

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

Хожамбергенова Жанар Олжаскызы

Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін зерттеу және әзірлеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М07101– 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 681.545

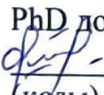
Қолжазба құқығында

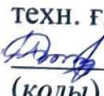
Хожамбергенова Жанар Олжаскызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін
зерттеу және әзірлеу
Дайындау бағыты 7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Ғылыми жетекші
техн. ғыл. канд. қауым. профессор
 Жусупбеков С.С.
(қолы)
«10» маусым 2025 ж.

Рецензент
PhD докторы, доцент
 Орақбаев Е.Ж.
(қолы)
«13» маусым 2025 ж.

Нормабақылаушы
техн. ғыл. магистрі
 Манатов Қ. А.
(қолы)
«13» 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 Хожамбергенова Ж.О

Тақырыбы «Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін зерттеу және әзірлеу
Жаутиков Б. 2023 жылғы «04» желтоқсан № 548-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі «19» июня 2025ж..

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Электр сүзгісінің электр режимын
басқару процестерінің анық емес модельін және нейрондық желілік модельін құру

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):

Электрофильтрдың автоматтандырудың функционалды схемасы.

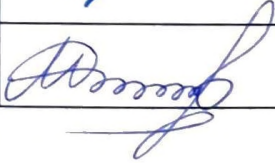
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

- 1) Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия 1967.-343с.
- 2) Левитов В.И. Дымовые электрофильтры. М.: Энергия. 1980.- 448с.
- 3) Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Металлургия. 1986.- 544с.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, зерттеп дайындалатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну нөмірлері	Ескерту
Технологиялық бөлім Электрофилтудың жұмыс принципін және оның процестерін сипаттау	01.02.2025 г.	
Технологиялық бөлім басқару жүйесінің құрылымдық схемасын әзірлеу	26.02.2025 г.	
Технологиялық бөлім Электрофилтудың басқаруды автоматтандырудың функционалды схемасын әзірлеу	15.03.2025 г.	
Есептеу бөлімі Газдарды электрлік тазарту технологиялық процесс және басқару объектісі ретінде талдау	02.04.2025 г.	
Есептеу бөлімі Электрофилтудың нейрондық жүйесін басқару алгоритмі мен бағдарламасын әзірлеу	30.04.2025 г.	

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	Жусупбеков С.С техн. ғыл. канд. қауым. профессор	10.06.25	
Есептік бөлім	Жусупбеков С.С техн. ғыл. канд. қауым. профессор	10.06.25	
Норма бақылаушы	Манатов Қ. А. техн. ғыл. магистрі	13.06.25	

Ғылыми жетекші

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Күні

 Жусупбеков С.С
қолы
 Хожамбергенова Ж.О
қолы

«20» желтоқсан 2023ж.

АНДАТПА

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан және қосымшадан тұрады. Жұмыс 75 беттен тұрады, 38 сурет, 5 кестеден тұрады.

Кілттік сөздер тізімі: бұлыңғыр жиын, нейрондық желі моделі, электрофилтр, беріліс функциясы, тұндырғыш электродтар, корона (разряд) электродтар, электр режимі.

Тақырыптың өзектілігі: Өнеркәсіптік газдарды тазартуды басқару жүйесін әзірлеу және құру өнеркәсіптік шығарындылардағы қоспалардың құрамын рұқсат етілген нормативтік деңгейлерге жеткізуді қамтамасыз етуі тиіс, бұл қоршаған ортаны қорғау мен атмосфералық ауаны шамадан тыс ластанудан қорғаудың маңызды талаптарының бірі болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения и приложения. Работа изложена на 75 страницах, содержит 38 рисунков, 5 таблиц.

Перечень ключевых нечеткое множество, нейросетевая модель, электрофилтр, передаточная функция, осадительные электроды, коронирующие (разрядные) электроды, электрический режим.

Актуальность темы: Разработка и создание системы управления очисткой промышленных газов должна обеспечить доведение содержания примесей в промышленных выбросах до допустимых нормативных уровней, что является одним из важнейших требований охраны окружающей и защиты атмосферного воздуха от чрезмерных загрязнений.

ABSTRACT

Structure and scope of work the dissertation consists of an introduction, 3 chapters, conclusion and appendix. The work is outlined on 75 pages, contains 38 figures, 5 tables.

List of key words: fuzzy set, neural network model, electrostatic precipitator, transfer function, precipitation electrodes, corona (discharge) electrodes, electric mode

The relevance of the research: The development and establishment of a control system for industrial gas purification should ensure that the content of impurities in industrial emissions is brought to acceptable regulatory levels, which is one of the most important requirements of environmental protection and protection of atmospheric air from excessive pollution.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1.	Газдарды электрлік тазарту технологиялық процесс және басқару объектісі ретінде	11
1.1	Процестің қысқаша сипаттамасы және оның ерекшеліктері	11
1.2	Электр сүзгілеріндегі кернеуді реттеу әдістері мен құрылғылары	15
1.3	Газдарды электрлік тазарту процесінің математикалық сипаттамасының қазіргі жағдайы	23
1.4	Басқару әдісін таңдау. Зерттеу міндетін қою	27
2.	Электр сүзгісінің электрлік режимін нейро-бұлыңғыр басқаруды дамыту	29
2.1	ЭФ электр режимімен анық емес реттеу жүйесін әзірлеу	31
2.2.	Бұлыңғыр реттегіштің параметрлерін реттеу моделін құру	37
2.3.	Нейрондық желіні дамыту	43
3.	Педагогикалық бөлім. MATLAB нейрондық реттегіштерінің синтезі.	49
3.1	Жалпы мәліметтер	49
3.2	Нейрондық желіні құру кезеңдері	50
3.3	Нейрондық желі болжамды модельдерге негізделген басқару	52
3.4	Эталондық модель бойынша адаптивті реттеу	55
3.5	Адаптивті NS реттегіші үшін анықтамалық модель құру.	56
3.6	Анықтамалық модельмен адаптивті басқарудың нейрондық желілік моделін құру	58
3.7	Жылжымалы орташа сызықтық емес авторегрессия реттегіші бар басқару жүйесінің нейрондық желілік моделін құру	62
3.8	Анықтамалық модельге негізделген нейрондық желі реттегіші бар автоматты басқару жүйесі	63
	Қорытынды	67
	Әдебиеттер тізімі	70
	А қосымшасы	72

