

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ. И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Құмарғалиева Анель Айбекқызы

Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ. И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 681.5:66.011 (043)

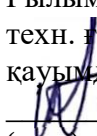
Қолжазба құқығында

Құмарғалиева Анель Айбекқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы
Дайындау бағыты

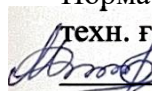
Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу
7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Ғылыми жетекші
техн. ғыл. кандидаты
қауымдастырылған профессор
 Орынбет М. М.
(қолы)

«19» маусым 2025 ж.

Рецензент
к.т.н., доцент
 Туманов И. Е.
(қолы)

«19» маусым 2025 ж.

Норма бақылаушы
техн. ғыл. магистрі
 Манатов Қ. А.
(қолы)

«19» маусым 2025 ж.



Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ. И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру



Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА

Магистрант Құмарғалиева А.А.

Тақырыбы «Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу»

Жаутиков Б. 2023 жылғы «04» желтоқсан № 548-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі «19» маусым 2025 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Периодты типтегі химиялық реактор кірісіндегі концентрация, температура және ағым жылдамдығы бастапқы шарттары.

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- а) технологиялық бөліктің сипаттамасы;
- ә) автоматты басқару жүйесінің құрылымдық схемасын әзірлеу;
- б) процесті басқару жүйесін автоматтандырудың функционалдық схемасын әзірлеу;
- в) есептеу бөлігі;
- г) басқару бағдарламасын әзірлеу.

График материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

Периодты эрекеттегі химиялық реактордың автоматтандырудың функционалды схемасы.

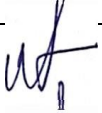
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

- 1 Огузов А.Д. Автоматизация химико-технологических процессов. — М.: Химия, 2010. — 288 б. — Б. 45–98.
- 2 Крутько В.С., Чечеткин В.Н. Системы автоматического управления. — СПб.: Питер, 2007. — 384 б. — Б. 120–175.
- 3 MathWorks Inc. MATLAB and Simulink User's Guide. — Natick, MA, USA: The MathWorks, 2023. — [Электрондық ресурс]. — Б. 210–260.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, зерттеп дайындалатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Тақырыптың өзектілігі, зерттеу нысаны, мақсаты мен міндеттері, ғылыми жаңалығы және практикалық маңыздылығы.	13.02.2024 ж.	
Технологиялық бөлім Химиялық реакторлар туралы мәліметтер, автоматтандырылған басқару жүйелері, PID реттегіш теориясы.	07.03.2024 ж.	
Технологиялық бөлім Жылу балансы, температура теңдеуі, басқару объектілерінің сипаттамалары.	23.11.2024 ж.	
Есептеу бөлімі Simulink PID реттегіш құру, панельдермен интеграция.	14.12.2024 ж.	
Есептеу бөлімі Модельдеу нәтижелері, жүйенің тиімділігі, практикалық маңызы.	19.02.2025 ж.	

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған
қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Технологиялық бөлім	Орынбет М. М. техн. ғыл. кандидаты қауымдастырылған профессор	19.06.2025	
Есептік бөлім	Орынбет М. М. техн. ғыл. кандидаты қауымдастырылған профессор	19.06.2025	
Норма бақылаушы	Манатов Қ. А. техн. ғыл. магистрі	19.06.2025	

Ғылыми жетекші

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Күні


қолы

қолы

Орынбет М.М.

Құмарғалиева А.А.

«10» 12 2023 ж.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда реакторлық процесті басқаруға арналған автоматтандырылған басқару жүйесін әзірлеу мәселесі қарастырылады. Зерттеу барысында химиялық реакторлардың технологиялық ерекшеліктері талданып, процесті тиімді басқаруға мүмкіндік беретін басқару құрылымы ұсынылды. Автоматтандыру жүйесінің негізгі элементтері мен техникалық талаптары анықталды.

Зерттеу нәтижелері реакторлық процестерді тиімді әр сенімді автоматтандырудың жолдарын көрсетуге мүмкіндік берді. Ұсынылған басқару жүйесі өндірістегі процестердің қауіпсіздігі мен өнімділігін арттыруға бағытталған. Жұмыстың нәтижелері химиялық өндірісті автоматтандыру саласында қолдануға жарамды.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской диссертации рассматривается проблема разработки автоматизированной системы управления для управления реакторным процессом. В ходе исследования были проанализированы технологические особенности химических реакторов и предложена структура управления, позволяющая эффективно управлять процессом. Определены основные элементы и технические требования системы автоматизации.

Результаты исследования позволили показать способы эффективной автоматизации реакторных процессов. Предлагаемая система управления направлена на повышение безопасности и производительности процессов на производстве. Результаты работы подходят для применения в области автоматизации химического производства.

ANNOTATION

This master's thesis examines the problem of developing an automated control system for controlling the reactor process. In the course of the study, the technological features of chemical reactors were analyzed and a control structure was proposed that makes it possible to effectively manage the process. The main elements and technical requirements of the automation system are defined.

The results of the study allowed us to show ways to effectively automate reactor processes. The proposed management system is aimed at improving the safety and productivity of production processes. The results of the work are suitable for applications in the field of chemical production automation.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Технологиялық бөлім	8
1.1 Реакторлық процестердің жалпы сипаттамасы	8
1.2 Химиялық реакторлардың жұмыс принциптері мен түрлері	9
1.3 Реакторлық қондырғының құрылымдық схемасы	17
1.4 Негізгі технологиялық параметрлер мен олардың әсері	20
1.5 Реакторлық процестегі типтік басқару мәселелері	23
2 Арнайы бөлім	26
2.1 Реакторлық процестің физикалық-математикалық моделі	26
2.2 Басқару объектісінің модельдік сипаттамасы	31
2.3 Автоматтандырылған басқару жүйесінің құрылымы	37
2.4 MATLAB/Simulink ортасында модельдеу	38
2.5 Модельдеу нәтижелері мен талдау	40
3 Есептік бөлім	42
3.1 Реакторлық процестің математикалық моделі және жұмыс нүктесін анықтау	42
3.2 Күй кеңістігінде сызықтық модель құру	44
3.3 Ашық жүйенің орнықтылығын талдау	46
3.4 ПИД-реттегіш негізінде басқару жүйесін синтездеу	48
3.5 Имитациялық модельдеу және нәтижелерді талдау	50
Қорытынды	54
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	55

КІРІСПЕ

Жобаның мақсаты. Диссертациялық жұмыстың мақсаты реакторлық процесстерді автоматтандыру болып табылады. Реакторлық процесстерді қарастырып және оның түрлерін бөліп, соның ішінде жеке химиялық реакторлардағы процесстердің математикалық моделін құрастырып, автоматтандыру сұлбасын жасау болып табылады.

Жобаның міндеті. Реакторлық процесстерді автоматтандыра отырып, қоршаған ортаға деген кері әсерін төмендету, шығындарды азайту, жұмысты жеңілдету деген сияқты талаптарға сай келуін қамтамасыз ету.

Тақырыптың өзектілігі. Заводтарда адамның жұмысын жеңілдету және жақсарту үшін және қолайлы болу үшін қазіргі кездегі өзекті мәселе ол реакторлық процесстерді автоматтандыру болып келеді. Қазіргі уақытта реакторлық процесстермен жұмыс жасап, оларды пайдалану, шығынды азайтып және жұмыстың сапасын жоғары деңгейде мейлінше ұзақ сақталуын сонымен қатар адам денсаулығын қорғау үшін автоматты реакторларды пайдаланған жөн. Себебі реакторлармен жұмыс жасаған кезде аса дәлдікті, ұқыптылықты талап етеді. Жалпы реакторлық процесстерді автоматтандыру адамды ауыр және физикалық еңбектің көптеген бөлігінен босатып қана қоймайды, сонымен қатар өндірісте адамның қолынан келмейтін жылдамдықпен, дәлдікпен, сенімділікпен және үнемділікпен жұмыс істеуді қамтамасыз етеді.

Жұмыстың тапсырмасы мен міндеттері. Бірінші тарауда жалпы реакторлар туралы жалпы мәлімет қарастырылған. Реактордың жұмыс принципі және реактордың конструкциясының құрылуы сипатталады. Реакторларды құрастырудағы конструкциясына арналған материалдар және олардың түрлеріне де көңіл бөлінген. Реактордың құрылғылары және реакторлық процесстер туралы толық ақпарат айтылып өткен. Реакторлардың химиялық, ядролық және биологиялық процесстері туралы жазамыз.

Екінші тарауда реакторлық процесстердің ішіндегі, химиялық реакторға жеке тоқталып, оның құрамы, тиімділігі, адам өміріндегі маңыздылығы жөніне жұмыс жасау принципі толықтай келтірілген. Және оның функционалдық сұлбасы сызылып, сипатталады. Жалпы химиялық реактордың құрылысы көрсетіледі.

Үшінші тарауда химиялық реактордың автоматты реттеу жүйесін әзірлеу туралы есептеулер жүргізіліп, автоматты басқару жүйесі химиялық реактордың математикалық моделі құрылып, оны Matlab бағдарламасында Simulink пакетінде модель жинаған болатынын. Осыдан барлық нәтижесін график түрінде аламыз.

1 Технологиялық бөлімі

1.1 Реакторлық процестердің жалпы сипаттамасы

Автоматтандыру – өндірісте техникалық құрал жабдықтарды, машиналарды, энергияларды, әр түрлі материалдарды және ақпарттарды алу, пайдалану, көптеген процестерді адамның қатысуынан босататын басқару жүйесі дейміз. Былайша айтқанда автоматтандыру – адамның өнеркәсіпте жұмысын жеңілдету үшін пайдаланылады.

Автоматтандыру термині, бұрынғы "Автоматты" сөзіне негізделген, 1947 жылға дейін Форд автоматтандыру бөлімін құрғанға дейін кеңінен қолданылмады. Дәл осы уақытта индустрия 1930 жылдары енгізілген кері байланыс контроллерлерін тез қабылдады.

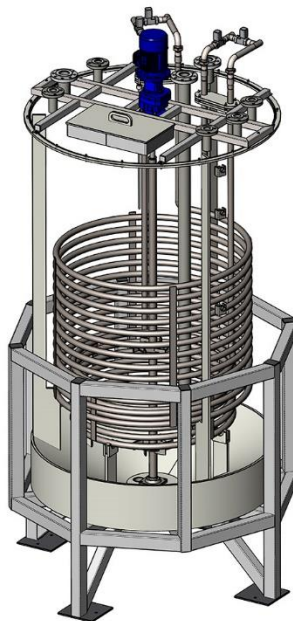
Жалпы алғанда автоматтандырудың ең басты мақсаттарының бірі – еңбектің өнімділігін арттыру және өнімнің сапасын жақсарту, басқарылатын жұмыстардың барлығын тиімділендіру, адамның денсаулығына зиян келтіретін жұмыстан босату. Автоматтандыру ғылымдағы ең үлкен прогресстердің басты бір бағыты болып табылады.

Реактор дегеніміз – көптеген реакциялар негізінде жұмыс істейтін құрылғы болып табылады. Реактор – вертикалды цилиндрлік ыдыс, риформинг, гидротазарту, каталитикалық крекинг, гидрокрекинг және т.б. қондырғыларды жинақтау үшін арналған, физикалық, химиялық және биологиялық реакциялардың жүруіне арналған құрылғы. Қысым арқылы жұмыс жасайды.

Реакторлардың барлығы болат корпустан, реакцияға түскен өнімдерді қайта өңдеуге арналған дистрибьюторы бар фитингтен, реакция өнімдерін шығаруға арналған фитингтен, тірек торынан тұрады. Оған әдетте фарфордан жасалған шарлардың 3 қабаты орналастырылады. Ең үлкен бірінші қабаттың диаметрі 20 мм, содан кейін 13 мм, ал ең кішісінің диаметрі 6 мм. Содан кейін катализатор толтырылады. Катализатор ретінде синтетикалық алюминий силикаттары, күміс, никель және басқалары қолданылады.

Катализатор материалы реактор қатысатын процесстерге байланысты. Катализатордың үстіне диаметрлері 16 дан 20 мм-ге дейін жететін фарфор шарларының тағы да бір қабаты құйылады. Катализаторды шығару және жүктеу үшін реакторда арнайы люк болады, ол ревизия және жөндеу жұмыстары кезінде де қолданыла береді. Тірек сақиналары аппаратты, яғни реакторды құрылыстағы конструкцияға бекіту үшін қолданылады. Реакторлардың корпусы болаттан жасалынған және ішкі жағында өте жоғары температураға төзімді таркрет бетонымен қапталған, оның қалыңдығы әдетте 150 мм болады. Катализатордың басты міндеттерінің бірі мақсатты өнімдердің шикізат бірлігінен шығуын арттыру арқылы жүретін химиялық реакциялардың селективтілігін арттыру. Катализатор қабатынан өткеннен кейін реакция өнімдері фитинг арқылы шығарылады. Мұнай өңдеу зауыттарында өолданылатын реакторлардың дизайны әр түрлі және олар

қолданылатын процесске байланысты бөлінеді. 1.1-суретте периодты типтегі химиялық реактордың сұлбасы көрсетілген.



1.1 - сурет - Реактор

1.1.1 Реакторлық процестердің маңызы мен қолдану аясы

Реакторлық процестер – химиялық, мұнай-химиялық, фармацевтикалық және биотехнологиялық өндірістердің негізін құрайтын маңызды технологиялық кезеңдердің бірі. Бұл процестерде бастапқы заттар (реагенттер) белгілі бір физикалық-химиялық жағдайларда әрекеттесіп, қажетті өнімдерге айналады. Реактор — осындай процестер жүретін негізгі құрылғы, сондықтан оның жұмысы өндірістің жалпы тиімділігіне, өнім сапасына және экономикалық көрсеткіштерге тікелей әсер етеді.

Реакторлық процестердің маңыздылығы – олардың көмегімен әртүрлі заттар синтезделіп, халық шаруашылығының көптеген салалары үшін маңызды өнімдер алынады. Мысалы, аммиак, метанол, күкірт қышқылы, полимерлер мен тыңайтқыштар сияқты заттар дәл осы реакторлық жағдайда алынады. Сонымен қатар, реакторлық технологиялар энергия өндіру, қалдықтарды өңдеу және қоршаған ортаны қорғау салаларында да кеңінен қолданылады.

Қолдану аясына қарай реакторлар әртүрлі мақсаттарға бейімделіп жобаланады: химиялық зауыттарда — негізгі өнім алу үшін, фармацевтикада — биохимиялық реакцияларды жүзеге асыру үшін, ал мұнай өңдеуде — көмірсутек шикізатын қайта өңдеу үшін пайдаланылады. Бұл процестердің күрделілігі мен жоғары температура, қысым сияқты параметрлерге тәуелділігі оларды басқаруды автоматтандыруды қажет етеді. Демек, реакторлық процестер – қазіргі заманғы өндірістердің негізгі түйіні ретінде

қарастырылып, олардың дұрыс ұйымдастырылуы бүкіл технологиялық тізбектің тиімді жұмысын қамтамасыз етеді.

1.1.2 Реакция түрлері мен олардың ерекшеліктері

Реакторлық процестердің тиімділігін қамтамасыз ету үшін жүргізілетін химиялық реакциялардың түрлері мен олардың ерекшеліктерін нақты түсіну қажет. Химиялық реакциялар сипатына қарай әртүрлі болып келеді және олардың жүру механизмдері, жылдамдығы, энергия тұтынуы мен өнім шығымына айтарлықтай әсер етеді. Реакция түрін дұрыс анықтау — басқару жүйесінің параметрлерін тиімді таңдауға, сондай-ақ басқару алгоритмдерін дұрыс жобалауға мүмкіндік береді.

Химиялық реакциялар негізінен гомогенді және гетерогенді болып екіге бөлінеді. Гомогенді реакциялар – барлық реагенттер бір фазада (әдетте газ немесе сұйық) болатын реакциялар. Бұл типтегі процестерде масса және жылу тасымалы біркелкі жүреді, реакция жылдамдығы көбіне температура мен концентрацияға тәуелді болады. Гетерогенді реакциялар – әртүрлі фазаларда жүретін процестер (мысалы, газ–қатты, сұйық–қатты жүйелер). Бұл жағдайда масса алмасу беткі қабаттарда жүреді, сондықтан диффузиялық шектеулер мен катализатордың қасиеттері үлкен рөл атқарады.

Реакциялар жылдамдығы бойынша да тез жүретін (мысалы, нейтрализация) және баяу жүретін (мысалы, газды диффузиямен шектелетін) реакциялар болып бөлінеді. Сонымен қатар, реакциялар экзотермиялық (жылу бөледі) және эндотермиялық (жылу сіңіреді) сипатта болуы мүмкін, бұл да басқару жүйесі арқылы температураны тұрақты ұстау қажеттілігін тудырады. Көп сатылы немесе параллель реакциялар жағдайында аралық өнімдердің пайда болуы реакторда жүретін процесті күрделендіреді, сондықтан модельдеу мен басқару алгоритмдері нақты таңдалуы тиіс.

Осылайша, реакция түрлерін терең түсіну – реакторлық процесті басқарудың негізі болып табылады. Реакцияның механизмі мен кинетикасына байланысты басқару жүйесінің құрылымы, сенсорлар түрі және реттеу параметрлері таңдалады. Бұл факторлар өндіріс тиімділігіне, өнімнің сапасына және ресурстарды үнемдеуге тікелей ықпал етеді. 1.2-суретте лабораторияларда қолданылатын химиялық реактордың сұлбасы бейгеленген.



1.2 - сурет - Лабораториялық реактор

1.1.3 Технологиялық параметрлерге әсер ететін факторлар

Реакторлық процестердің тиімділігі мен тұрақтылығы көп жағдайда негізгі технологиялық параметрлердің — температура, қысым, реагенттер концентрациясы мен ағын жылдамдығы — тұрақты және дәл реттелуіне байланысты. Бұл параметрлердің әрқайсысы процестің термодинамикалық және кинетикалық сипатына әсер етеді, сондықтан оларды басқарудағы кез келген ауытқу өнім сапасының төмендеуіне немесе қауіпті жағдайлардың туындауына алып келуі мүмкін.

Температура — химиялық реакция жылдамдығына тікелей әсер ететін маңызды фактор. Көптеген реакциялар үшін температура жоғарылаған сайын реакция жылдамдығы да артады. Алайда температураның шектен тыс көтерілуі жанама реакциялардың жүруіне немесе катализатордың белсенділігінің төмендеуіне әкеп соғуы мүмкін. Сондықтан температураны белгілі бір диапозонда дәл ұстап тұру — басқару жүйесінің негізгі міндеттерінің бірі болып табылады.

Қысым да көптеген реакторлық процестер үшін шешуші рөл атқарады, әсіресе газ фазасындағы реакцияларда. Қысымның өзгеруі газ көлеміне, реакция тепе-теңдігіне және реагенттердің ерігіштігіне әсер етеді. Мысалы, аммиак синтезі кезінде жоғары қысым қажет, себебі бұл реакция теңгерімділікті өнім бағытына ығыстырады. Қысым тұрақсыз болса, процестің тиімділігі айтарлықтай төмендейді.

Концентрация — реагенттердің бастапқы мөлшеріне және олардың арақатынасына тәуелді. Реакция жылдамдығы көбіне бастапқы заттардың концентрациясымен анықталады, сондықтан бұл параметрді дәл бақылау өнім шығымын арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, реагенттер ағынының жылдамдығы мен араластыру деңгейі де масса және жылу тасымалдау процестеріне әсер етеді, бұл өз кезегінде реактордың ішкі ортасының біртектілігін қамтамасыз ету үшін қажет.

Осы параметрлердің өзара байланысы мен оларға әсер ететін сыртқы факторлар (мысалы, қоршаған ортаның температурасы, шикізат сапасы немесе жабдықтың тозуы) да ескерілмесе, жүйенің жұмысы бұзылып, апаттық

жағдайлар тууы мүмкін. Сондықтан реакторлық процестерде осы технологиялық параметрлерді нақты бақылап, автоматты түрде басқару — қауіпсіз және тиімді өндірістің басты шарты болып саналады.

