Вавилов А.А., Имаев Д.Х. Машинные методы расчета систем управления. — Л.: Изд-во ЛГУ.— 1981. — 130 с. [Russ.]

Воронов, 1980 – Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. — М.: Энергия.— 1980. — 145 с. [Russ.]

Воронов, 1981 – Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Особые линейные системы. — М.: Энергия.— 1981. — 150 с. [Russ.]

Воронов, 1979 – Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. — М.: Наука.— 1979. — 167 с. [Russ.]

Хитрюк, Федоров, 1976 – Динамика систем управления ракет с бортовыми вычислительными машинами / Под ред. М.С. Хитрюка, С.М. Федорова. — М.: Машиностроение.— 1976. — 177 с. [Russ.]

Шаталов, 1979 – Задачник по теории автоматического управления / Под ред. А.С. Шаталова. — М.: Энергия.— 1979. — 156 с. [Russ.]

Иващенко, 1979 – Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. — М.: Машиностроение.— 1979. — 134 с. [Russ.]

Кочетков, 1964 – Кочетков В.Т., Половко А.М., Понамарев В.М. Теория систем телеуправления и самонаведения ракет. — М.: Наука.— 1964. — 189 с. [Russ.]

Красовский, 1962 – Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. — М.: Госэнергоиздат.— 1962. — 198 с. [Russ.]

Султангазинов, 2004 – Султангазинов С.К. Теоретические основы автоматики и телемеханики. Учебное пособие. — Алматы: Изд. «Алла Прима».— 2004. — 285 с. [Kaz.]

Султангазинов, 2009 – Султангазинов С.К. Элементы устройств автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. Учебное пособие. — Алматы: Изд. «Алла Прима».— 2009. — 151 с. [Kaz.]

Султангазинов, Рустамбекова, Рустамбеков, 2022 – Султангазинов С.К., Рустамбекова К.К., Рустамбеков Е.К. Элементы и станционные системы жд. транспорта. Учебное пособие. — Алматы: ИП «Darkhan».— 2022. — 65 с. [Kaz.]

Султангазинов, Наурызова, Рустамбекова, 2021 – Султангазинов С.К., Наурызова Н.Ш., Рустамбекова К.К. Телекоммуникациялық желілердің құрал-жабдығын пайдалану. Оқу құралы. — Алматы: ИП «Darkhan».— 2021. — 164 б. [Kaz.]

REFERENCES

Besekerskii, 1975 – Besekerskii, V.A., Popov, E.P. (1975). Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Theory of Automatic Control Systems]. — Moscow: Nauka. — 1975. — 122 p. [in Russ.]

Besekerskii, 1976 – Besekerskii, V.A. (1976). Tsifrovye avtomaticheskie sistemy [Digital Automatic Systems]. — Moscow: Nauka. — 1976. — 125 p. [in Russ.]

- Bolnokin, 1986 – Bolnokin, V.E., Chinaev, P.I. (1986). Analiz i sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya na EVM [Analysis and Synthesis of Automatic Control Systems Using Computers]. — Moscow: Radio i svyaz'. — 1986. — 127 p. [in Russ.]
- Vavilov, 1981 – Vavilov, A.A., Imaev, D.Kh. (1981). Mashinnyye metody rascheta sistem upravleniya [Machine Methods for Calculating Control Systems]. — Leningrad: LSU Publishing House. — 1981. — 130 p. [in Russ.]
- Voronov, 1980 – Voronov, A.A. (1980). Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Avtomaticheskoe regulirovanie nepreryvnykh lineinykh sistem [Fundamentals of Automatic Control Theory. Automatic Control of Continuous Linear Systems]. — Moscow: Energiya. — 1980. — 145 p. [in Russ.]
- Voronov, 1981 – Voronov, A.A. (1981). Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Osobyte lineinye sistemy [Fundamentals of Automatic Control Theory. Special Linear Systems]. — Moscow: Energiya. — 1981. — 150 p. [in Russ.]
- Voronov, 1979 – Voronov, A.A. (1979). Ustoichivost', upravlyaemost', nablyudaemost' [Stability, Controllability, Observability]. — Moscow: Nauka. — 1979. — 167 p. [in Russ.]
- Khityruk, Fedorov, 1976 – Khityruk, M.S., Fedorov, S.M. (Eds.). (1976). Dinamika sistem upravleniya raket s bortovymi vychislitel'nymi mashinami [Dynamics of Missile Control Systems with Onboard Computers]. — Moscow: Mashinostroenie. — 1976. — 177 p. [in Russ.]
- Shatalov, 1979 – Shatalov, A.S. (Ed.). (1979). Zadachnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya [Problem Book on Automatic Control Theory]. — Moscow: Energiya. — 1979. — 156 p. [in Russ.]
- Ivashchenko, 1979 – Ivashchenko, N.N. (1979). Avtomaticheskoe regulirovanie [Automatic Control]. — Moscow: Mashinostroenie. — 1979. — 134 p. [in Russ.]
- Kochetkov, 1964 – Kochetkov, V.T., Polovko, A.M., Ponomarev, V.M. (1964). Teoriya sistem teleupravleniya i samonavedeniya raket [Theory of Remote Control and Missile Homing Systems]. — Moscow: Nauka. — 1964. — 189 p. [in Russ.]
- Krasovskii, 1962 – Krasovskii, A.A., Pospelov, G.S. (1962). Osnovy avtomatiki i tekhnicheskoi kibernetiki [Fundamentals of Automation and Technical Cybernetics]. — Moscow: Gosenergoizdat. — 1962. — 198 p. [in Russ.]
- Sultangazinov, 2004 – Sultangazinov, S.K. (2004). Teoreticheskie osnovy avtomatiki i telemekhaniki [Theoretical Foundations of Automation and Telemechanics]. — Almaty: Alla Prima Publishing House. — 2004. — 285 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov, 2009 – Sultangazinov, S.K. (2009). Elementy ustroystv avtomatiki i telemekhaniki na zheleznodorozhnom transporte [Elements of Automation and Telemechanics Devices in Railway Transport]. — Almaty: Alla Prima Publishing House. — 2009. — 151 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov et al., 2022 – Sultangazinov, S.K., Rustambekova, K.K., Rustambekov, E.K. (2022). Elementy i stantsionnye sistemy zheleznodorozhnogo transporta [Elements and Station Systems of Railway Transport]. — Almaty: IP “Darkhan”. — 2022. — 65 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov et al., 2021 – Sultangazinov, S.K., Nauryzova, N.Sh., Rustambekova, K.K. (2021). Telekommunikatsiyalyk zhelilerdin kural-zhabydygyn paidalanu [Operation of Telecommunications Network Equipment]. — Almaty: IP “Darkhan”. — 2021. — 164 p. [in Kaz.]