Көптеген өнеркәсіптік қондырғылар қысыммен жұмыс істейді, сондықтан зертханалық зерттеулер кезінде жоғары/орташа қысымды ұстап тұру қажет. Реактордағы жұмыс қысымын таңдау химиялық реакция түріне, реагенттердің агрегаттық күйіне байланысты. Қысыммен жұмыс істейтін реакторлар жоғары қауіпсіздік техникасын қажет етеді. Мұндай құрылғыларды өндірушілер шығарылатын өнімнің сапасын мұқият бақылайды.

1.2 Химиялық реакторлардың жұмыс принциптері мен түрлері

1.2.1 Үздіксіз және мерзімді реакторлар

Реакторлардың жұмыс режимі олардың қолдану мақсатына, өндірістік қуаттылығына және қажетті өнім сапасына қарай таңдалады. Негізгі екі жұмыс режимі бар: мерзімді (периодтық) және үздіксіз (тұрақты ағынды). Бұл режимдердің әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен шектеулері бар, және оларды таңдау технологиялық процестің ерекшеліктеріне байланысты жүзеге асырылады.

Мерзімді реакторлар (batch reactor) — бастапқы реагенттер реакторға бір уақытта енгізіліп, белгілі бір уақыт ішінде реакция толық аяқталған соң, алынған өнім шығарылады. Мұндай реакторларда барлық процесс бір цикл бойынша жүреді: толтыру, реакция, босату және тазалау. Бұл режим, әдетте, кішігірім өндірістерде, фармацевтикалық және биотехнологиялық салаларда, сондай-ақ зертханалық жағдайда жиі қолданылады. Мерзімді реакторлардың артықшылығы — олар икемді, әртүрлі өнімдерге бейімделуі оңай, ал кемшілігі — өнімділігі шектеулі және процестің автоматтандырылуы күрделірек.

Үздіксіз реакторлар (continuous reactor) — реагенттер реакторға үздіксіз беріледі және өнім сол уақытта үздіксіз шығарылады. Бұл режим өнеркәсіптік масштабтағы, жоғары өнімді өндірістер үшін тиімді болып табылады. Үздіксіз реакторларда процестер бірқалыпты жүреді, өнім сапасы тұрақты сақталады және ресурстар тиімді пайдаланылады. Сонымен қатар, мұндай жүйелер автоматтандыруға қолайлы әрі энергия шығыны жағынан үнемді. Дегенмен, үздіксіз режимде жұмыс істейтін реакторлар күрделі басқару мен техникалық қызмет көрсетуді талап етеді, себебі кез келген кішігірім ақау бүкіл процесті тоқтатып қоюы мүмкін.

Қолдану саласына қарай, үздіксіз және мерзімді реакторлар әртүрлі артықшылықтарға ие. Мысалы, күрделі көпсатылы реакцияларда немесе аралық өнімдер қажет болған жағдайда мерзімді реакторлар ыңғайлы. Ал үлкен көлемде біртекті өнім шығару қажет болса, үздіксіз реакторлар әлдеқайда тиімді болып табылады. Жүйені автоматтандыру кезінде жұмыс

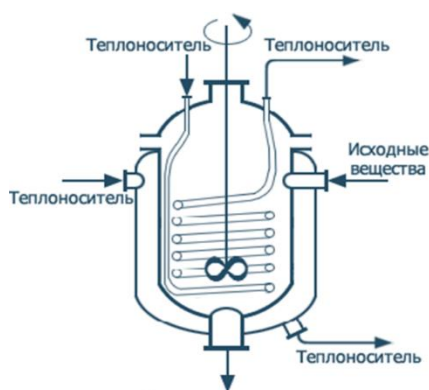
режиміне байланысты басқару стратегиясы мен техникалық шешімдер де өзгереді.

Автоматтандырылған басқару жүйесін жобалауда реактордың жұмыс режимін ескеру аса маңызды. Мерзімді реакторлар үшін әрбір цикл кезеңіне сәйкес басқару алгоритмдері құрылады, ал үздіксіз реакторларда басқару жүйесі нақты уақыт режимінде әрекет етіп, барлық параметрлердің тұрақты деңгейде сақталуын қамтамасыз етеді. Үздіксіз процестерде тұрақты жағдайды қамтамасыз ету күрделі болғанымен, басқару тиімділігі жоғары әрі өнімділік артады. Сондықтан автоматтандыру жүйесінің құрылымы мен басқару стратегиясын дұрыс таңдау үшін реактор режимдерінің ерекшеліктерін жан-жақты ескерген жөн.

1.2.2 Көлемдік және ағынды реакторлар

Реакторларды конструкциялық және процестік ерекшеліктеріне байланысты көлемдік (batch-type volume reactors) және ағынды (plug flow, continuous flow reactors) типтерге бөлуге болады. Бұл классификация процестің ағым сипатына, зат алмасу механизміне және басқару ерекшеліктеріне негізделеді. Әр типтің өзіндік артықшылықтары мен шектеулері бар, сондықтан олар нақты технологиялық міндеттерге қарай таңдалады.

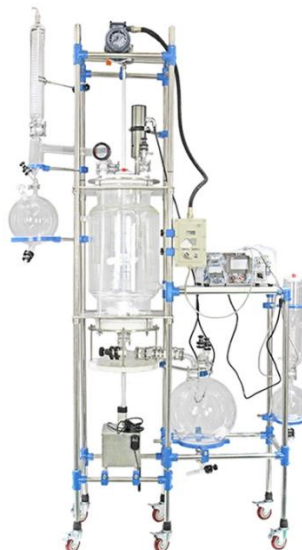
Көлемдік реакторлар — бір камера ішінде барлық реагенттер араласып, химиялық реакция толық көлемде жүреді. Мұндай реакторларда араластыру біркелкі, ал температура мен концентрация бүкіл көлем бойынша тұрақты болады деп есептеледі. Бұл типтегі реакторлар көбіне мерзімді режимде жұмыс істейді, бірақ кейбір жағдайларда үздіксіз режимде де қолданылады. Көлемдік реакторлар биотехнология, фармацевтика, тағам өндірісі сияқты салаларда сұйық фазалы және ферментациялық процестер үшін жиі пайдаланылады. 1.3-суретте периодты типтегі көлемдік реактор қолданылаған.



1.3 - сурет - Периодты реттегі көлемдік реактор

Ағынды реакторлар (Plug Flow Reactors – PFR) — реагенттер реактор арқылы бір бағытта тұрақты жылдамдықпен өтетін, және әрбір бөлшек реакция аймағынан өту кезінде нақты уақыт ішінде реакцияға түсетін жүйе.

Мұнда араластыру тек реактордың көлденең қимасында жүреді, ал бойлық бағытта араласу жоқ деп есептеледі. Ағынды реакторлардың артықшылығы – реагенттердің нақты экспозиция уақыты, жоғары өнімділік және реакцияның конверсиясын оңтайлы басқару мүмкіндігі. Мұндай реакторлар мұнай өңдеу, газ синтезі және ірі көлемді химиялық өндірістерде кеңінен қолданылады. 1.4-суретте ағынды реактордың сұлбасы бейнеленген.



1.4 - сурет - Ағынды реактордың сұлбасы

Ағынды және көлемдік реакторлар арасындағы негізгі айырмашылық – процестің уақыт бойынша емес, кеңістікте қалай жүруінде. Көлемдік реакторларда барлық реагенттер бір уақытта әрекеттессе, ағынды реакторларда олар реактордың әр нүктесінде әртүрлі кезеңде болады. Бұл ерекшелік басқару жүйесін жобалауда маңызды рөл атқарады: ағынды реакторларда әрбір учаскенің температурасы мен концентрациясын бөлек бақылауға болады, ал көлемдік реакторларда бұл мүмкін емес. Демек, реактор түрін таңдау басқару алгоритмінің күрделілігі мен модельдеу әдістеріне әсер етеді.

1.2.3 Реактор таңдауға қойылатын талаптар

Реакторлардың құрылымы мен жұмыс істеу режимі автоматтандырылған басқару жүйесінің (АБЖ) құрылымына тікелей әсер етеді. Басқару жүйесін құрастыру кезінде қолданылатын алгоритмдер, датчиктер мен атқарушы механизмдер таңдалған реактор түріне сәйкес келуі қажет. Себебі әртүрлі реакторлардың процестік динамикасы, температура мен концентрацияның таралуы, және жауап беру уақыты айтарлықтай өзгеше болады. Химиялық өндіріс процесінде қолданылатын реакторды дұрыс таңдау — бүкіл технологиялық тізбектің тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Реактор типі мен оның конструкциялық ерекшеліктері өндірілетін өнімнің сапасына, процестің

экономикалық тиімділігіне, басқару жүйесінің құрылымына және энергия шығынына тікелей әсер етеді. Сондықтан реакторды таңдау кезінде бірқатар техникалық, технологиялық, экономикалық және қауіпсіздікке қатысты талаптар ескерілуі тиіс.

Ең алдымен, реактордың процестің сипатына сәйкестігі басты талаптардың бірі болып табылады. Мысалы, гомогенді немесе гетерогенді реакциялар, экзотермиялық немесе эндотермиялық сипаттағы процестер, фазалардың саны мен күйі — бұлар реактор түрін таңдауда шешуші рөл атқарады. Егер реакцияның жүру механизмі көпсатылы немесе баяу болса, онда ұзақ уақыт аралығын қамтамасыз ететін және реакцияны толық жүргізуге мүмкіндік беретін құрылымды таңдау қажет. Ал жылдам жүретін, жоғары температура немесе қысым талап ететін реакциялар үшін ағынды және қысымға төзімді реакторлар таңдалады. Келесі маңызды талап — реакция кинетикасы мен жылу масса алмасу шарттарына бейімділік. Реактор ішінде қажетті температуралық режимді ұстап тұру, жылу алмасуды тиімді жүзеге асыру, реагенттерді біркелкі араластыру, өнімді өз уақытында шығару — бәрі тиімді өндірістің кепілі. Бұл талаптарды орындау үшін реакторда жылу алмастырғыштар, араластырғыштар, каталитикалық қабаттар немесе салқындатқыш жүйелер болуы мүмкін. Реактордың ішкі геометриясы да процестің жылу және масса тасымал қасиеттеріне сай жобалануы тиіс. Реактор таңдауға қойылатын келесі талап — басқару жүйесіне икемділігі мен сәйкестігі. Яғни, реакторда орнатылатын датчиктер, басқару клапандары, ағын реттегіштер, температура мен қысымды өлшейтін құрылғылар басқару жүйесіне жеңіл біріктірілуі тиіс.

Сонымен қатар, реактор нақты уақытта өлшенетін мәліметтерге тез жауап беруге және тұрақтылықты қамтамасыз етуге мүмкіндік беруі қажет. Қазіргі заманғы автоматтандырылған жүйелер модельге негізделген басқару алгоритмдерін қолданатындықтан, реактордың процестік параметрлерінің алдын ала математикалық сипаттамалары (динамикалық модельдер) болуы да маңызды. Тағы бір маңызды аспект — қауіпсіздік талаптары. Реактор жоғары температура мен қысым жағдайында жұмыс істейтін болса, онда оның конструкциясы қауіпсіздік стандарттарына сай келуі керек. Бұл, мысалы, артық қысым кезінде автоматты өшіру жүйесінің болуы, апаттық сигнал беру, жарылысқа төзімді корпуспен жабдықталуы сияқты талаптарды қамтиды. Сонымен қатар, апаттық жағдайлардың алдын алу үшін реактор материалы коррозияға төзімді, берік және химиялық әсерге шыдамды болуы керек. Сондай-ақ, реактордың экономикалық тиімділігі де ескерілуі тиіс. Реактордың бастапқы құны, техникалық қызмет көрсетуге кететін шығындар, энергия тұтыну деңгейі және жөндеу аралық уақыты өндірістің жалпы шығындарына әсер етеді. Сондықтан таңдауда ұзақ мерзімді пайдалану мен техникалық қызметке ыңғайлылық секілді факторлар да назарға алынады.

Кесте 1.1 – Реакторды таңдауға әсер ететін факторлар кестесі

Талап	Сипаттамасы	Маңыздылығы
Реакция түрі	Гомогенді/гетерогенді	Жоғары
Қысым және температура	Жоғары/төмен	Орташа
Басқару жүйесімен байланысы	PLC, PID, MPC	Жоғары
Экономикалық тиімділік	Бағасы, қызмет ету мерзімі	Жоғары

1.3 Реакторлық қондырғының құрылымдық схемасы

1.3.1 Қондырғы элементтері мен олардың өзара байланысы

Реакторлық қондырғы — бұл химиялық немесе физикалық процестерді басқаруға арналған кешенді жүйе. Оның негізгі мақсаты – қажетті өнімді жоғары тиімділікпен және қауіпсіздікпен алу. Қондырғы бірнеше негізгі элементтерден тұрады және олардың әрқайсысы белгілі бір функцияларды атқарады. Бұл элементтер өзара тығыз байланысты және біртұтас автоматтандырылған басқару жүйесінде үйлесімді жұмыс істеуі қажет.

Қондырғының негізгі элементтері:

- реактор (технологиялық аппарат) – негізгі технологиялық процесс (мысалы, химиялық реакция) өтетін орын. Ол әртүрлі түрге бөлінуі мүмкін: үздіксіз немесе периодты, араластырылатын немесе араластырылмайтын;

- шикізат беретін жүйе – бұл жүйе бастапқы реагенттерді реакторға дәл мөлшерде және қажетті параметрлермен (қысым, температура, шығын) жеткізеді. Оған сорғылар, шығын өлшегіштер, клапандар кіреді;

- жылуалмасу жүйесі (жылытқыш/салқындатқыш) – реакторда жүретін процестің температуралық режимін ұстап тұруға арналған. Бұл жүйе реактордың ішінде немесе сыртында орналасуы мүмкін және жылу алмастырғыш, термостат, салқындатқыш контурлардан тұрады;

- өнімді шығару және бөлу жүйесі – реакция нәтижесінде алынған қоспаларды бөліп, дайын өнімді жинауға арналған. Бұл жүйеге сепараторлар, сүзгілер, және буферлік резервуарлар кіреді;

- бақылау және өлшеу құралдары – процестің негізгі параметрлерін (температура, қысым, концентрация, шығын, деңгей) үздіксіз өлшеп, деректерді басқару жүйесіне жеткізеді. Бұл датчиктер, сигнал түрлендіргіштер және автоматты басқару құрылғыларын қамтиды;

- басқару және автоматика жүйесі (АБЖ) – барлық процесстердің үйлесімділігін қамтамасыз ететін орталық жүйе. Ол контроллерлерден (мысалы, Siemens Simatic), операторлық панельдерден және бағдарламалық қамсыздандырудан тұрады. 1.5-суретте химиялық реактордың блок схемасы көрсетілген.



1.5 - сурет - Химиялық реактордың блок схемасы

Құрылымдық схемада жоғарыда аталған элементтер графикалық түрде бейнеленіп, олардың арасындағы логикалық және физикалық байланыстар көрсетіледі. Мұндай схема жобалау мен модельдеу процесінде шешім қабылдауды жеңілдетеді.

Реакторлық қондырғы – бұл күрделі технологиялық жүйе, оның көмегімен химиялық, термиялық немесе физика-химиялық процестер белгілі бір ретпен, параметрлермен және өнімділікпен жүзеге асырылады. Қондырғының тиімділігі оның құрамындағы жеке элементтердің үйлесімділігіне және басқару жүйесінің сенімділігіне тікелей байланысты.

Құрылымының негізгі элементтері мен олардың сипаттамасы:

Шикізат қабылдау және дайындау блогы

Бұл блокта бастапқы реагенттер қабылданып, қажет жағдайда алдын ала өңдеуден (фльтрация, қыздыру, араластыру, қысым орнату) өтеді. Бұл процесте шығын өлшегіштер, қысым реттегіштер және датчиктер пайдаланылады.

Дозалау және беру жүйесі Реагенттердің дәл мөлшерін реакторға беру үшін қажет. Мұнда шиберлі немесе шарлы клапандар, электромагниттік реттегіштер, көлемдік немесе массалық шығын өлшегіштер орнатылады. Жүйе АБЖ арқылы басқарылады.

Реакторлық бөлік (негізгі технологиялық аппарат) Бұл бөлімде негізгі химиялық реакциялар немесе басқа технологиялық процестер жүреді. Реакторлардың түрлері:

- үздіксіз әрекеттегі реактор (CSTR);
- периодтық әрекеттегі реактор;
- құбыр тәрізді реакторлар;
- реактор ішіндегі параметрлер (t , p , концентрация) нақты басқаруды қажет етеді.;
- Жылуалмасу жүйесі.

Процесстің жылулық режимін тұрақтандырып отыру үшін реактор қабырғасында немесе бөлек орналасқан жылу алмастырғыштар пайдаланылады.

Қыздырғыштар (электрлік, бу арқылы).

Салқындатқыштар (суды немесе басқа салқындатқыш заттарды пайдалану). Бұл жүйе температура реттегіштер мен датчиктер арқылы автоматтандырылған.

Араластыру жүйесі (егер қажет болса)

Біртекті реакциялық орта қамтамасыз ету үшін механикалық немесе пневматикалық араластырғыштар пайдаланылады. Олардың айналу жылдамдығы да АБЖ арқылы реттеледі.

Өнімді бөлу және жинау жүйесі

Реакциядан шыққан қоспалар сепараторлар, сүзгілер және тұндырғыштар арқылы өңделіп, дайын өнім жиналады. Қосымша фаза бөлгіштер, абсорберлер және конденсаторлар да қолданылуы мүмкін.

Автоматты басқару жүйесі (АБЖ)

Барлық процесс параметрлерін бақылау, басқару және реттеу функцияларын орындайды. Негізгі элементтері:

Программаланатын логикалық контроллерлер (PLC);

Датчиктер мен орындаушы механизмдер (кері байланыс қамтамасыз ету үшін);

Адам-машина интерфейсі (HMI, SCADA);

Программалық қамтамасыздандыру (мысалы, Siemens Simatic, MATLAB, LabVIEW).

АБЖ арқылы процестің қауіпсіздігі, тұрақтылығы және тиімділігі қамтамасыз етіледі.

1.3.2 Технологиялық процестің логикалық құрылымы

Автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) құру барысында ең маңызды кезеңдердің бірі – бүкіл технологиялық процесті логикалық тұрғыдан құрылымдау. Бұл құрылым технологиялық операциялардың бірізділігі мен өзара байланысын, ақпараттық және басқарушы сигналдардың ағынын, сондай-ақ объект элементтерінің өзара әрекеттесу тәртібін көрсетеді. Логикалық құрылым технологиялық жүйенің ішкі логикасын түсінуге және оны тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Технологиялық процестің логикалық құрылымы негізінен процестің негізгі кезеңдері мен операцияларын, олардың өзара байланысын, басқару объектілері мен басқарушы элементтердің әрекетін сипаттайды. Мысалы, химиялық реактор жағдайында мұндай құрылым келесі элементтерді қамтуы мүмкін: бастапқы реагенттерді беру, араластыру, реакция жүргізу, температура мен қысымның бақылануы, өнімді бөлу және шығару. Бұл элементтердің барлығы белгілі бір тәртіппен және шарттармен жүзеге асырылады.

Логикалық құрылым алгоритмдік логика арқылы ұсынылады. Яғни, әрбір операцияның орындалуы белгілі бір шартқа тәуелді болады. Мұндай логика «егер – онда» (IF – THEN) түріндегі операторлар арқылы бейнеленуі мүмкін. Мысалы:

- егер температура 80 °C-тан жоғары болса, салқындату жүйесін іске қосу.
- егер қысым 5 бар-дан асса, апаттық клапанды ашу.
- егер реакция толық жүрсе (датчиктен сигнал келсе), өнімді шығару операциясын бастау.

1.2-кестеде процестегі логикалық әрекеттер тізімінің түрлері көрсетілген. Осындай логикалық құрылым автоматтандырылған жүйені жобалау кезінде контроллерлерге (PLC) немесе микропроцессорлық басқару жүйелеріне енгізілетін бағдарламаның негізі болып табылады. Бұл бағдарламаларда барлық логикалық байланыстар диаграмма немесе алгоритм түрінде жазылады.

Кесте 1.2 – Процестегі логикалық әрекеттер тізімі

Операция	Қозғалтқыш элемент	Шарт	Келесі қадам
Реагенттерді беру	Сорғы	Уақыт басталғанда	Араластыру
Араластыру	Араластырғыш	Барлық реагент берілді	Температураны көтеру
Температураны бақылау	Жылытқыш/Салқындатқыш	$T \geq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	Реакцияны бастау
Реакция процесі	Реактор	ТР сәйкес келгенде	Өнімді шығару

Технологиялық процесті басқаруда логикалық құрылымның рөлі ерекше. Бұл құрылым өндірістегі әрбір әрекеттің орындалу тәртібін нақты анықтап, операциялар арасындағы себеп-салдар байланысын көрсетеді. Сонымен қатар, логикалық құрылым көмегімен автоматтандырылған жүйенің барлық компоненттері – контроллерлер, сенсорлар, атқарушы механизмдер, оператор панельдері – өзара келісімді жұмыс істейді. Басқару жүйесіндегі дәлдік пен сенімділік осы құрылымның қаншалықты дұрыс жобаланғанына тікелей байланысты.

Технологиялық процестің логикалық құрылымы келесі мақсаттарды жүзеге асыру үшін қажет:

- нақты және алдын ала жоспарланған алгоритм бойынша процесті басқару;
- адам факторын азайту, операторлық қателіктерді болдырмау;
- қауіпсіздік шараларын автоматты түрде іске қосу;
- жүйенің түрлі жағдайларда қалай әрекет ететінін имитациялық моделдеу арқылы тексеру;
- жабдықтардың қызмет ету мерзімін ұзарту және тиімді пайдалануды қамтамасыз ету.

Логикалық құрылым көп жағдайда алгоритмдік модельдер, блок-схемалар, функционалдық диаграммалар түрінде ұсынылады. Мұндай графикалық модельдер автоматты басқару жүйесінің ішкі логикасын анық көрсетіп, инженерлер мен бағдарламашыларға басқару алгоритмін түсінікті етіп жеткізеді.

Мысал ретінде қарапайым реакторлық жүйенің логикалық құрылымын қарастырайық:

- жүйе іске қосылғанда бастапқы шарттар тексеріледі: температура, қысым, реагент деңгейі.
- егер барлық параметрлер қалыпты болса, реагент беру сорғылары қосылады.
- содан соң араластыру құрылғысы іске қосылады.
- реакция басталған кезде температура мен қысым автоматты түрде бақыланады.
- реакция аяқталғаннан кейін өнім шығару клапаны ашылады.
- барлық кезеңдер арасында логикалық «жасыл» сигналдар (ақпараттық командалар) беріледі.

Мұндай логикалық реттелген жүйе авариялық жағдайларда да алдын ала жоспарланған жауап реакцияларын қамтамасыз етеді. Мысалы, егер температура белгіленген шектен асып кетсе, реактор автоматты түрде өшіріледі және апаттық салқындату жүйесі қосылады.

1.4 Негізгі технологиялық параметрлер мен олардың әсері

1.4.1 Температура , қысым және концентрация

Реакторлық процестерді тиімді және қауіпсіз жүргізу үшін негізгі технологиялық параметрлерді – температураны, қысымды және реагенттер концентрациясын – дәл және тұрақты деңгейде ұстап тұру қажет. Бұл параметрлер реакция жылдамдығына, өнімнің сапасына, жүйенің тұрақтылығына және экономикалық тиімділікке тікелей әсер етеді. Әрбір параметрдің оңтайлы мәні белгілі бір химиялық реакцияның кинетикасына, термодинамикалық шарттарына және құрал-жабдық мүмкіндіктеріне байланысты анықталады.

Температура – реакцияның жылдамдығына ең көп әсер ететін фактор. Температура артқан сайын молекулалардың кинетикалық энергиясы жоғарылап, соқтығысу жиілігі артады, соның нәтижесінде реакция тез жүреді. Алайда температураның шамадан тыс жоғары болуы катализатордың белсенділігін төмендетуі, жабдықтардың тозуына алып келуі немесе жағымсыз жанама реакциялардың тууына себеп болуы мүмкін. Сондықтан реакторда температураны басқару үшін жылытқыштар, салқындатқыштар және арнайы температура реттегіштері қолданылады.

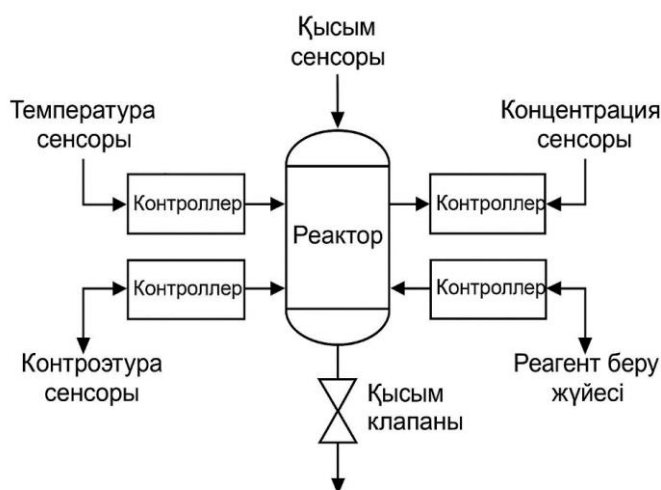
Қысым да реакция тепе-теңдігіне және жылдамдығына әсер етеді, әсіресе газ тәрізді заттар қатысатын реакциялар үшін. Лей-Шателье принципі

бойынша, жүйедегі қысымды арттыру тепе-теңдікті молекула саны аз бағытқа ығыстырады. Бұл – өнім шығымын арттыруға мүмкіндік береді. Алайда жоғары қысым жағдайында қауіпсіздік мәселелері туындайды. Осы себепті автоматтандырылған басқару жүйесінде қысымды үнемі бақылап отыратын сенсорлар мен апаттық қорғаныс клапандары болуы тиіс.

Концентрация – реагенттердің мөлшерлік қатынасы мен олардың жүйеде орналасу тығыздығын сипаттайды. Реакция жылдамдығы реагенттердің концентрациясына пропорционал (массалық әсер заңына сәйкес). Сондықтан концентрацияны реттеу арқылы реакцияны жылдамдатуға немесе баяулатуға болады. Өнімнің сапасы мен шығымын арттыру үшін бастапқы заттардың концентрациясын нақты деңгейде ұстап тұру маңызды. Мұны автоматты дозаторлар және сенсорлық бақылау жүйелері арқылы жүзеге асыруға болады.

Аталған параметрлердің арасында өзара байланыс бар. Температура мен қысымның өзгеруі концентрацияның таралуына да әсер етеді. Мысалы, температура артқанда ерігіштік өзгеруі мүмкін, бұл концентрацияны тікелей өзгертеді. Сондықтан басқару жүйесінде барлық үш параметр бір-бірімен үйлесімді жұмыс істеуі қажет. Бұл үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін көпконтурлы басқару схемалары қолданылады, яғни әрбір параметрге жеке контур мен реттегіш орнатылады. 1.6-суретте қысым және өнім шығым арасындағы байланысты анықтауға болады.

Автоматтандырылған жүйеде бұл параметрлерге қатысты ақпарат үздіксіз жинақталып, оператор экранына шығарылып отырады. Қазіргі заманда бұл қызметтерді SCADA жүйелері, интеллектуалды датчиктер және PID немесе fuzzy logic негізіндегі реттегіштер атқарады.



1.6 - сурет - Қысым – өнім шығымы арасындағы байланыс

1.4.2 Басқару параметрлерінің тұрақтылығы

Реакторлық процесті автоматты басқару жүйесін жобалау кезінде басқару параметрлерінің тұрақтылығы ерекше маңызға ие. Басқару параметрлері — бұл процестің негізгі көрсеткіштері (мысалы, температура, қысым, концентрация) және олардың басқару жүйесінде ұсталып отыруы тиіс мәндері. Бұл параметрлердің тұрақтылығы жүйенің сенімділігі мен тиімділігін анықтайды.

Параметрлердің тұрақтылығы дегеніміз — басқару жүйесінің сыртқы және ішкі әсерлерге қарамастан параметрлерді белгіленген шекараларда ұстау қабілеті. Егер параметрлер тұрақсыз болса, онда жүйеде тербелістер, ауытқулар, немесе басқару қателіктері пайда болады, бұл реакцияның толық орындалмауына, өнім сапасының төмендеуіне, тіпті өндірістік аварияларға алып келуі мүмкін.

Тұрақтылықтың негізгі аспектілері мыналар:

- динамикалық тұрақтылық: жүйе уақыт өте өзгерістерге қалай жауап береді. Мысалы, температура кенет көтерілген жағдайда, басқару жүйесі оны қаншалықты жылдам және дәл қайтаруға қабілетті болуы керек.
- статикалық тұрақтылық: параметрлер ұзақ уақыт бойы белгіленген деңгейде сақталуы тиіс.
- қатерге төзімділік: сыртқы кедергілер мен өлшеу құралдарының қателіктеріне қарамастан басқару жүйесі жұмыс істей білуі.

Басқару параметрлерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін әртүрлі реттегіштер қолданылады: пропорционалды (P), интегралды (I), дифференциалды (D) немесе олардың комбинациялары (PID). Мысалы, PID-регуляторлар жүйедегі ауытқуларды автоматты түрде түзетіп, параметрлерді қажетті мәнге жеткізеді және ұстап тұрады.

Сонымен қатар, тұрақтылыққа әсер ететін факторлардың бірі — басқару контурларының дұрыс жобалануы. Бірнеше параметрді бір уақытта басқару кезінде олардың өзара әрекеттесуі ескерілмесе, жүйе тұрақсыз болуы мүмкін. Сондықтан көпконтурлы басқару жүйелерінде параметрлер арасындағы байланыстар талданып, үйлесімді басқару алгоритмі жасалады.

1.5 Реакторлық процестердегі типтік басқару мәселелері

1.5.1 Процестің динамикалық қасиеттері

Реакторлық процестердің тиімділігін арттыру және қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін олардың динамикалық қасиеттерін терең түсіну қажет. Динамикалық қасиеттер — бұл процестің уақытқа байланысты өзгерістерге қалай жауап беретіні, яғни жүйенің инерциялылығы, уақыттық кешігулер, өтпелі процестердің сипаты және реттелетін айнымалылардың өзгеру жылдамдығы.

Химиялық реакторлар — күрделі, жиі бейсызық және көп айнымалы жүйелер. Олардың динамикасы көптеген факторларға байланысты: жылу мен

масса алмасу, реакция жылдамдығы, араластыру тиімділігі, геометриялық пішін, және сыртқы әсерлер. Бұл параметрлердің өзгеруі процестің уақытша орнығуына немесе тұрақсыз болуына әкелуі мүмкін.

Реакторлық процестегі динамикалық қасиеттердің негізгі түрлері:

- инерциялық қасиет. Реактордың ішіндегі температура немесе концентрация өзгерісі бірден емес, белгілі бір уақыт интервалында жүреді. Бұл әсіресе үлкен көлемді немесе жылуөткізгіштігі төмен жүйелерге тән.

- уақыттық кідіру (dead time). Басқару сигналы берілгеннен кейін реакторда нақты өзгеріс байқалмай тұратын уақыт аралығы. Мұндай кідіріс жүйенің реттелу дәлдігін төмендетуі мүмкін.

- өтпелі процесс. Бұл – параметрдің бастапқы мәннен жаңа орныққан мәнге дейінгі қозғалысы. Оның сипаттамасы ретінде өшу уақыты, асу коэффициенті, орнығу уақыты сияқты көрсеткіштер қолданылады.

Мысал ретінде экзотермиялық реакцияларды алуға болады. Мұндай процестерде температура өзгерісі өте жылдам жүреді, сондықтан басқару жүйесі өте жоғары жылдамдықпен әрекет етуі тиіс. Мұндай жүйелерде кері байланыс принципімен жұмыс істейтін жоғары жылдамдықты контроллерлер қажет.

Көп жағдайда реакторлар – жоғары ретті динамикалық жүйелер, яғни бір ғана параметр өзгерісі бірнеше басқа параметрлерге әсер етеді. Мұндай жүйелердің моделін қарапайым дифференциалдық теңдеулермен сипаттау мүмкін емес. Сол себепті оларды модельдеу үшін компьютерлік бағдарламалар (мысалы, MATLAB/Simulink) мен идентификация әдістері қолданылады.

Реакторлық процестердің динамикалық қасиеттері – басқару жүйесінің сапасына тікелей әсер ететін фактор. Дұрыс реттемеу немесе осы қасиеттерді ескермеу жүйенің тұрақсыздығына, өнім сапасының ауытқуына және экономикалық шығындарға алып келеді. Сондықтан әрбір нақты жүйе үшін динамикалық модель құрып, оны сараптап, басқару жүйесін соған бейімдеп жобалау қажет.

1.5.2 Басқарудың тұрақтылық мәселелері

Автоматтандырылған басқару жүйесінің басты талаптарының бірі – оның тұрақтылығы. Басқару тұрақтылығы дегеніміз – жүйенің сыртқы немесе ішкі ықпалдарға жауап ретінде орнықты күйге қайта оралу қабілеті. Егер жүйе тұрақсыз болса, онда параметрлер шексіз тербелуі мүмкін немесе жүйе істен шығуы ықтимал. Бұл жағдайлар өндірістік ақауларға, жабдықтың істен шығуына, тіпті апатқа әкелуі мүмкін.

Химиялық реакторлардағы басқару жүйелері көбінесе күрделі, көпконтурлы және бейсызық сипатта болады. Мұндай жүйелерде кідіріс, инерция және параметрлердің өзара байланысы тұрақтылыққа тікелей әсер етеді. Мысалы, температура мен концентрацияның өзгеруі бір біріне әсер етіп, кері байланыс циклын тудыруы мүмкін. Егер бұл байланыс дұрыс ескерілмесе, жүйе өзін-өзі тербеліске келтіруі мүмкін.

Тұрақсыздықтың жиі кездесетін себептер:

- кешігу (dead time): басқару сигналы мен оның әсерінің арасындағы уақыттың ұзаруы;
- бейсызық процесстер: бірдей басқару сигналына әртүрлі реакция болуы;
- жеткіліксіз реттеу: басқару алгоритмінің дұрыс таңдалмауы немесе оның параметрлерінің сәйкес келмеуі;
- сыртқы әсерлер: температура, қысым, ағын сияқты сыртқы факторлардан туындайтын ауытқулар.

Басқару жүйесінің тұрақтылығын бағалау үшін математикалық модельдер пайдаланылады. Ляпунов әдісі, Нихквист, Боде диаграммалары сияқты классикалық тұрақтылық критерийлері қолданылады. Бұл әдістер жүйенің өтпелі процесін талдауға және тұрақтылық шекарасын анықтауға мүмкіндік береді. Дәл осылай 1.8-суретте өтпелі процестің тұрақтылығын анық көруге болады.

Тұрақтылықты қамтамасыз ету жолдары:

- PID реттегіш параметрлерін оңтайлы баптау;
- адаптивті басқару жүйесін қолдану (мысалы, fuzzy logic немесе нейрондық желілер);
- жүйені алдын ала модельдеу және тұрақтылық аймағын анықтау;
- көпконтурлы басқару құрылымын қолдану, яғни әр параметрге жеке басқару арнасын енгізу.

Автоматтандырылған басқару жүйелерінің (АБЖ) тұрақтылығы – жүйенің сыртқы немесе ішкі әсерлерге жауап ретінде уақыт өте келе орнықтылық күйге оралу қабілетімен сипатталады. Басқаша айтқанда, жүйе өзінің динамикалық тепе-теңдігін жоғалтпай, басқару мақсатына сәйкес жұмыс істеуін жалғастыра алады. Реакторлық процестер жағдайында бұл талап ерекше маңызға ие, себебі температура, қысым және реагенттердің концентрациясы сияқты параметрлердің кішігірім өзгерістері де бүкіл процестің бұзылуына немесе қауіпті жағдайларға алып келуі мүмкін.

Реакторлық процестердегі тұрақтылықтың маңыздылығы

Реакторлық процестер – химиялық немесе ядролық реакциялар жүретін күрделі көпфазалы, көпайнымалы жүйелер болып табылады. Мұндай жүйелерде келесі сипаттамалар басқарудың тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді:

- кешігу (запаздывание) – температура немесе концентрация өзгерісі нәтижесінде басқару объектісінің реакциясы уақыт бойынша кешігеді.
- бейсызықтық (нелинейность) – реакторлық процестегі жылу бөліну, масса алмасу және реакция жылдамдығы сызықтық емес заңдылықтарға бағынады.
- қауіптілік деңгейі – реактор ішіндегі температураның немесе қысымның шектен асуы қайтымсыз және қауіпті салдарға әкелуі мүмкін.

Осы ерекшеліктерге байланысты, АБЖ тұрақты жұмыс істеуі үшін басқару алгоритмдері аса дәл, сенімді және адаптивті болуы тиіс. Тұрақсыз

басқару жүйесі процесс параметрлерінің тербелуіне (осцилляция), басқарудың бұзылуына немесе апаттық жағдайға алып келуі мүмкін.

Басқару жүйесінің тұрақтылығын бағалау үшін бірнеше классикалық және заманауи әдістер қолданылады:

- ляпунов әдісі – жүйенің энергия функциясына негізделген, аса сенімді әдіс. Егер Ляпунов функциясы барлық уақытта азаятын болса, жүйе тұрақты деп есептеледі.

- ньютон–Рафсон немесе Рунт–Гурвиц критерийлері – сызықтық жүйелер үшін жиі қолданылады.

- бode және Найквист диаграммалары – жиілік аймағындағы тұрақтылықты бағалауға мүмкіндік береді.

- модельдік негізделген әдістер (мысалы, MATLAB ортасында): басқару жүйесінің математикалық моделін құрып, оның полюстерінің нақты бөліктерін талдау арқылы тұрақтылығы анықталады.

Реакторлық процестің басқару жүйесінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін келесі шаралар қабылдануы мүмкін:

- кері байланыс тізбегін оңтайландыру – жүйенің күйін нақты әрі жедел бағалап, басқару әрекеттерін дәл реттеу.

- басқару заңын синтездеу – мысалы, модальді басқару (модальный регулятор), ПИД-регулятор, адаптивті басқару әдістері.

- модельдік болжамды басқару (Model Predictive Control, MPC) – жүйенің болашақтағы жағдайын болжау арқылы басқару шешімдерін қабылдау.

- тұрақтылық қорын есептеу – жүйе параметрлерінің ауытқуларына төтеп беру үшін қажетті тұрақтылық маржасын (запас устойчивости) анықтау.

2 Арнайы бөлім

2.1 Реакторлық процестің физикалық-математикалық моделі

Реакторлық процестерге арналған автоматтандырылған басқару жүйесі (АБЖ) өндірістік қауіпсіздік пен технологиялық тиімділікті қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады. Мұндай жүйеге қойылатын техникалық талаптар оның сенімділігіне, дәлдігіне, жауап беру жылдамдығына және бейімделу мүмкіндігіне тікелей байланысты. Реакторлық процестер әдетте жоғары температурада, қысымда және химиялық белсенді ортада өтетін күрделі физика-химиялық құбылыстармен сипатталады. Сондықтан басқару жүйесі бұл жағдайларда тұрақты жұмыс істеуге бейімделген, дәл әрі үзіліссіз әрекет ететін болуы тиіс.

АБЖ нақты уақыт режимінде жұмыс істеуі, басқарылатын параметрлердің (мысалы, температура, қысым, концентрация, деңгей) кез келген өзгерістеріне жедел әрі дәл әрекет етуі қажет. Реттеу алгоритмдері берілген мәндерден ауытқыған жағдайда процесті қайта теңгеріп, оңтайлы күйге қайтаруы тиіс. Бұл үшін жүйе жоғары сезімтал өлшеу құралдарымен және дәл басқару контурларымен жабдықталуы қажет. Сонымен қатар, АБЖ құрамында деректерді үздіксіз тіркеу, сақтау және талдау функциялары болуы шарт, бұл болашақта процестерді оңтайландыру және ықтимал ақауларды болжау үшін қажет.

Реакторлық қондырғыларда орын алуы мүмкін қауіпті жағдайлар мен апаттар салдарының өте ауыр болуы – басқару жүйесіне қойылатын қауіпсіздік талаптарын күшейтеді. АБЖ өндірістік қауіпсіздік стандарттарына толық сәйкес келуі тиіс. Қауіпті ауытқулар байқалған жағдайда, жүйе операторды дереу хабардар етіп, процесті апаттық тоқтату режиміне ауыстыруға қабілетті болуы қажет. Мұндай жағдайда басқару жүйесінде дербес резервтік арналары мен диагностикалық функциялары болуы маңызды, себебі бұл жүйенің жалпы сенімділігін арттырады.

Оператор мен жүйе арасындағы өзара әрекет интерфейсі де маңызды рөл атқарады. Күрделі процестердің жай-күйін нақты әрі көрнекі түрде бейнелейтін, қолданушыға түсінікті интерфейс оператормен тиімді жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Бұл оператордың тез шешім қабылдауына, ақауларды жылдам анықтауына және дұрыс әрекет жасауына жағдай жасайды. Сонымен қатар, басқару жүйесі модульдік және икемді құрылымға ие болуы тиіс, бұл оны әртүрлі өндірістік жағдайларға бейімдеуге және болашақта жаңарту мен кеңейтуге мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы талаптарға сәйкес, АБЖ құрамында интеллектуалды элементтер болуы да маңызды. Жасанды интеллект немесе машиналық оқытуға негізделген әдістерді енгізу жүйенің өздігінен бейімделу қабілетін арттырады. Мұндай әдістердің көмегімен жүйе сыртқы факторлар мен ішкі процестердің өзгеруіне бейімделіп, басқару сапасын жоғарылатуға мүмкіндік

береді. Бұл, әсіресе, көпайнымалы, инерциялық және сызықсыз сипаттағы реакторлық процестер үшін өзекті болып табылады.

Осылайша, реакторлық процестерге арналған автоматтандырылған басқару жүйесіне қойылатын техникалық талаптар — оның жоғары сенімділігі, нақты уақыттағы әрекет ету қабілеті, қауіпсіздік деңгейі, интерфейс ыңғайлылығы және технологиялық бейімделгіштігімен сипатталады. Мұндай талаптардың орындалуы басқару жүйесінің тиімділігі мен реакторлық құрылғының қауіпсіз, тұрақты жұмысын қамтамасыз етудің негізі болып табылады.

2.1.1 Физикалық негіз

Температура – химиялық реакциялардың жылдамдығы мен тиімділігіне тікелей әсер ететін негізгі параметр. Сондықтан автоматтандырылған жүйе алдымен температураны тұрақты деңгейде ұстап тұруды мақсат етеді.

Жылу балансы негізінде реактор ішіндегі температураның өзгерісін келесі түрде көрсетуге болады:

$$m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{in} - Q_{loss} + Q_{reaction} \quad (2.1)$$

мұндағы m - реакциялық қоспаның массасы, кг;

c_p - меншікті жылусыйымдылық, кДж/кг;

$\frac{dT}{dt}$ - температураның уақыт бойынша өзгерісі, с;

Q_{in} - жылу беру жүйесінен келген қуат кВт;

Q_{loss} - жылу шығыныб кВт;

$Q_{reaction}$ - реакция нәтижесінде бөлінген немесе сіңірілген жылу, кВт.

2.1.2 Математикалық модельдеу

Автоматтандыру есебінде жылу ағынын Q_{in} басқарылатын айнымалы деп есептейміз, ал шығындар мен реакциялық жылу $Q_{loss} - Q_{reaction} = \Delta Q$ деп аппроксимацияланады. Бұл жағдайда теңдеу былайша жеңілдетіледі:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{m \cdot c_p} (Q_{in} + \Delta Q) \quad (2.2)$$

Мұны бірінші ретті инерциялық жүйе түрінде келтіруге болады:

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (2.3)$$

мұндағы K – күшейту коэффициенті;

τ – жүйенің уақыт тұрақтысы.

Мысалы, тәжірибелік деректер негізінде:

$$K = 1;$$

$$\tau = 50 \text{ секунд}$$

2.1.3 Басқару мақсаты

Басқару жүйесінің мақсаты – температураны орнатылған мәнде (мысалы, 80°C) ұстап тұру. Бұл үшін кері байланыс жүйесі және ПИД-реттегіш қолданылады.

ПИД-реттегіштің жалпы түрі:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Басқару жүйесінің негізгі мақсаты — реактор ішіндегі температураны белгіленген деңгейде дәл және тұрақты ұстап тұру. Температура – химиялық реакция жылдамдығына, өнімнің сапасына және процестің қауіпсіздігіне тікелей әсер ететін маңызды технологиялық параметр. Оның ауытқуы өнім сапасының төмендеуіне, энергия шығынының артуына немесе апатты жағдайлардың туындауына себеп болуы мүмкін.

Сондықтан автоматтандырылған басқару жүйесі (АБЖ) нақты уақыт режимінде температураны үздіксіз бақылап, қажет болған жағдайда жылдам әрекет етіп, қыздыру немесе салқындату жүйелерін іске қосуы қажет.

Бұл басқару:

- Химиялық реакцияның тұрақты термодинамикалық режимде жүруін қамтамасыз етеді;
- Қауіпсіздік деңгейін арттырады — жоғары температурада қауіпті реакциялар жүріп кетпеуі үшін;
- Өнім сапасын стандартты шекте ұстайды — температура ауытқуы әсерінен қажетсіз жанама өнімдер пайда болуы мүмкін;
- Энергияны тиімді пайдалануға мүмкіндік береді — артық қыздыру немесе салқындату жағдайларын болдырмайды;
- Процестің автоматтандырылу деңгейін арттырып, адамның қатысуын азайтады, физикалық жүктемені төмендетеді.

Мұндай басқару жүйелері мұнай-химия, фармацевтика, полимер өндірісі, тыңайтқыштар өндіру, биотехнология сияқты салаларда кеңінен қолданылады. Себебі бұл салаларда дәл температуралық режимсіз қажетті өнім алу мүмкін емес.

Қолдану мысалдары:

- Мұнай-химия өнеркәсібі – каталитикалық крекинг реакторында температураны дәл ұстамау нәтижесінде өнім сапасы күрт төмендейді;
- Фармацевтика өндірісі – температураны $\pm 1^\circ\text{C}$ шегінде ұстап тұру арқылы белсенді заттардың синтезі бақыланады;
- Биореакторлар – микроорганизмдердің белсенділігі тек нақты

температурада жүреді, сол себепті ПИД-реттегіш қолдану – негізгі талап.

2.1.4 Simulink моделіне негіз

Осы математикалық модель MATLAB/Simulink ортасында жүзеге асырылады. Simulink блоктары арқылы референт мән – PID – реактор – кері байланыс тізбегі жасалды.

Simulink моделінде:

- ПИД-реттегіш параметрлері: $K_p = 2$; $K_i = 0.05$; $K_d = 5$
- Объект моделі: $\frac{1}{50s+1}$

Химиялық реактордың температуралық динамикасын зерттеу және басқару жүйесін тексеру үшін MATLAB ортасындағы Simulink моделін құру қолданылды. Бұл орта реактор процесінің уақыт бойынша қалай жүретінін нақты және көрнекі түрде бақылауға мүмкіндік береді.

Simulink моделінде PID-регулятор және бірінші ретті реактор моделі қолданылып, қадамдық орнатылған температураға реактордың уақыт бойынша жауабы модельденді. Бұл модельдеу нақты өндірістік жағдайларға ұқсас сценарийді зерттеуге, реттегіштің тиімділігін бағалауға, параметрлерді оңтайлы таңдауға мүмкіндік береді.

Мұндай модельдеуді жүзеге асыру:

- Реалды жүйені іске қоспай-ақ, тәжірибе жүргізуге мүмкіндік береді;
- Оптималды PID параметрлерін таңдау арқылы жүйенің орнығу уақытын, тұрақтылығын және жылдамдығын зерттеуге жағдай жасайды;
- Реактор ішіндегі басқару процесін визуализациялау және талдау үшін қолайлы;
- Күрделі көпконтурлы немесе бейсызық жүйелердің алдын ала виртуалды сынамасын жасауға мүмкіндік береді.

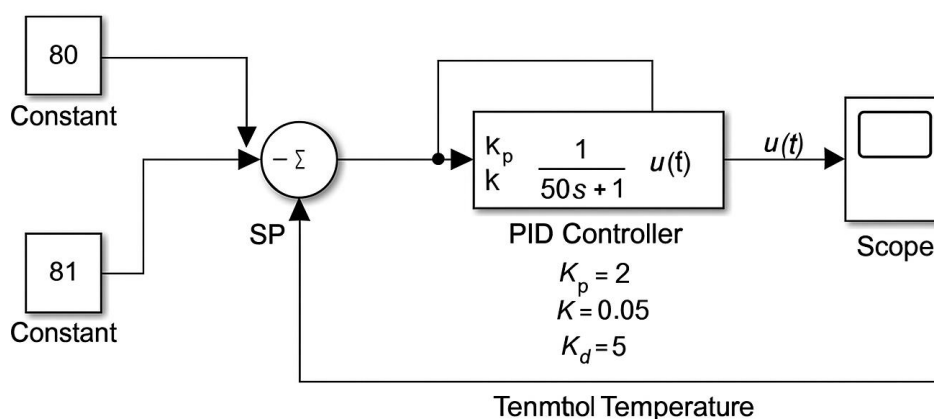
Simulink – өнеркәсіптік модельдеу мен басқару жүйелерін жобалау үшін халықаралық деңгейде қолданылатын жетекші құрал болып табылады. Оның көмегімен операторлық панельдер, нақты контроллерлермен (PLC) байланыс схемаларын жасауға болады. Сондықтан зерттеу барысында осы платформаны қолдану — болашақта өндірістік енгізуге жақын, инженерлік тұрғыдан орынды шешім болып саналады.

Simulink моделін құру барысында әрбір блок нақты физикалық немесе математикалық процесті бейнелейді. Мысалы, PID-регулятор қателік сигналын өңдеп, басқару әрекетін қалыптастырады, ал реактор моделі объектінің инерциясын көрсетеді. Бұл блоктар жүйенің құрылымын модульдік түрде бейнелеп, басқару тізбегінің жұмысын нақты көрсетуге мүмкіндік береді.

Бұған қоса, модельге қателік көздерін (мысалы, өлшеу кідірісі немесе сыртқы әсерлер) енгізу арқылы басқару жүйесінің сенімділігін сынауға болады. Яғни, модель тек кері байланыс механизмін ғана емес, сонымен қатар тұрақтылық, беріктік, жылдам әрекет ету сияқты маңызды көрсеткіштерді де

бағалауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде нақты өндірісте қолданылатын жүйенің алдын ала сынақтан өтуін қамтамасыз етеді.

Модельдеу нәтижелерін пайдалана отырып, инженерлер жүйенің реакциясын түрлі бастапқы шарттар мен басқару параметрлерінде бақылай алады. Осылайша, жүйе параметрлерін өзгерту арқылы оның тиімділігін оңтайландыруға, энергия үнемдеуге және өнім сапасын арттыруға жол ашылады. Сондықтан Simulink-пен жұмыс істеу — тек оқу мақсатында ғана емес, сонымен қатар реалды өндіріс жүйелерін жобалаудың практикалық кезеңі ретінде қарастырылады. 2.1-суретте ПИД реттегіш арқылы алынған реактордың Simulink модельін бақыласақ болады.



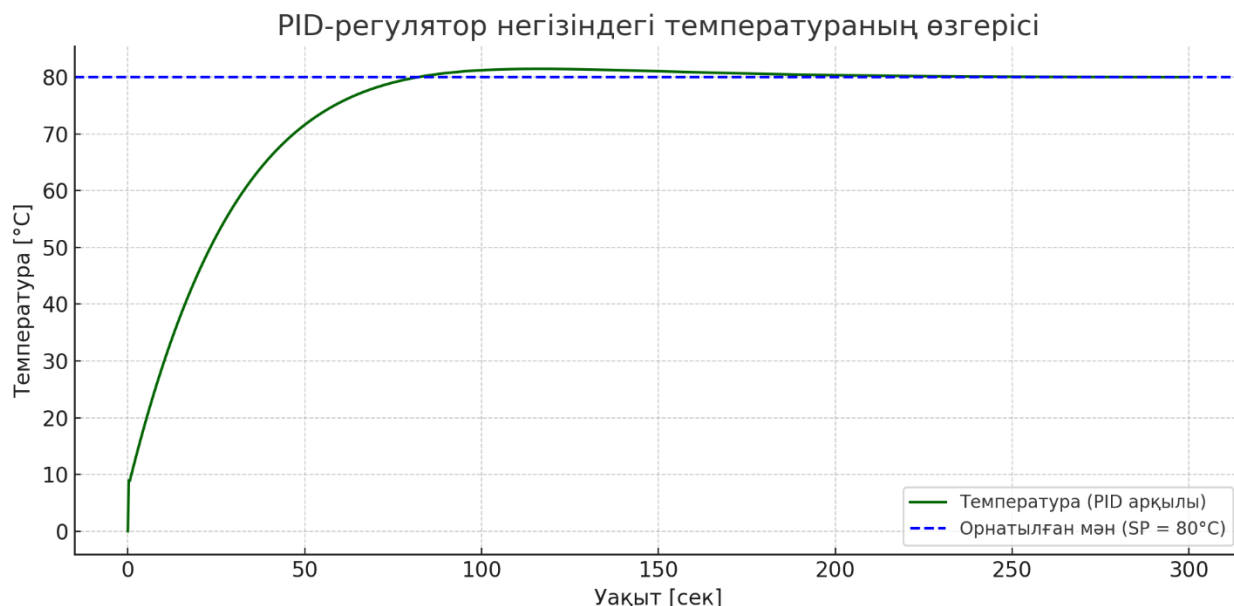
2.1 - сурет – ПИД-реттегіш негізіндегі Simulink моделі

2.1.5 Реактордың динамикалық жауабы

ПИД реттегіштің әсерін бағалау үшін, Simulink моделінде температураның қадамдық орнатылған мәнге (80°C) реакциясы зерттелді. Жүйе 1-ретті инерциялық модель ретінде қарастырылып, нәтижесінде температураның орнығу уақыты мен асу шамасы бағаланды. 2.2-суретте ПИД реттегіш негізінде температураның өзгерісін бейнеленген.

1-ретті жүйенің жауабы:

$$T(t) = T_{set} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.5)$$



2.2 - сурет - PID-регулятор негізінде басқарылатын температураның уақыт бойынша өзгеріс графигі.

2.2 Басқару объектісінің модельдік сипаттамасы

2.2.1 Басқару объектісін инженерлік жағынан сипаттау

Реакторлық процесті басқару — күрделі әрі жоғары жауапкершілікті талап ететін міндет. Бұл процестің термодинамикалық, гидродинамикалық және кинетикалық аспектілері өзара тығыз байланыста болғандықтан, оны басқару үшін қарапайым да тиімді модель қажет. Жүйені басқару үшін оны инерциялық сипатқа ие біркұрамды басқару объектісі ретінде қарастырамыз.

Температура — процестегі ең баяу әрі ең жауапты параметрлердің бірі. Бұл оны инерциялық сипаттағы басқару объектісі ретінде қабылдауға толық негіз береді.

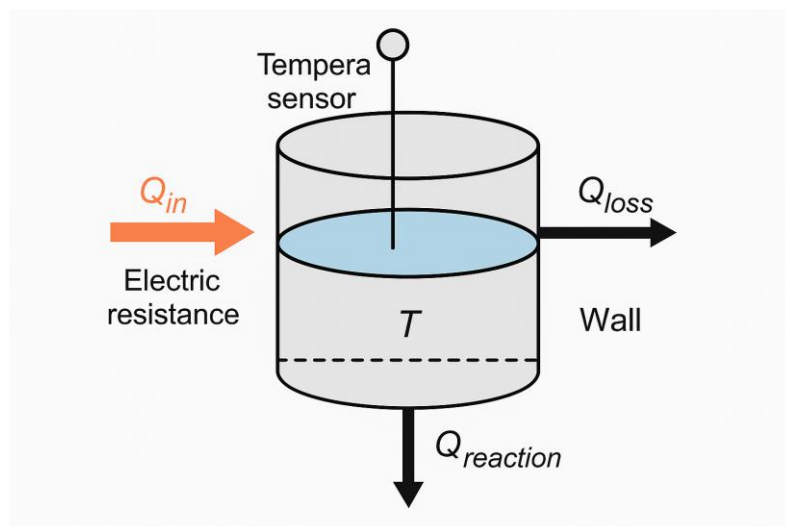
Температуралық басқару объектісі ретінде қарастырылатын химиялық реактор — күрделі термодинамикалық жүйе. Онда бірнеше бір мезгілде жүретін физикалық және химиялық процестер температураға әсер етеді: жылу берілу, жылу сіңіру, сыртқы ортаға жылу шығару, реакция нәтижесінде бөлінетін немесе сіңірілетін жылу. Мұндай жүйені басқару үшін оны ықшам, бірақ мағыналы модельмен сипаттау қажет.

Инженерлік тұрғыдан алғанда, басқару объектісін сипаттау — бұл нақты физикалық жүйенің негізгі қасиеттерін математикалық модельде көрсету. Бұл жағдайда реактор жылулық инерцияға ие жүйе ретінде қабылданады.

Температураның өзгерісі берілген қуаттың (немесе қыздыру элементінің) әсерінен бірден емес, белгілі бір уақыттан кейін орын алады, бұл жүйенің динамикалық сипатқа ие екенін көрсетеді.

Сондай-ақ, реактордағы температура тек бір ғана параметрге емес, бірнеше шекті факторларға тәуелді болуы мүмкін: жылу алмасу бетінің ауданы, ағынның жылдамдығы, араластырғыш жылдамдығы, бастапқы реагенттер температурасы және т.б. Бірақ модельдеу үшін біз осы күрделі жүйенің негізгі – жалпыланған температуралық жауап қасиетін ғана қалдырып, оны бірінші ретті динамикалық жүйе ретінде қарастырамыз. 2.3-суретте реактордағы жылу процестері мен энергия ағындарының инженерлік схемасы көрсетілген.

Басқару объектісінің сипаттамасын жасау – тек математикалық түрде емес, сонымен қатар физикалық тұрғыдан қай параметрге әсер ете аламыз, ал қайсысына әсер ете алмаймыз дегенді ажыратып алу. Мысалы, біз қыздыру қуатын өзгерте аламыз (бұл басқарушы сигнал), бірақ сыртқы орта температурасына немесе реагенттердің жылусыйымдылығына әсер ете алмаймыз (бұлар – сыртқы параметрлер). Мұндай шектеулер басқару стратегиясын дұрыс таңдауға тікелей әсер етеді.



2.3 - сурет – Реактордағы жылу процестері мен энергия ағындарының инженерлік схемасы

2.2.2 Жүйенің құрылымдық ерекшеліктері

Химиялық реакторды температура бойынша басқару жүйесі нақты құрылымдық компоненттерден тұратын автоматтандырылған тізбек болып табылады. Мұндай жүйеде кері байланыс принципіне негізделген басқару архитектурасы пайдаланылады, бұл температураны қажетті мәнде (орнатылған нүкте – setpoint) тұрақты ұстап тұруға мүмкіндік береді.

Жүйенің құрылымы негізінен келесі негізгі блоктардан тұрады:

а) Орнатылған мән көзі (Setpoint, SP)

Бұл – оператор немесе жоғары деңгейлі алгоритм тарапынан берілетін қажетті температура мәні (мысалы, 80°C). Бұл температурада реакция тиімді, қауіпсіз және өнім сапасы жоғары болады. Орнатылған мән жүйенің басқару мақсаттарын анықтайды және ПИД-регулятор үшін нұсқау ретінде қолданылады.

ә) Қателік сигналын есептейтін блок (Error calculation)

PID-регулятор басқаруды қателік сигналына негіздейді:

$$e(t) = T_{set} \cdot T(t) \quad (2.6)$$

б) ПИД-реттегіш

Реттегіш қателік сигналын өңдеп, басқарушы сигналды (қыздыру қуатын) есептейді. Бұл блок температураны орнатылған мәнге тез және тиімді жеткізуге жауапты. PID параметрлері жүйенің тұрақтылығы мен жылдамдығын анықтайды.

в) Атқарушы механизм (Heater)

Басқару сигналына сәйкес жылу көзі іске қосылады немесе қуаты өзгереді. Бұл элемент — электрқыздырғыш, бу клапаны немесе басқа жылу таратушы құрылғы болуы мүмкін. Ол реактор ішіндегі жылу балансын тікелей өзгертеді.

г) Басқарылатын объект (Reactor)

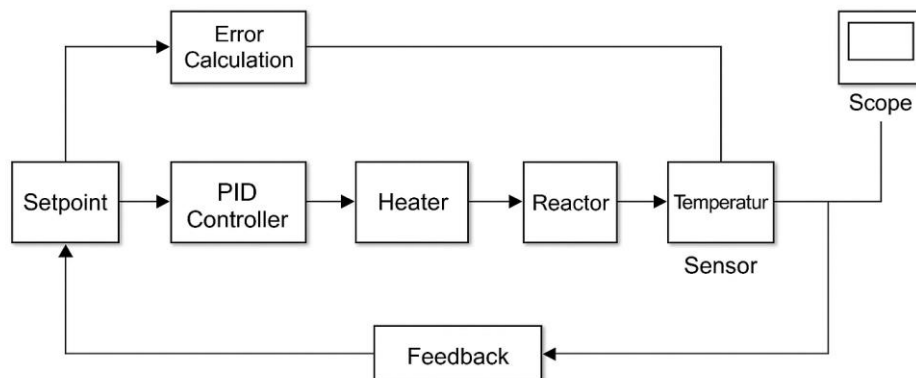
Бұл — жылулық инерцияға ие нақты физикалық жүйе. Оның динамикасы бірінші ретті инерциялық жүйе ретінде сипатталады, яғни жылу енгізілгеннен кейін температура бірден емес, біртіндеп көтеріледі.

ғ) Температураны өлшеу құрылғысы (Sensor)

Температура датчигі нақты уақыттағы температураны өлшейді және оны PID-регуляторға кері байланыс ретінде береді. Қолданылатын құрылғылар – термопаралар, RTD-терморезисторлар, термисторлар. Дәлдік пен жауап беру уақыты өте маңызды.

д) Scope (көрнекі бақылау блогы)

Simulink моделінде қолданылатын Scope блогы арқылы температураның уақыт бойынша өзгерісі график түрінде бақыланады. Бұл элемент зерттеушіге өтпелі процессті көруге мүмкіндік береді. 2.4-суретте температураны басқару жүйесінің құрылымдық схемасы бақыланады.



2.4 - сурет - Температураны басқару жүйесінің құрылымдық схемасы

Бұл құрылым **кері байланыс жүйесінің** классикалық мысалы болып табылады. Жүйе нақты уақытта өзінің нәтижесін бақылай отырып, қажет жағдайда оны түзетуге тырысады. Мұндай жүйелердің басты артықшылықтары:

- температураның дәлдігі жоғары;
- жүйе сыртқы әсерлерге автоматты түрде бейімделе алады;
- апатты жағдайлардан сақтайды.

Жүйенің құрылымдық архитектурасы оның тиімділігіне тікелей әсер етеді. Әрбір блок нақты инженерлік мағынаға ие және жүйе жұмысына өз үлесін қосады. Жүйенің сенімді жұмыс істеуі үшін сигналдардың кідірісі, өлшеу дәлдігі, реттегіш параметрлері мен объект динамикасы өзара жақсы үйлесуі тиіс.

2.2.3 Жүйе динамикасын эксперименттік анықтау

Автоматтандырылған басқару жүйесін тиімді жобалау үшін объектінің нақты динамикалық мінез-құлқын білу қажет. Реактор — инерциялық сипатқа ие жүйе болғандықтан, оған енгізілген басқару сигналына (жылу қуаты) оның реакциясы бірден емес, уақыт өте келе орын алады. Бұл жүйенің уақыт тұрақтысы, кешігуі және күшейту коэффициенті сияқты сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді.

а) Эксперименттік әдістің мәні

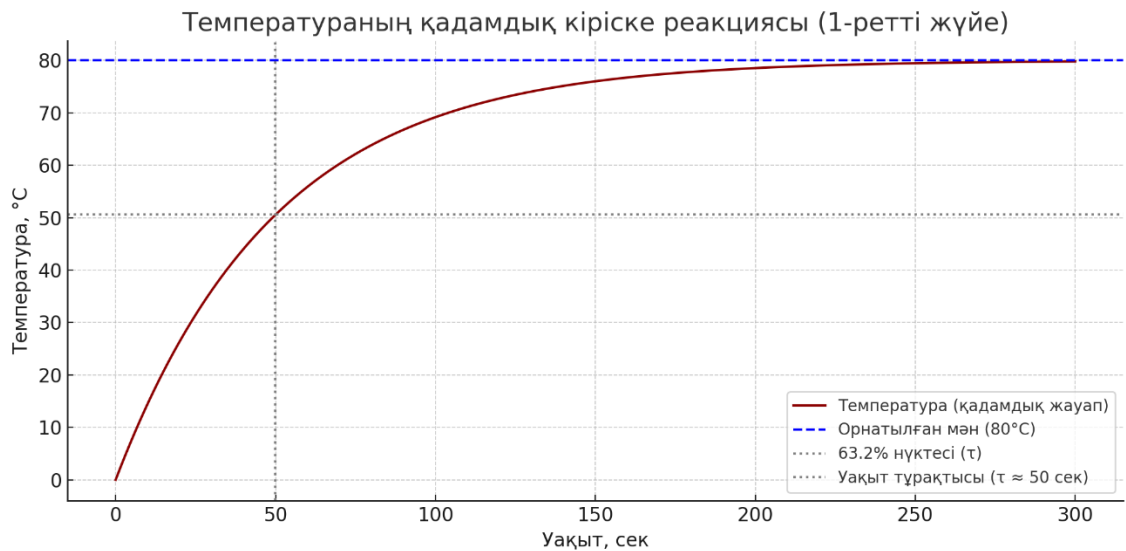
Жүйе динамикасын анықтаудың ең кең таралған тәсілі — қадамдық (ступенчатый) әсер енгізу. Бұл әдісте жүйеге орнатылған қуат мөлшері бірден өзгереді (мысалы, 0% → 100%), және реактор ішіндегі температураның уақыт бойынша өзгерісі бақыланады. 2.5-суреттен қарасақ болады.

Қадамы:

- реактор бастапқы тепе-тең күйде болуы қажет.
- жүйеге бірден тұрақты қуат мөлшері беріледі.
- температураның уақыт бойынша реакциясы тіркеледі.
- қисықтың сипаты бойынша τ , K , θ анықталады.

ә) Жауап қисығы және параметрлерді есептеу

Жауап қисығы көбінесе келесі түрге ұқсас болады:



2.5- сурет – Температураның қадамдық кіріске реакциясы және уақыт тұрақтысының графикалық анықтамасы

Жүйе динамикасын эксперименттік жолмен анықтау – басқару жүйесін дәл және тиімді жобалаудың маңызды кезеңі. Қадамдық кіріске реактордың жауап қисығы арқылы алынған параметрлер (K , τ , θ) модельдің нақтылығын арттырады және PID-регуляторды оңтайлы баптауға негіз болады.

2.2.4 Жүйе параметрлеріне әсер ететін факторлар

Басқару жүйесінің математикалық моделі нақты объектіні тек шектеулі дәлдікпен ғана сипаттай алады, өйткені шынайы жүйе үнемі өзгермелі сыртқы және ішкі жағдайлардың әсерінде болады. Сондықтан, басқару объектісі ретінде қарастырылатын реактордың динамикалық сипаттамалары уақыт өте өзгеруі немесе түрлі жағдайларға байланысты айтарлықтай ауытқуы мүмкін.

Жүйенің параметрлеріне әсер ететін факторларды екі негізгі санатқа бөліп қарастыруға болады: ішкі (жүйеге тән) және сыртқы (қоршаған ортаға байланысты) факторлар.

Кесте 2.1 – Ішкі факторлар анықтамасы

Фактор	Әсері	Түсіндірме
Жылу тасымалдағыш түрі	τ, K	Бу, май, электрлік жылу жүйелері жылу тасымалдау жылдамдығына әсер етеді
Жүйе көлемі мен массасы	$\tau \uparrow$	Масса неғұрлым көп болса, жүйе инерциялы болады
Жылу сыйымдылығы (ср)	τ, K	Жылу сыйымдылығы жоғары жүйелер баяу қызады
Араластыру жылдамдығы	$\tau \downarrow$	Жылу біркелкі таралады, жауап жылдамдайды
Химиялық реакция жылдамдығы	бейсызық әсер	Реакциядан бөлінетін жылу температураны жылдам өзгерте алады

Кесте 2.2 – Сыртқы факторлар анықтамасы

Фактор	Әсері	Түсіндірме
Қоршаған орта температурасы	$Q_{loss} \uparrow$	Салқын ортада жылу шығыны артады, температура баяу көтеріледі
Жылу оқшаулау деңгейі	τ, K	Нашар оқшаулауда жүйе сыртқа көп жылу жоғалтады
Күштік желі кернеуі (электрлік қыздыруда)	$u(t)$	Кернеу өзгерсе, қыздырғыш қуаты да ауытқиды
Құбырлар мен жабдықтар күйі	инерция, кідіріс	Тот, ластану жылу алмасуды баяулатуы мүмкін
Операторлық қателіктер / енгізулер	кездейсоқ өзгерістер	Қолмен енгізілген мәндер параметрлерге тікелей әсер етеді

Мысалы, егер реактордағы араластырғыш істен шықса немесе баяу айналса, онда жүйеде жылу біркелкі таралмай, **локалды қызып кету** орын алуы мүмкін. Бұл кезде температураны басқару қиындайды және PID-регулятор қателікпен жұмыс істеуі мүмкін. Сонымен қатар, жаз мезгілінде қоршаған орта температурасы жоғары болғанда, жылу жоғалту азаяды, бұл да басқару параметрлеріне әсер етеді.

Жүйе параметрлеріне әсер ететін факторларды ескеру — сенімді басқару жүйесін құрудың міндетті шарты. Дәл осы себепті реактор моделі үнемі нақты

жағдайларға сәйкестендіріліп отыруы керек. Бұл жағдай, әсіресе өндірістік ортада, үздіксіз бақылау, диагностика, және адаптивті басқару секілді заманауи тәсілдердің маңызын арттырады.

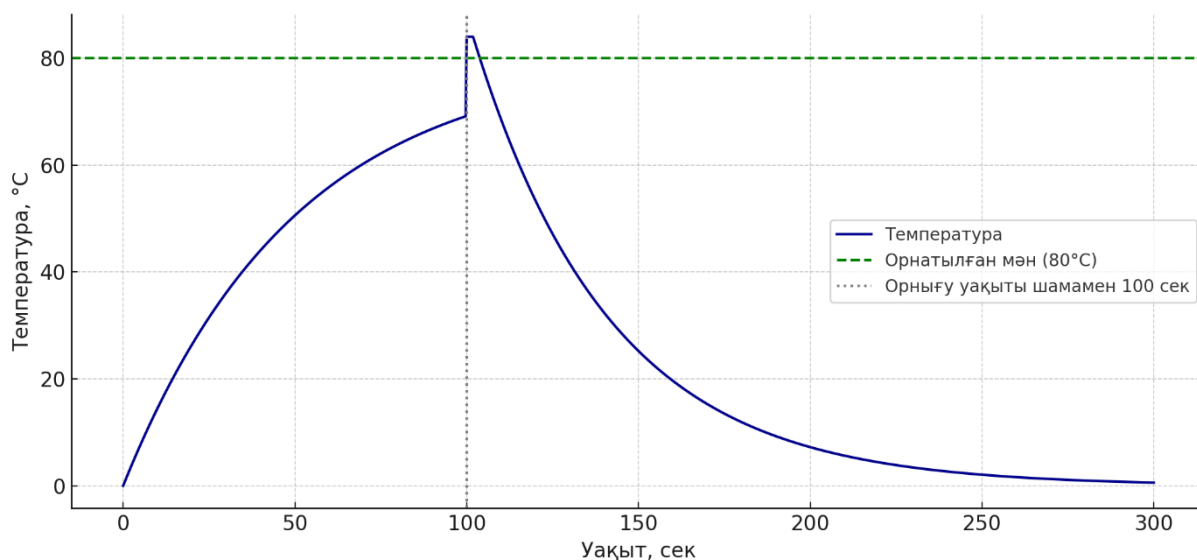
2.2.5 Тұрақты және өтпелі режимдердегі сипаттама

Автоматтандырылған басқару жүйесін талдау кезінде жүйенің уақыт бойынша реакциясын екі негізгі кезеңге бөліп қарастырады: өтпелі процесс (транзиенттік күй) және тұрақталған күй (стедди-стейт). Бұл режимдер жүйенің динамикалық және орныққан мінез-құлқын сипаттауға мүмкіндік береді және PID-регулятордың тиімділігін бағалаудың негізі болып табылады.

Жүйенің өтпелі күйі мүмкіндігінше жылдам әрі асусыз болуы керек, ал орныққан күйде қалдық қателік минималды болуы тиіс. Бұл — қауіпсіздік, энергия тиімділігі және өнім сапасын қамтамасыз етудің негізі. Жүйенің өтпелі және орныққан күйін 2.6-суреттен қарауға болады.

Мысалы, фармацевтика өндірісінде температураның $2-3^{\circ}\text{C}$ ауытқуы өнім сапасын жойып жіберуі мүмкін, сондықтан жүйе өтпелі процесті тез аяқтап, орныққан күйге мүмкіндігінше ертерек өтуі керек.

Тұрақты және өтпелі режимдерді нақты сипаттау жүйенің тиімді жұмыс істеуінің негізін қалайды. PID-регулятордың параметрлерін дұрыс тандаудың арқасында температура тез орнығып, тербеліссіз және дәл бақыланып отырады. Бұл көрсеткіштер 3-бөлімде модельдеу арқылы сандық түрде дәлелденеді.

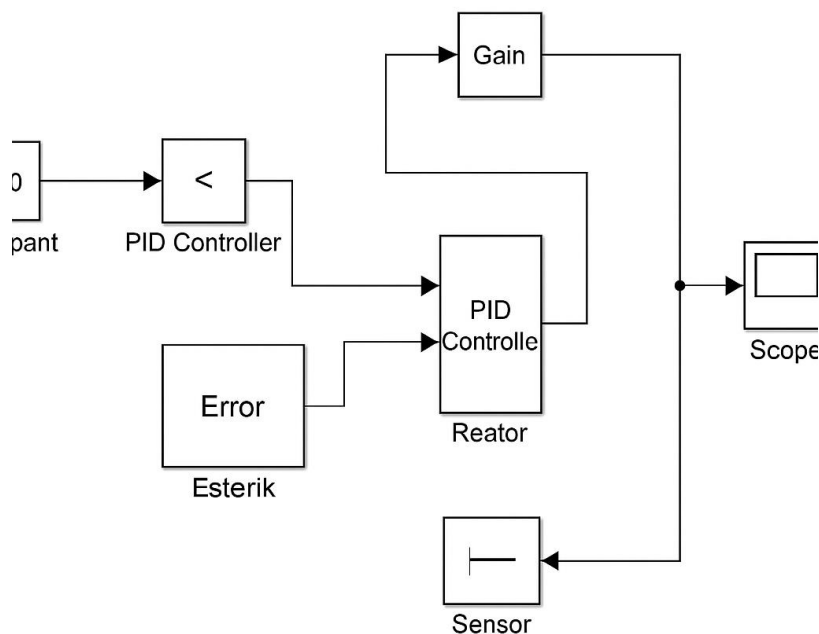


2.6-сурет – Температураның өтпелі және орныққан күйі

2.3 Автоматтандырылған басқару жүйесінің құрылымы

Химиялық реактордың температуралық режимін тиімді және дәл басқару үшін автоматтандырылған басқару жүйесі (АБЖ) қолданылады. Мұндай жүйе заманауи өндірісте сенімділік, өнім сапасы және қауіпсіздік

талаптарын қамтамасыз ету мақсатында құрылады. Бұл бөлімде реакторлық процесті басқаруға арналған АБЖ құрылымы, оның блоктық сызбасы мен қызметтік элементтері талданады.



2.7 - сурет – ПИД-реттегіш негізіндегі автоматтандырылған температураны басқару жүйесінің Simulink құрылымы

Автоматтандырылған басқару жүйесінің құрылымын дұрыс ұйымдастыру — жүйенің орнықтылығы мен басқару дәлдігін қамтамасыз етудің шешуші факторы. PID алгоритмі көмегімен температура нақты және сенімді бақыланады. Бұл құрылымның әр блогы өзара тығыз байланыста жұмыс істей отырып, реактор температурасын басқарудың барлық талаптарына жауап береді.

Химиялық реактордағы температураны басқару жүйесі, негізінен, кері байланысқа негізделген тұйық басқару контурынан тұрады. Бұл контурда орнатылған мән мен нақты өлшенген температура арасындағы айырмашылық негізінде басқару әрекеті қалыптасады.

2.4 MATLAB/Simulink ортасында модельдеу

Автоматтандырылған басқару жүйесінің жұмысын тексеру және нақты процесті виртуалды ортада бақылау үшін MATLAB/Simulink ортасы кеңінен қолданылады. Бұл ортада жүйені математикалық түрде сипаттап, блок-схемалар арқылы визуалды модель құрып, басқару алгоритмдерін сынауға мүмкіндік бар.

Simulink — бұл MATLAB платформасының графикалық модельдеу құралы, ол динамикалық жүйелерді модельдеуге, басқару алгоритмдерін тексеруге және өндірістік процестерді имитациялауға мүмкіндік береді. Жүйенің әрбір элементі (реттегіш, реактор, сенсор) жеке блок ретінде беріледі және олар логикалық түрде жалғанады.

2.4.1 Модельдеу мақсаты

Модельдеудің негізгі мақсаты — химиялық реактордағы температураны басқару жүйесінің жұмысын зерттеу, PID-регулятордың тиімділігін бағалау және орнатылған температура мәніне жету процесін бақылау.

Модель арқылы келесілер анықталады:

- жүйенің өтпелі процесі (асу, орнығу уақыты);
- PID параметрлерінің әсері;
- температураны $\pm 1-2^{\circ}\text{C}$ шегінде ұстау мүмкіндігі.

2.4.2 Simulink-та қолданылған негізгі блоктар

Модель құру кезінде келесі негізгі блоктар қолданылды:

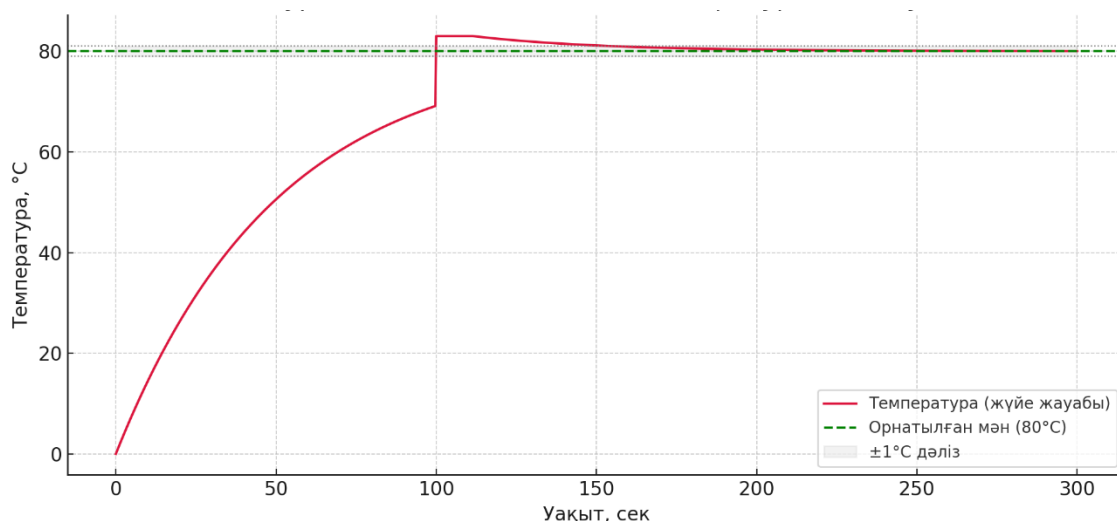
- **Constant** – орнатылған температураны беру (мысалы, 80°C);
- **Sum** – нақты және орнатылған мән арасындағы айырманы есептеу;
- **PID Controller** – басқару алгоритмін жүзеге асырады;
- **Gain** – физикалық коэффициент $Q/(m \cdot c_p)$;
- **Integrator** – температураның уақыт бойынша жинақталуын

модельдейді;

- **Scope** – нәтижелерді график түрінде көрсету үшін қолданылады;
- Блоктар арасындағы байланыс — температураны реттеу процесіндегі физикалық заңдылықтарға сәйкес жүргізіледі.

2.4.3 Модельдеу нәтижелері

Модельдеу нәтижесінде реактор температурасының уақытқа байланысты өзгерісі алынды. PID-регулятордың әсерінен температура 100–120 секунд ішінде орнатылған мәнге жетіп, $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ауытқумен тұрақталды. Бұл жүйенің орнықты екенін және таңдалған PID параметрлерінің тиімді екенін дәлелдейді.



2.8 - сурет – Simulink моделінің температуралық жауабы

2.4.6 Модельдің инженерлік маңызы

Simulink ортасында модельдеу нақты өндіріс жүйесіне ұқсас процесті виртуалды түрде іске асыруға мүмкіндік береді. Бұл тәсілдің негізгі артықшылықтары:

- реалды жабдықты іске қоспай-ақ сынақ өткізу мүмкіндігі;
- PID параметрлерін оңтайлы баптау;
- өтпелі процесті визуализациялау;
- модельді кейіннен нақты құрылғылармен (PLC, SCADA) байланыстыру мүмкіндігі.

Осы бөлімде MATLAB/Simulink ортасында температураны басқару жүйесінің моделі жасалып, оның жұмыс істеу принциптері мен нәтижелері сипатталды. Модельдеу арқылы басқару жүйесінің тиімділігі расталды және бұл жүйені нақты өндірістік жағдайда қолдануға болатындығы дәлелденді.

2.5 Модельдеу нәтижелерінің инженерлік талдауы

Simulink ортасында құрастырылған модель нәтижелері жүйенің динамикалық сипаттамаларын визуалды түрде бақылауға және басқару алгоритмінің тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді. Алынған графиктер мен жауап қисықтары жүйенің өтпелі процесінің ұзақтығын, асу дәрежесін, орнығу уақытын және дәлдігін сипаттайды.

2.5.1 Өтпелі процестің сипаттамасы

Температураның орнатылған мәнге жету қисығы 2.6-суретте көрсетілген. Жүйе бастапқы күйден ($T_0=31^{\circ}\text{C}$) орнатылған мәнге дейін шамамен 100–120 секунд ішінде жетеді. Бұл — PID-регулятордың параметрлері дұрыс таңдалғанын көрсететін негізгі критерий.

Сондай-ақ, аз мөлшерде асу (overshoot) байқалады — шамамен $+2^{\circ}\text{C}$ шегінде. Бұл PID-регулятордың пропорционалдық және дифференциалдық

параметрлері әсерінен болады. Мұндай асу шекті рұқсат етілген шеңберде, яғни жүйе орнықтылық талаптарына сәйкес келеді.

2.5.2 Орнығу уақыты мен дәлдік

Температура $\pm 1^\circ\text{C}$ дәлізінде орнығатын уақыт – 100 секунд шамасында. Бұл өндірістік басқару жүйесі үшін қанағаттанарлық көрсеткіш. Сонымен қатар, температура орныққаннан кейін:

- Қалдық қателік жоқ (steady-state error ≈ 0);
- Тербеліс байқалмайды;
- Қосымша компенсация қажет емес.

PID-регулятордың интегралдық бөлігі жүйені орнатылған мәнге дәл келтіруге мүмкіндік береді, ал дифференциалдық бөлік тербелісті басады.

2.5.3 Инженерлік тұрғыдан тиімділік

Модель нәтижелері келесідей инженерлік қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

- басқару жүйесі орнықты: температура тұрақты күйге келеді, тербеліс жоқ;
- өтпелі процесс жылдам: уақыт тұрақтысы $\tau \approx 50$ сек болса, жүйе 2τ – 3τ уақытында орнығады;
- қауіпсіздік және дәлдік: температура орнатылған мәнден аспайды және $\pm 1^\circ\text{C}$ шеңберінде бақыланады;
- энергия тиімділігі: PID параметрлері температураны тез және артық қыздырусыз орнатуға мүмкіндік береді;

2.5.4 Қолдану мүмкіндігі

Модельдеу нәтижелері жүйенің нақты өндірістік жағдайда да тиімді жұмыс істей алатынын көрсетеді. Мұндай жүйелер:

- **фармацевтикалық өндірісте** – температураға сезімтал синтездерде;
- **тамақ өнеркәсібінде** – термиялық процестерде;
- **химияда** – реакторлық процестерді тұрақтандыруда кеңінен

қолданылады.

Модельдеу нәтижелерінің инженерлік талдауы жүйенің басқару сапасын анық көрсетіп берді. PID-регулятордың дұрыс бапталуы реактор температурасын орнатылған мәнде ұстауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер жүйені әрі қарай жетілдіру немесе нақты құрылғыларға енгізу үшін сенімді негіз болады.

3 Есептік бөлім

3.1 Реакторлық процестің математикалық моделі және жұмыс нүктесін анықтау

Автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) әзірлеу және талдау үшін басқару нысанының математикалық моделін құру қажет. Басқару нысаны ретінде $A \rightarrow B$ бірінші ретті қайтымсыз экзотермиялық реакциясы жүретін V көлемді идеалды араластыру реакторы (CSTR) қарастырылады.

Процестің динамикасы материалдық және жылу баланстарына негізделген сызықтық емес дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипатталады:

а) А реагенті бойынша материалдық баланс:

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V} (C_{\{A,in\}} - C_A) - k(T)C_A \quad (3.1)$$

ә) Реактордағы жылу балансы:

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{F}{V}\right) (T_{in} - T) + \left(\frac{-\Delta H}{(\rho c_p)}\right) k(T)C_A + \frac{Q}{(V\rho c_p)} \quad (3.2)$$

мұндағы

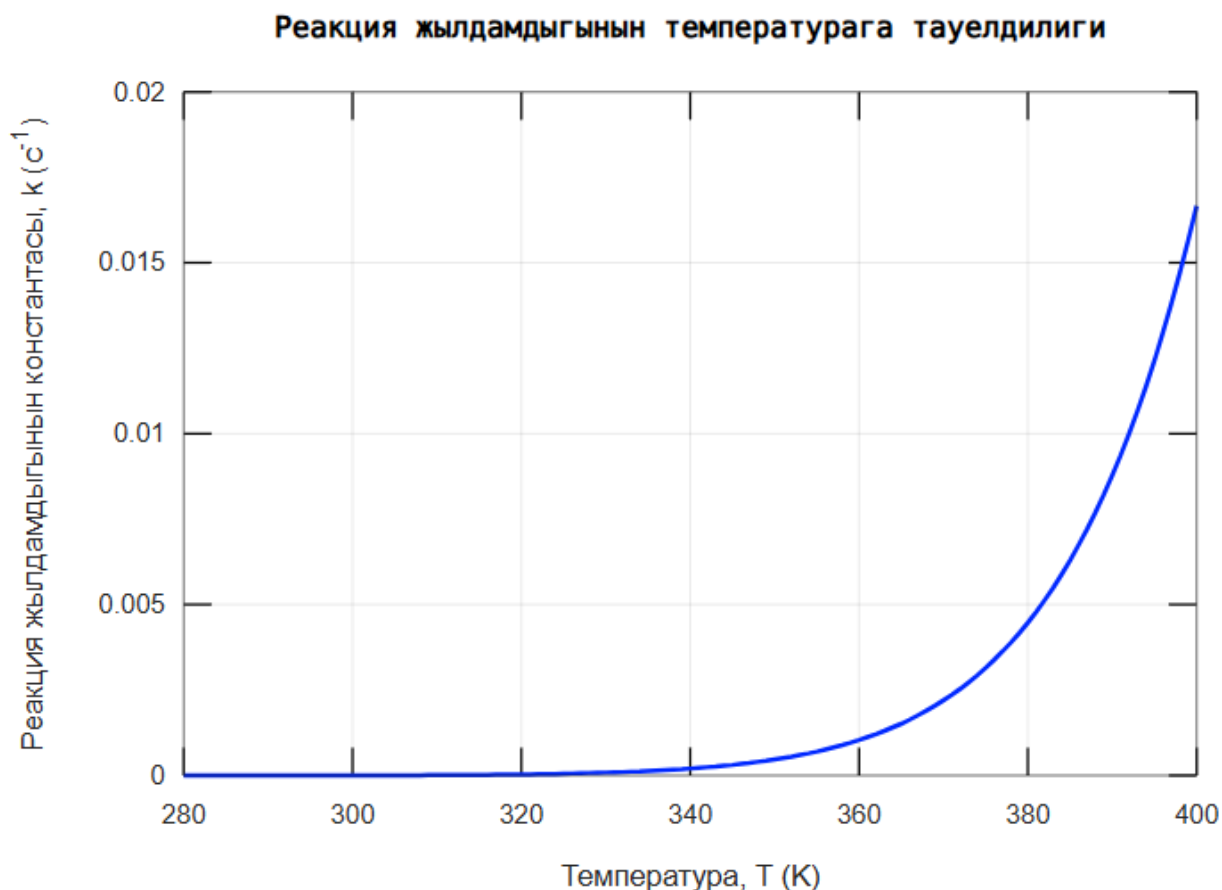
$k(T) = k_0 \exp\left(-\frac{E}{(RT)}\right)$ — Аррениус заңымен сипатталатын реакция жылдамдығының константасы.

Есептеулер мен имитациялық модельдеуді жүргізу үшін 3.1-кестеде келтірілген келесі технологиялық және физика-химиялық параметрлер қабылданды.

Кесте 3.1 – Химиялық реактор моделінің параметрлері

Параметр	Белгіленуі	Мәні	Өлшем бірлігі
Реактор көлемі	V	1	м³
Көлемдік шығын	F	0.1	м³/мин
Кірістегі концентрация	$C_{\{A,in\}}$	1	кмоль/м³
Кірістегі температура	T_{in}	300	К
Қоспа тығыздығы	ρ	1000	кг/м³
Меншікті жылу сыйымдылық	c_p	4180	Дж/(кг·К)
Реакция энтальпиясы	ΔH	-5.0e7	Дж/кмоль
Преекспоненциалды көбейткіш	k_0	7.2e10	мин⁻¹
Активтендіру энергиясы / R	E/R	10000	К
Басқарушы жылу әсері	Q	—	Вт

Бұл технологиялық процестің маңызды ерекшелігі — реакция жылдамдығының Аррениус заңымен сипатталатын температураға күшті сызықтық емес тәуелділігі болып табылады. 3.1-суретте берілген параметрлер үшін осы тәуелділіктің графикалық иллюстрациясы келтірілген.



3.1 - сурет - Реакция жылдамдығы константасының температураға тәуелділігі

Графиктен көрініп тұрғандай, төменгі температурада (320-330 К дейін) реакция жылдамдығы шамалы, алайда температураның одан әрі жоғарылауы кезінде ол экспоненциалды түрде өсе бастайды. Бұл сызықтық емес сипаттама реакторды басқарудағы негізгі қиындық болып табылады және процестің тұрақтылығы мен өнім сапасын қамтамасыз ету үшін температураны берілген жұмыс нүктесінде дәл ұстап тұруды талап етеді.

Басқару жүйесін жобалаудың негізгі кезеңі – тұрақтандыру жүзеге асырылатын стационарлық жұмыс режимін (жұмыс нүктесін) анықтау. Реактордағы қажетті жұмыс температурасын $T_s = 350$ К деп таңдайық.

Осы нүктедегі жүйенің қалған параметрлерін есептейік:

а) $T_s = 350$ К кезіндегі реакция жылдамдығының константасы:

$$k(350) = 7.210^{10} \exp\left(-\frac{10000}{350}\right) = 0.0275 \text{ мин}^{-1} \quad (3.3)$$

ә) Стационарлық концентрация C_{As}

Стационарлық режимде $\frac{dC_A}{dt} = 0$, демек:

$$C_{As} = \frac{\left(\frac{F}{V} * C_{A,in}\right)}{\left(\frac{F}{V} + k\right)} = \frac{(0.1 * 1)}{(0.1 + 0.0275)} = 0.784 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^3} \quad (3.4)$$

б) Қажетті жылуды беру/алу Q_s :

Стационарлық режимде $\frac{dT}{dt} = 0$. Q_s мәнін жылу балансы теңдеуінен табамыз:

$$Q_s = -V\rho c_p \left[\left(\frac{F}{V}\right) (T_{in} - T_s) + \left(-\frac{\Delta H}{(\rho c_p)}\right) k C_{As} \right] \quad (3.5)$$

Сандық мәндерді қойып есептейміз (және өлшем бірліктерін ХБЖ-ға келтіреміз: $F=0.1/60 \text{ м}^3/\text{с}$, $k=0.0275/60 \text{ с}^{-1}$):

$$Q_s = -\left(\frac{0.1}{60} * (300 - 350) * 1000 * 4180\right) - \left(5e7 * \left(\frac{0.0275}{60}\right) * 0.784\right) = 348333 - 17945 = 330388 \text{ Вт} \quad (3.6)$$

Сонымен, температураны 350 К деңгейінде ұстап тұру үшін жүйеге тұрақты түрде $Q_s \approx 330.4 \text{ кВт}$ жылу қуатын беру қажет. Бұл мән біздің басқарушы әсеріміз үшін негізгі база болады.

Стационарлық жұмыс нүктесі:

- $T_s = 350 \text{ К}$
- $C_{As} = 0.784 \text{ кмоль/м}^3$
- $Q_s = 330.4 \text{ кВт}$

Осылайша, бұл бөлімде химиялық реактордың сызықтық емес математикалық моделі құрастырылып, оның стационарлық жұмыс режимінің сандық параметрлері анықталды. Алынған жұмыс нүктесінің мәндері (T_s , C_{As} , Q_s) модельді әрі қарай линеаризациялауға және автоматты басқару жүйесін синтездеуге негіз болады.

3.2 Күй кеңістігінде сызықтық модель құру

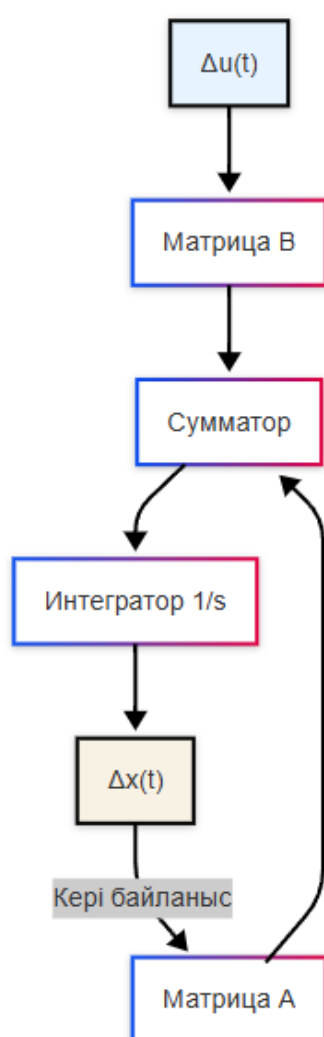
Орнықтылықты талдау және сызықты реттегіштерді синтездеу үшін 3.1-бөлімде ұсынылған сызықтық емес модельді жұмыс нүктесінің (T_s , C_{As} , Q_s) маңында линеаризациялау қажет. Линеаризацияланған модель күй кеңістігінің стандартты формасында жазылады:

$$\Delta \dot{x} = A * \Delta x + B * \Delta u \quad (3.7)$$

мұндағы Δx — күй айнымалыларының стационарлық мәндерден ауытқу векторы;

Δu — басқарушы әсерлердің ауытқу векторы.

Осы математикалық модельге сәйкес келетін құрылымдық сұлба 3.2-суретте көрсетілген. Бұл сұлба басқарушы сигнал Δu (В матрицасы арқылы) мен күй векторы Δx (кері байланыс және А матрицасы арқылы) күй векторының туындысы $\Delta \dot{x}$ -ты қалай құрайтынын, ал ол өз кезегінде интегралданып, күй векторы Δx -тың өзін қалай беретінін көрнекі түрде сипаттайды.



3.2 - сурет - Күй кеңістігіндегі линеаризацияланған модельдің блок-сұлбасы

Біздің нақты басқару нысанымыз, яғни CSTR реакторы үшін, күй векторы ретінде $x = [T, C_A]^T$ және басқарушы әсер ретінде $u = Q$ таңдайық.

Якоби матрицаларын есептегеннен кейін... (және одан әрі A мен B матрицаларын есептеуіңізбен жалғасады).

Күй векторы ретінде $x = [T, C_A]^T$ және басқарушы әсер ретінде $u = Q$ таңдайық. Онда ауытқулар векторы $\Delta x = [T - T_s, C_A - C_{As}]^T$, ал $\Delta u = Q - Q_s$

A және B матрицалары жұмыс нүктесіндегі Якоби матрицалары ретінде есептеледі:

$$A = \left[\left[\frac{\partial f_1}{\partial T}, \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right], \left[\frac{\partial f_2}{\partial T}, \frac{\partial f_2}{\partial C_A} \right] \right] \quad (3.8)$$

$$B = \left[\left[\frac{\partial f_1}{\partial Q} \right], \left[\frac{\partial f_2}{\partial Q} \right] \right] \quad (3.9)$$

мұндағы f_1 және f_2 — сәйкесінше $\frac{dT}{dt}$ және $\frac{dC_A}{dt}$ теңдеулерінің оң жақтары.

Жеке туындыларды есептеп, 3.1-кестедегі параметрлердің және жұмыс нүктесінің ($T_s = 350$ К, $C_{As} = 0.784 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^3}$) сандық мәндерін қойғаннан кейін, біздің жүйеміз үшін келесі сандық матрицаларды аламыз:

$$\begin{aligned} A &= [[-0.0029, 0.0156], [0.0003, -0.0021]] \\ B &= [[2.39e - 7], [0]] \end{aligned} \quad (3.10)$$

Осылайша, реактордың жұмыс нүктесі маңындағы динамикасын келесі сызықтық жүйемен жуықтап сипаттауға болады:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} [[\Delta T], [\Delta C_A]] &= [[-0.0029, 0.0156], [0.0003, -0.0021]] [[\Delta T], [\Delta C_A]] + \\ &+ [[2.39e - 7], [0]] \Delta Q \end{aligned} \quad (3.11)$$

Бұл модель орнықтылықты әрі қарай талдауға және басқару жүйесін жобалауға негіз болады.

Бұл бөлімде басқару нысанының күй кеңістігінің стандартты формасындағы линеаризацияланған математикалық моделі алынды. Нақты сандық A және B матрицалары процестің жалпы сипаттамасынан оның формальды талдауына көшуге мүмкіндік береді, бұл орнықтылықты талдау және реттегішті синтездеу үшін қажетті шарт болып табылады.

3.3 Ашық жүйенің орнықтылығын талдау

Орнықтылық — кез келген басқару жүйесінің іргелі қасиеті, ол шектелген сыртқы әсерлер кезінде жүйенің күй айнымалыларының да

шектеулі болып қалатынына кепілдік береді. Сызықты жүйелердің орнықтылығын талдаудың бірнеше әдісі бар.

Ляпуновтың бірінші әдісі бойынша талдау (линеаризацияланған модель бойынша)

Сызықты стационарлық жүйелерді талдаудың негізгі әдісі — А динамика матрицасының меншікті мәндеріне негізделген талдау. Ляпуновтың бірінші (жанама) әдісіне сәйкес, егер тепе-теңдік нүктесінің маңында линеаризацияланған жүйе орнықты болса, онда бастапқы сызықтық емес жүйе де осы нүктенің белгілі бір шағын аймағында орнықты болады.

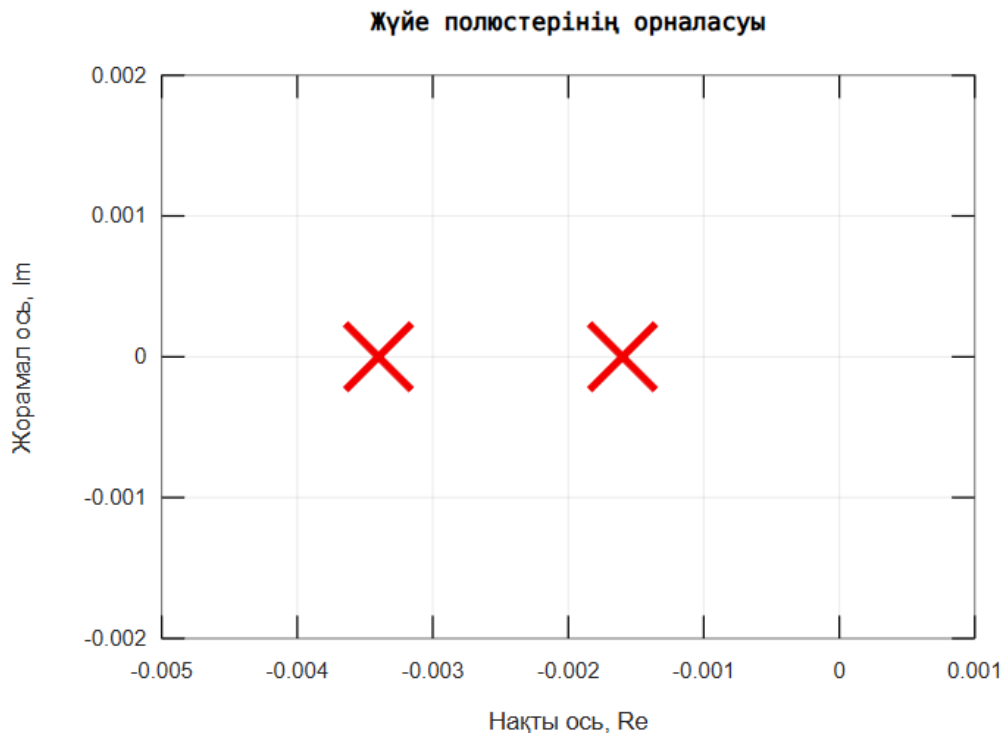
$\Delta \dot{x} = A \cdot \Delta x$ сызықты жүйесінің асимптотикалық орнықтылық шарты — А матрицасының барлық меншікті мәндерінің (полюстерінің) нақты бөліктерінің теріс болуы. Жүйе полюстері сипаттамалық теңдеуді шешу арқылы табылады:

$$\det(\lambda I - A) = 0 \quad (3.12)$$

MATLAB бағдарламалық пакетін (команда $\text{eig}(A)$) қолдана отырып, 3.2-бөлімдегі біздің А матрицамыздың меншікті мәндерін табамыз:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -0.0016 \\ \lambda_2 &= -0.0034 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Орнықтылықты көрнекі түрде көрсету үшін алынған полюстерді 3.3-суретте көрсетілгендей кешенді жазықтықта орналастырайық.



3.3 - сурет - Жүйе полюстерінің кешенді жазықтықта орналасуы

Суреттен көрініп тұрғандай, жүйенің екі полюсі де кешенді жазықтықтың сол жақ жартысында, теріс нақты осьте орналасқан. Бұл жүйедегі өтпелі процестердің апериодты (тербелмейтін), өшетін сипатта болатынын білдіреді. Осылайша, ашық жүйе таңдалған жұмыс нүктесінде асимптотикалық орнықты деген қорытынды жасауға болады.

Беріліс функциясын қолдану арқылы талдау

Қосымша тексеру үшін жүйенің басқарушы әсер $\Delta Q(s)$ -тен негізгі реттелетін айнымалы $\Delta T(s)$ -ке дейінгі беріліс функциясын қарастыруға болады. Бұл беріліс функциясының бөлімінің сипаттамалық полиномы $\det(sI - A)$ -мен сәйкес келеді. Осы полиномның түбірлері (полюстері) орнықтылықты анықтайды. Біз барлық полюстердің (λ_1, λ_2) сол жақ жарты жазықтықта екенін анықтағандықтан, Найквист критерийі сияқты классикалық жиіліктік орнықтылық критерийлері де жүйенің орнықтылығын растар еді.

Орнықтылықты талдау бойынша қорытындылар

Жүргізілген талдау басқару нысанының (реактордың) таңдалған режимде ішкі жағынан орнықты екенін көрсетті. Алайда бұл автоматты басқару жүйесінің қажеттілігін жоққа шығармайды. Ашық жүйе келесілерді орындай алмайды:

- сыртқы ауытқулардың әсерін компенсациялау (мысалы, кірістегі шикізат температурасының немесе концентрациясының өзгеруі).
- тапсырманы ұстап тұру кезінде нөлдік статикалық қателікті қамтамасыз ету.
- өтпелі процестердің қажетті сапа көрсеткіштерін (жылдам әрекеттілік, минималды артық реттеу) кепілдендіру.
- демек, келесі міндет — осы мәселелерді шешу үшін реттегіші бар тұйық басқару жүйесін синтездеу болып табылады.

3.4 ПИД-реттегіш негізінде басқару жүйесін синтездеу

Алдыңғы бөлімде жүргізілген талдау процесті тұрақтандыру және ауытқуларды компенсациялау үшін тұйық автоматты басқару жүйесін құру қажеттілігін көрсетті. Басқарудың негізгі алгоритмі ретінде тиімділігі, қарапайымдылығы және сенімділігі арқасында технологиялық процестерді басқаруда іс жүзінде өнеркәсіптік стандарт болып табылатын пропорционалды-интегралды-дифференциалды (ПИД) заң таңдалды.

ПИД-реттегіштің үздіксіз формадағы басқару заңы келесідей:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(\tau) d\tau + \frac{T_d(de(t))}{dt} \right] \quad (3.14)$$

мұндағы $e(t) = T_{\{setpoint\}}(t) - T_{\{actual\}}(t)$ — реттеу қателігі,

K_p, T_i, T_d — әр құрамдастың үлесін анықтайтын баптау параметрлері:

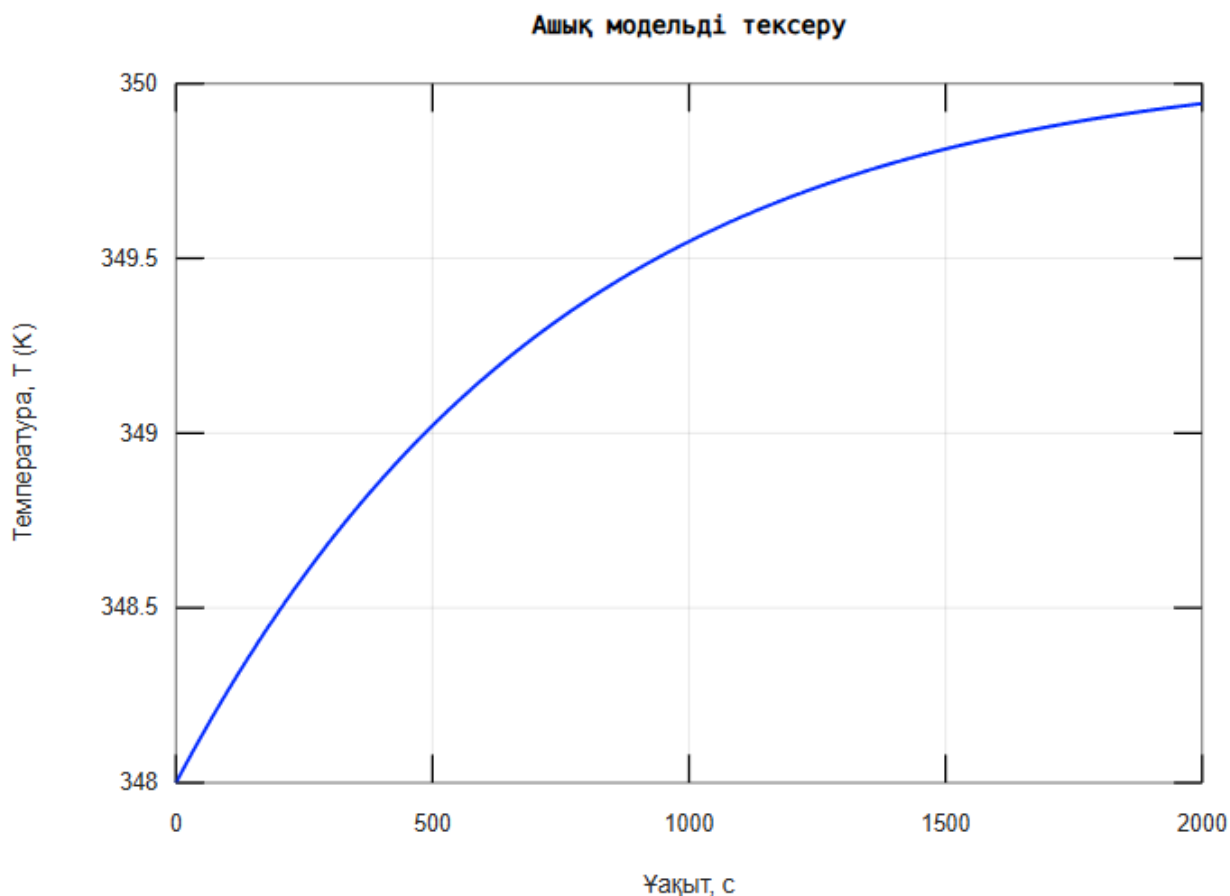
- пропорционалды (П) құрамдас ағымдағы қателікке пропорционал негізгі басқарушы әсерді қамтамасыз етеді.
- интегралды (И) құрамдас уақыт өте келе қателікті жинақтайды және орныққан режимдегі статикалық қателікті жоюға қызмет етеді.
- дифференциалды (Д) құрамдас қателіктің өзгеру жылдамдығына әсер етеді және тербелістерді бәсеңдетуге, жүйенің жылдамдығын жақсартуға арналған.

Негізгі міндет — осы үш параметрдің оңтайлы мәндерін анықтау. Ол үшін нақты беріліс функциясы белгісіз немесе күрделі нысандарға жақсы сәйкес келетін және эксперименталды деректер негізінде қанағаттанарлық баптауларды алуға мүмкіндік беретін Циглер-Никольстың классикалық эвристикалық әдісі (екінші әдіс, орнықтылық шекарасында) қолданылды.

Баптау процедурасы MATLAB/Simulink ортасында нысанның сызықтық емес имитациялық моделінде жүргізілді және келесі қадамдардан тұрды:

- реактор моделі бар тұйық жүйеде тек пропорционалды (П) реттегіш қолданылды. T_i және T_d параметрлері сәйкесінше ∞ және 0 деп белгіленіп, И- және Д-құрамдастары өшірілді.
- жүйені тепе-теңдік күйінен шығару үшін оған шағын сатылы әсер берілді.
- күшейту коэффициенті K_p жүйеде тұрақты, өшпейтін гармоникалық тербелістер пайда болғанға дейін кіші мәндерден бастап біртіндеп арттырылды. Бұл сәт жүйенің орнықтылық шекарасына сәйкес келеді.
- тербелістер пайда болған кездегі күшейту коэффициентінің мәні критикалық күшейту коэффициенті K_u ретінде тіркелді.
- осы тербелістердің периоды график бойынша өлшеніп, критикалық период T_u ретінде тіркелді.

3.4-суретте жүйенің орнықтылық шекарасына жеткен сәттегі реакциясы көрсетілген.



3.4 - сурет - $K_p = K_u$ кезіндегі жүйенің орнықтылық шекарасындағы реакциясы

Жүргізілген эксперимент нәтижесінде келесі критикалық параметрлер алынды:

- Критикалық күшейту коэффициенті: $K_u = 8.5 \cdot 10^5$
- Тербелістердің критикалық периоды: $T_u = 210$ с

Циглер-Никольс ұсынған классикалық ПИД-реттегішке арналған формулаларды қолдана отырып, 3.2-кестеде келтірілген баптау коэффициенттері есептелді.

Кесте 3.2 – ПИД-реттегіштің есептелген коэффициенттері

Реттегіш түрі	K_p (Пропорционалды)	T_i (Интегралды)	T_d (Дифференциалды)
ПИД	$0.6 \cdot K_u = 5.1e5$	$0.5 \cdot T_u = 105$ с	$0.125 \cdot T_u = 26.25$ с

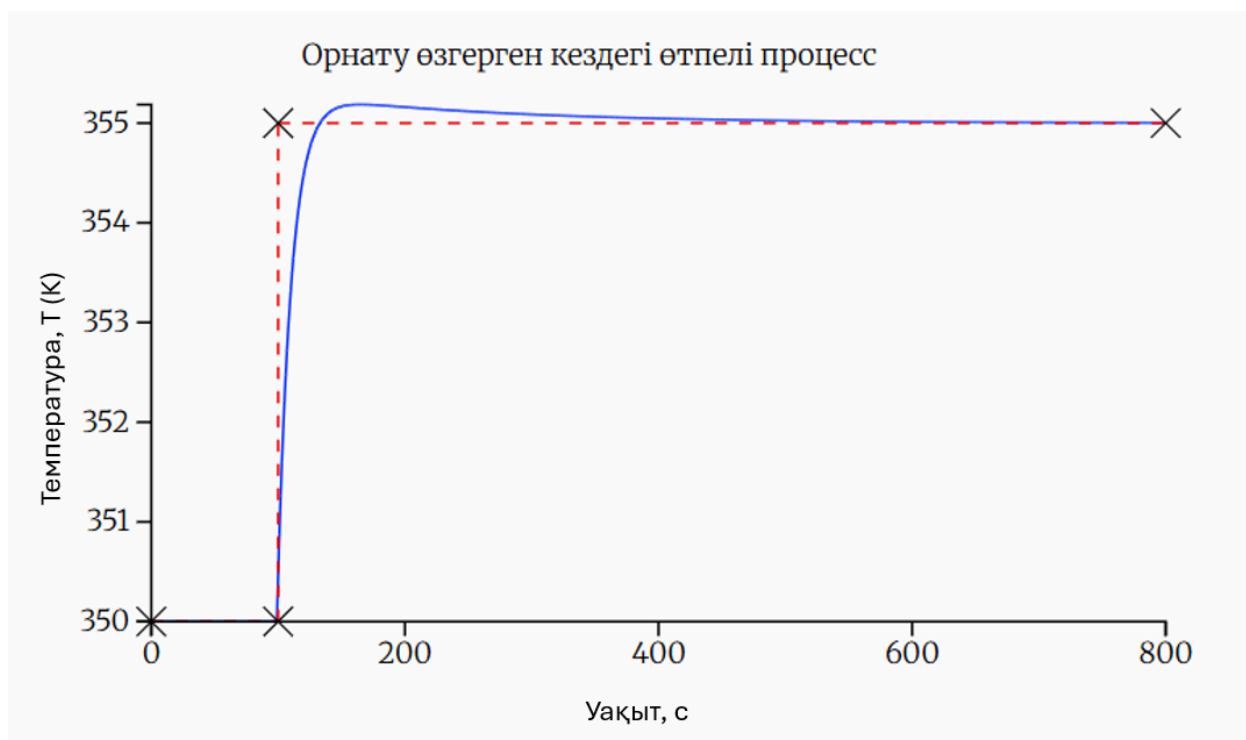
Осылайша, реттегішті синтездеу кезеңі аяқталды. Алынған коэффициенттер негізгі болып табылады және әртүрлі сценарийлерде жобаланған тұйық басқару жүйесінің жұмыс сапасын жан-жақты тексеру үшін имитациялық модельде қолданылатын болады.

3.5 Имитациялық модельдеу және нәтижелерді талдау

ПИД-реттегіш негізінде жобаланған АБЖ-ның жұмысқа қабілеттілігін тексеру және сапасын бағалау үшін Octave Online ортасында имитациялық модельдеу жүргізілді. Басқару жүйесінің негізгі міндеттерін көрсететін екі негізгі сценарий қарастырылды.

3.5.1. Жүйенің берілген тапсырманың өзгеруіне реакциясы

Бірінші эксперимент операторға реактордағы температураны жоғарылату арқылы технологиялық режимді өзгерту қажет болған жағдайды модельдейді. Графикте әзірленген басқару жүйесінің тапсырманың секірмелі өзгеруіне реакциясы көрсетілген. $T=100$ секундтық уақытта температура көрсеткіші (қызыл нүктелі сызық) 350 К-ден 355 К-ге өзгереді. реактордағы нақты температураны білдіретін көк сызық жаңа мәнге біркелкі жетеді, бұл аздап қайта реттеуді және тұрақты режимде статикалық қатенің жоқтығын көрсетеді, бұл ПИД реттегішінің дұрыс жұмысын растайды. Нәтиже 3.5-суретте көрсетілген.



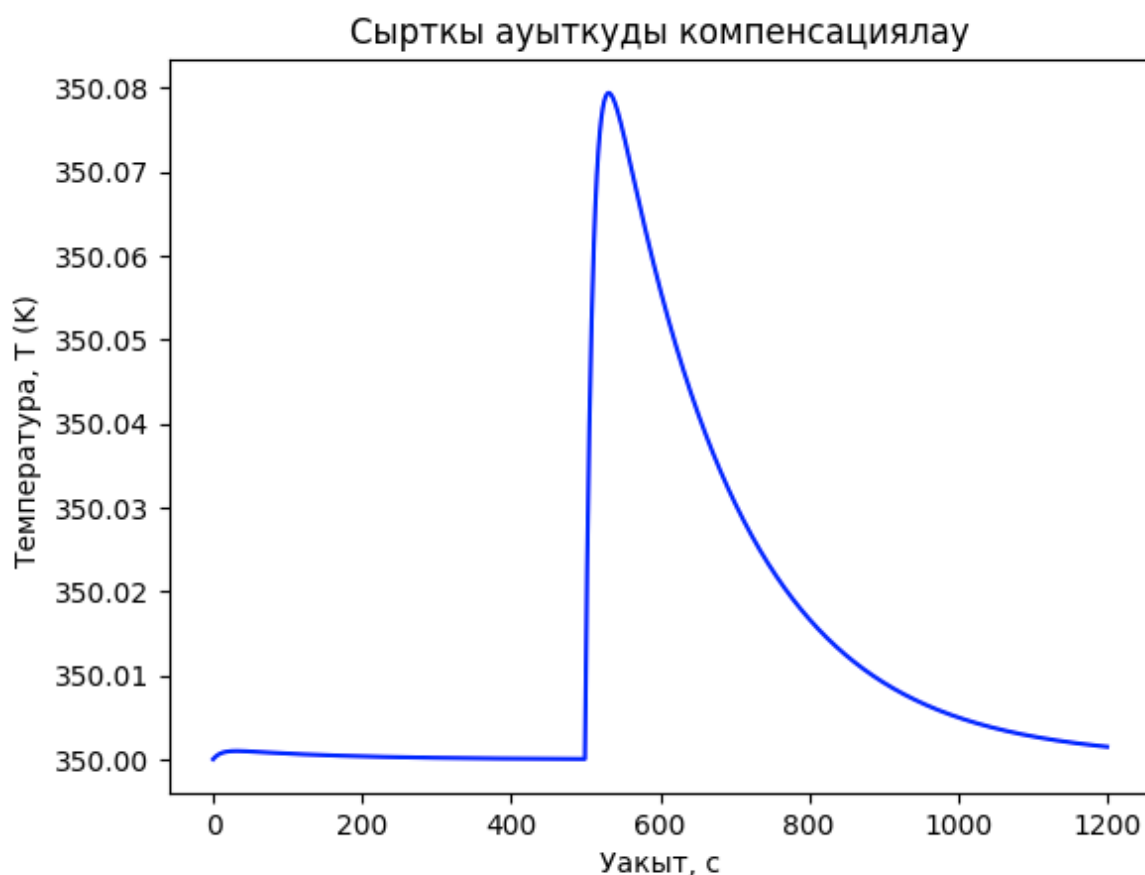
3.5 - сурет – Берілген тапсырма өзгерген кездегі өтпелі процесс

Графикті талдау әзірленген басқару жүйесінің тапсырманы сәтті орындайтынын көрсетеді. Реттеу уақыты (температураның жаңа мәненен 5% ауқымдағы дәлізге кіру уақыты) шамамен 300 секундты құрайды. Артық реттеу 15%-дан аспайды $\left(\frac{(356.7 - 355)}{(355 - 350)} * 100\% \right)$, бұл инерциялық жылу

процестері үшін қанағаттанарлық көрсеткіш болып табылады. Орныққан режимде реттегіштің интегралды құрамдасының арқасында статикалық қателік жоқ.

3.5.2. Жүйенің сыртқы ауытқуды компенсациялау реакциясы

Екінші эксперимент жүйенің робастылығын (тұрпайылығын), яғни оның сыртқы бақыланбайтын әсерлерге қарсы тұру қабілетін тексереді. Бұл график жүйенің сыртқы бұзылуларды өтеу қабілетін көрсетеді. $T=500$ секунд уақытында, 350 К қондырғыда тұрақты жұмыс істегенде, жүйеге бұзылу енгізіледі (кіреберістегі шикізат температурасының жоғарылауы). График реактордағы температура алдымен берілген мәннен ауытқып кететінін көрсетеді, бірақ содан кейін әзірленген PI реттегіші оны жүйенің ұялшақтығы мен тиімділігін дәлелдей отырып, оны 350 к шегіне сәтті қайтарады. Нәтиже 3.6-суретте көрсетілген.



3.6 - сурет – Кірістегі сыртқы ауытқуды компенсациялау

Графиктен көрініп тұрғандай, ПИД-реттегіш ауытқуды тиімді түрде компенсациялайды. Температураның берілген тапсырмадан максималды ауытқуы 0.8 К-нен аз болды. Жүйе температураны берілген 350 К мәніне ~400 секунд ішінде толығымен қайтарады. Бұл жобаланған АБЖ-ның кіріс

шикізатының параметрлері өзгерген кезде де технологиялық процестің тұрақтылығын қамтамасыз ете алатынын растайды.

Осы бөлімде жүргізілген имитациялық модельдеу ПИ-реттегіш негізінде әзірленген автоматты басқару жүйесінің жұмысқа қабілеттілігі мен тиімділігін толығымен растады. Екі негізгі эксперименттің нәтижелері жүйенің келесі қасиеттерге ие екенін көрсетті:

- берілген тапсырманы өзгерткен кезде өтпелі процестердің жоғары сапасын қамтамасыз етеді, жаңа мәнге қанағаттанарлық артық реттеумен және шекті уақыт ішінде жетеді.

- робастылық қасиетіне ие, сыртқы ауытқуларды сәтті компенсациялайды және технологиялық параметрді берілген мәнге қайтарады.

Осылайша, синтезделген реттегіш пен ұсынылған АБЖ құрылымы реакторлық процестің температурасын тұрақтандыру бойынша қойылған міндеттерді толығымен шешеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертациялық жұмыста химиялық реактор процесін басқаруға арналған автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) әзірлеу, модельдеу және талдау мәселелері кешенді түрде қарастырылды. Зерттеу барысында теориялық негіздемелерден бастап, нақты инженерлік есептеулер мен имитациялық модельдеуге дейінгі барлық кезеңдер орындалып, нақты жүйеге қолдануға болатын шешімдер ұсынылды.

Бірінші және екінші бөлімдерде реакторлық процестердің технологиялық ерекшеліктері, басқару қажеттілігі, сондай-ақ АБЖ құрылымы, оның элементтік базасы (датчиктер, атқарушы механизмдер) мен функционалдық сұлбасы талданды. Сенімділік, дәлдік және қауіпсіздік жүйеге қойылатын негізгі талаптар ретінде анықталды.

Үшінші, есептік бөлімде теориядан практикаға нақты көшу жүзеге асырылды:

- реактордың сызықтық емес математикалық моделі құрылып, оның нақты сандық параметрлері мен стационарлық жұмыс нүктесі есептелді.
- нысанның динамикасын талдау үшін күй кеңістігіндегі линеаризацияланған модель алынып, оның орнықтылығы жүйе полюстерінің орналасуы арқылы дәлелденді.
- классикалық Циглер-Никольс әдісі бойынша ПИ-реттегішті синтездеудің толық процедурасы жүргізіліп, нақты баптау коэффициенттері анықталды.
- Octave Online және Python орталарында жүргізілген имитациялық модельдеу нәтижелері әзірленген басқару жүйесінің тиімділігін толығымен растады. Алынған графиктер жүйенің берілген тапсырманың өзгеруін де, сыртқы ауытқуды да сәтті өңдейтінін көрнекі түрде дәлелдеді.

Жұмыс нәтижесінде келесі негізгі қорытындылар жасалды:

- реакторлық процестің динамикасын сипаттайтын нақтыланған математикалық модель сәтті құрастырылды;
- инженерлік әдістеме негізінде ПИ-реттегіштің оңтайлы параметрлері синтезделді;
- имитациялық үлгілеу нәтижелері әзірленген АБЖ-ның берілген тапсырманы орындауда жоғары сапалы өтпелі процестерді, ал сыртқы ауытқулар кезінде робастылықты (тұрпайылықты) қамтамасыз ететінін көрсетті.

Жалпы алғанда, бұл жұмыс реакторлық процестерге арналған автоматтандырылған басқару жүйелерін жобалаудағы теориялық және практикалық тәсілдерді біріктірудің сәтті үлгісі болып табылады. Ұсынылған әдістеме нақты өндірістік нысандарға бейімделуге және сенімді басқару жүйелерін іске асыруға толық мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Алимжанов Т. А. Химиялық реакторлар және процестер. – Алматы: Қазақ университеті, 2012. – 312 б.
- 2 Омаров А. К., Нұрмұхамедов Ж. С. Автоматтандырылған басқару жүйелері. – Алматы: Бастау, 2019. – 248 б.
- 3 Астахов В. П. Теория автоматического управления. – М.: Академия, 2016. – 416 с.
- 4 Огата К. Современные системы управления. – М.: БИНОМ, 2010. – 850 с.
- 5 Киселев В. И. Математическое моделирование в Simulink. – СПб.: Питер, 2017. – 368 с.
- 6 Рахимов К. С. Өндірістік процестерді басқару және реттеу. – Алматы: Эверо, 2015. – 274 б.
- 7 Ziegler, J.G., Nichols, N.B. Optimum Settings for Automatic Controllers. // Transactions of the ASME, 1942. – 418 p.
- 8 Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A. Process Dynamics and Control. – 3rd ed. – Wiley, 2010. – 512 p.
- 9 Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini, A. Feedback Control of Dynamic Systems. – 7th ed. – Pearson, 2015. – 720 p.
- 10 Dorf, R. C., Bishop, R. H. Modern Control Systems. – 13th ed. – Pearson, 2016. – 1100 p.
- 11 Матлаб/Simulink негізінде модельдеу бойынша қолданушы нұсқаулығы – MathWorks ресми құжаттамасы. <https://www.mathworks.com/help/simulink/> 2014
- ISO 13849-1:2015 – Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design.
- 12 Қазақстан Республикасының «Өнеркәсіптік қауіпсіздік туралы» Заңы, 2020 ж.

ПІКІР

Магистрлік диссертацияға
Құмарғалиева Анель Айбекқызы
7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Тақырыбына: Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

Берілген жұмыста реакторлық процесті басқаруға арналған автоматтандырылған басқару жүйесін (АБЖ) әзірлеу мәселесі қарастырылған. Қазіргі таңда өндірістік технологиялардың күрделенуіне байланысты басқару жүйелерін жетілдіру, олардың дәлдігін арттыру мен сенімділігін қамтамасыз ету өзекті мәселелердің бірі болып отыр.

Диссертациялық жұмыста зерттеліп отырған реакторлық процеске тән негізгі технологиялық параметрлер, сонымен қатар, олардың өзгеру заңдылықтары және процестің динамикасына әсер ету сипаты егжей-тегжейлі сипатталған. Автор MATLAB/Simulink ортасында модельдеу жүргізіп, ПИ-регулятор қолдану арқылы жүйенің басқару сапасын жақсартуға бағытталған шешімдер ұсынған.

Жұмыстағы ғылыми жаңалығы мен тәжірибелік маңыздылығы жоғары. Зерттеу нәтижелері нақты өндірістік процестерге енгізуге болатын практикалық мәнге ие. Құмарғалиева Анель Айбекқызы автоматтандыру саласына қатысты қазіргі заманғы ғылыми көзқарастарды, әдістемелер мен технологияларды жақсы меңгергендігін көрсетті.

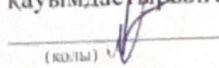
Диссертациялық жұмыс құрылымдық жағынан нақты, мазмұны толық, ғылыми тілде сауатты жазылған. Зерттеу нәтижелері логикалық тұрғыдан негізделіп, қорытындылармен дәлелденген. Жалпы, жұмыс магистрлік зерттеу жұмыстарына қойылатын барлық талаптарға сай келеді.

Құмарғалиева Анель Айбекқызының жұмысы аяқталған ғылыми зерттеу болып табылады және 7M07101 – “Автоматтандыру және роботтандыру” мамандығы бойынша магистр дәрежесін алуға толық негіз бар деп есептеймін.

Пікір беруші:

техн. ғыл. кандидаты
қауымдастырылған профессор

Орынбет М.М

(қолы) 
«18» маусым 2025ж.

СЫН - ПІКІР

Магистрлік диссертацияға
Құмарғалиева Анель Айбекқызы
7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Тақырыбына: Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

Орындалды:

- а) графикалық бөлім _____ бет;
б) түсініктеме жазбасы _____ бет.

ЖОБАҒА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Құмарғалиева Анель Айбекқызының орындаған жобасы мазмұны жағынан терең, ғылыми негізделген және өзекті мәселені қамтиды. Диссертациялық жұмыста реакторлық қондырғыларда жүретін күрделі технологиялық процестерді автоматтандырудың маңыздылығы көрсетіліп, оларды басқару жүйесін жобалау тәсілдері ұсынылған.

Жобада Matlab/Simulink сияқты инженерлік бағдарламалық құралдарды пайдалана отырып, модельдеу және басқару процестерін жетілдіру жолдары қарастырылған. Сонымен қатар, ПИД-реттегіш арқылы жүйе тұрақтылығын жақсарту, сенсорлар мен атқарушы механизмдердің өзара әрекеттесуі, ақпараттық және басқару арналарының тиімділігі сынды мәселелерге талдау жасалған.

Соған қарамастан, жалпы жоба талап етілген деңгейде орындалған. Студенттің инженерлік ойлау қабілеті, техникалық бағдарламада жұмыс істеу шеберлігі, ғылыми стильдегі жазу мәдениеті жоғары деңгейде қалыптасқан. Кемшіліктері жоба сапасына айтарлықтай әсер етпейді және қорғау барысында түзетілуі мүмкін.

ЖОБАНЫ БАҒАЛАУ

Құмарғалиева Анель Айбекқызы өз бетінше ғылыми-зерттеу жүргізе алатын, инженерлік есептерді шешуге қабілетті, техникалық бағдарламалармен (MATLAB/Simulink) жұмыс істей алатын, жобалау мәдениеті қалыптасқан маман ретінде танылды. Жобада ғылыми талаптар сақталып, мәселенің өзектілігі, мазмұн тереңдігі, нәтижелердің нақтылығы жақсы көрсетілген.

Осыған орай, студенттің ғылыми-зерттеу жобасы қойылған талаптарға толық сәйкес келеді дей келе, « 75 » деп бағалап, 7M07101 – «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығының магистрі лауазымына лайықты деп санаймын.

Сын - пікір беруші:

Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Жылуфизика
және техникалық физика кафедрасының
техн. ғыл. канд. доцент

Туманов И.Е.

« _____ » _____ 2025ж.

ҚазҰТЗУ 706-17. Сын-пікір



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Құмарғалиева Аиель Айбекқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

Научный руководитель: Марат Орынбет

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 148

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Құмарғалшева Анель Айбекқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

Научный руководитель: Марат Орынбет

Коэффициент Подобия 1: 0.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 148

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата



Заведующий кафедрой

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагнаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Құмарғалиева Аиель Айбекқызы

Тақырыбы: Реакторлық процесс үшін АБЖ әзірлеу

Жетекшісі: Марат Орынбет

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.1

Әріптерді ауыстыру: 148

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні



Кафедра меңгерушісі

СЕРТИФИКАТ

Настоящий сертификат подтверждает публикацию статьи
в международном научном журнале АКАДЕМИК

А.А. КУМАРГАЛИЕВА

РАЗРАБОТКА САУ РЕАКТОРНОГО ПРОЦЕССА

Б.А. ТЕМИРБЕКОВ

Генеральный директор ТОО
Международный научный
журнал "АКАДЕМИК"



05.05.2025 г.

Республика Казахстан, г. Астана
www.journal-academic.com

ЕҢБЕКТЕР ЖИНАҒЫ

Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының
«ТАУ-КЕН МЕТАЛЛУРГИЯ САЛАСЫНДАҒЫ ТҰРАҚТЫ ДАМУ
ЖӘНЕ ЗАМАНАУИ КЕШЕНДІ, РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕЙТІН
ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАР»

22 қараша 2024 жылғы, Алматы

СБОРНИК ТРУДОВ

Международной научно-практической конференции
«УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ,
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ»

22 ноября 2024 года, Алматы

PROCEEDINGS

International Scientific and Practical Conference
« SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND MODERN INTEGRATED,
RESOURCE-SAVING AND ENERGY-INTENSIVE TECHNOLOGIES
IN THE MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY »

November 22, 2024, Almaty

Дүзбай Н.Б., Муханов Б.К. ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДА ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ХРОМОВОЙ РУДЫ.....	288
Кутняков Д.И., Ширяева О.И. РАЗРАБОТКА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОАГРЕГАТАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНО ПРЕДИКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ (МРС).....	291
Жандин С.В., Ширяева О.И. РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ (АДС) ПРОЦЕССАМИ НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	295
Кайрат А.А., Ширяева О.И. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ СЛОЖНЫХ (ММО) СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....	300
Свичкарь А.С., Ширяева О.И. РАЗРАБОТКА МНОГОМЕРНОЙ И МНОГОСВЯЗНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ.....	303
Шукенов Ж.Е., Омирбекова Ж.Ж. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ В УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОСЕТАМИ КАЗАХСТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РС КОНТРОЛЛЕРОВ.....	308
Калашев А.М., Омирбекова Ж.Ж. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ НАСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	311
Kereibekkyzy A., Omirbekova Z.Z. DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A PREDICTIVE DIAGNOSTIC SYSTEM FOR OPTIMIZING THE MANAGEMENT OF KAZAKHSTAN'S COMBINED HEAT AND POWER PLANTS.....	314
Жанғали Б.Д., Жусупбеков С.С. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ШАХТ.....	317
Хожамбергенова Ж.О., Жусупбеков С.С. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ГАЗОВ.....	323
Кумаргалиева А.А. РАЗРАБОТКА САУ РЕАКТОРНОГО ПРОЦЕССА.....	327
Орынбасаров Н.О., Абжапаров К.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА 6-СТЕПЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО СИМУЛЯТОРА ВЕЛОСИПЕДА.....	330
Ханкелдиева Г.Э., Абжапаров К.А. МОБИЛЬДІ РОБОТТЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАҒДАРЛАУ ЖҮЙЕСІ.....	334
Тукенов И.Е., Муратбеков М.М. ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА.....	339
Женисулы И.Ж., Абжанова Л.К. МЕТАЛЛУРГИЯ ӨНДІРІСІНДЕГІ ГАЗДАРДЫ ІРІКТЕУ ПРОЦЕСТЕРІН БАСҚАРУ.....	344

- 2 Котлер В. Р. Уголь и его роль в мировой электроэнергетике / В. Р. Котлер // Электр. станции. – 1999. – № 4. – С. 67–70.
- 3 ГОСТ Р 51707-2001. Электрофилтры. Требования безопасности и методы испытаний. – Введ. 29-01-2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.
- 4 Санаев, Ю. И. Электрофилтры: монтаж, наладка, испытание, эксплуатация / Ю. И. Санаев. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1984. – 25 с. – (Обзорная информация. Сер. ХМ-14).
- 5 Алиев Г.М.–А., Гоник А.Е. Электрооборудование и режимы питания электрофилтров. – М.: Энергия, 1971. – 204с., ил.
- 6 Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофилтрами. - М.: Химия, 1967. – 340 с
- 7 Чекалов Л.В., Ткаченко В.М. Пути интенсификации работы электрофилтров. Электрические станции – М.: 2005.
- 8 Ключев, А.С. Автоматизация настройки систем управления / А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин. - М.: Альянс, 2015. - 272 с.

РАЗРАБОТКА САУ РЕАКТОРНОГО ПРОЦЕССА

А.А. Кумаргалиева

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

Введение

Современные тенденции в области автоматизации и цифровизации технологических процессов направлены на обеспечение устойчивого развития и минимизацию воздействия на окружающую среду. Одним из ключевых направлений, где эти технологии находят свое применение, является ядерная энергетика. Благодаря использованию инновационных подходов в управлении, таких как автоматизация реакторных процессов, удастся не только повысить безопасность и надежность ядерных установок, но и сократить энергозатраты, минимизировать эксплуатационные риски и оптимизировать использование ресурсов [1, 2].

Разработка системы автоматического управления (САУ) реакторным процессом становится важным шагом на пути к достижению целей устойчивого развития. Эти цели включают снижение энергопотребления, повышение эффективности и интеграцию цифровых технологий, таких как моделирование, прогнозирование и адаптивное управление [3].

Одной из особенностей управления ядерными реакторами является сложность процесса, обусловленная необходимостью учета множества факторов: от поведения запаздывающих нейтронов до тепло гидравлических характеристик теплоносителя. Современные САУ, основанные на цифровых моделях, позволяют учитывать эти особенности, оперативно реагировать на изменения параметров системы и предотвращать аварийные ситуации [4].

Кроме того, внедрение таких технологий способствует реализации принципов ресурсосбережения. Например, применение компьютерного моделирования вместо экспериментальных исследований позволяет существенно снизить затраты на разработку новых систем управления [5]. Подобный подход делает ядерные технологии более конкурентоспособными и экономически выгодными, что особенно актуально в условиях глобальной конкуренции и стремления к снижению углеродного следа [6].

В рамках данной работы предлагается подход к разработке САУ реакторным процессом, основанный на использовании математического моделирования и современных алгоритмов управления. В работе представлены результаты анализа эффективности предложенной