КІРІСПЕ

Международдық климаттың өзгеруі жөніндегі сарапшылар тобының (МКӨСТ) Алтыншы бағалау есебіне сәйкес, антропогендік парниктік газдар шығарындылары адамзат тарихындағы ең жоғары деңгейге жетті, бұл жердің климаттық жүйесіне елеулі теріс әсерін тигізуде. Бұл экожүйелерге, инфрақұрылымға, адамдардың денсаулығы мен өміріне тікелей физикалық қауіптер мен қатерлер туғызады.

Күн энергетикасы мен басқа да жаңартылатын энергия көздері қарқынды дамып келе жатқанына қарамастан, әлемдегі электр энергиясын өндірудің басым бөлігі әлі де дәстүрлі өнеркәсіптік салалар арқылы жүзеге асырылады. Қазандықтар мен ЖЭС-тердің шығарындыларында негізгі ластаушы заттар – органикалық отынды жағу қалдықтары – күйе мен күл болып табылады. Отын түріне байланысты (тасты көмір, ағаш, тақтатаас көмірі, мазут, табиғи газ және т.б.), олардың шығарындылардағы мөлшері әртүрлі болуы мүмкін. Бұдан басқа, атмосфераға түрлі химиялық қосылыстар – күкірт пен азот оксидтері, фтор мен хлор қосылыстары, күкіртсутек, иіс газы және ауыр металдар бөлінеді.

Қазіргі уақытта жылу энергетикасы мен қоршаған орта арасындағы өзара байланыс қышқыл жаңбыр, парниктік әсер және атмосферадағы зиянды заттардың концентрациясының артуы сияқты мәселелерге байланысты жаңа маңызға ие болуда. Бұл факторлар тек адам денсаулығына кері әсер етіп қана қоймай, инфрақұрылым мен ғимараттардың бұзылу үдерісін де жылдамдатады. Алдағы уақытта жылу энергиясын пайдалану деңгейі айтарлықтай өседі деп күтілуде, бұл өз кезегінде қоршаған ортаға жағымсыз әсердің ұлғаюына әкелуі мүмкін.

Осы сын-тегеуріндерге жауап ретінде әлем елдері бұл мәселелерді шешу бойынша халықаралық міндеттемелер қабылдауда. 2025 жылдың 25 қыркүйегінде БҰҰ Бас Ассамблеясының отырысында «Әлемімізді өзгерту: 2030 жылға дейінгі тұрақты даму күн тәртібі» атты резолюция қабылданды. Бұл құжатқа сәйкес, БҰҰ-ның 193 мүше мемлекеті серіктестік пен бейбітшілік негізінде тұрақты, жан-жақты және кезең-кезеңмен экономикалық өсуді қамтамасыз етуге, әлеуметтік интеграция мен қоршаған ортаны қорғауға міндеттеме алды.

2015 жылдың желтоқсанында климаттың өзгеруіне бейімделу, «жасыл» экономиканы дамыту, алдыңғы қатарлы технологияларды беру және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету мақсатында Париж келісімі жасалды. Бұл келісімнің негізгі мақсаты – жаһандық жылынуды өнеркәсіптік кезеңге дейінгі деңгеймен салыстырғанда (1850–1900 жж.) 2°C-тан төмен деңгейде ұстау және оның өсуін 1,5°C-қа дейін шектеуге ұмтылу.

Осыған байланысты, Париж келісімін іске асыру мақсатында барлық қатысушы елдер әр бес жыл сайын климатқа қатысты өздерінің ұлттық іс-қимыл жоспарларын – ұлттық деңгейде айқындалатын үлестерді (ҰДАҰ) ұсынады. Сондай-ақ, ҰДАҰ үшін ұзақ мерзімді бағдарлар беретін төмен

көміртекті даму стратегиялары әзірленуде. Төмен көміртекті даму – жаһандық климаттың өзгеруінің апатты салдарын болдырмауға бағытталған тұрақты өсудің маңызды шарты.

2023 жылдың 2 ақпанындағы Қазақстан Республикасы Президентінің №121 Жарлығымен Қазақстан Республикасының 2060 жылға дейінгі көміртек бейтараптығына қол жеткізу стратегиясы бекітілді. Бұл құжатта шикізатты кешенді пайдалану, энергия ресурстарын үнемдеу және қоршаған ортаны қорғау арқылы өндіріс тиімділігін арттыруға ерекше назар аударылады.

Мұндай стратегиялардың басты мақсаты – парниктік газдар шығарындылары мен оларды табиғи сіңіргіштер арқылы сіңіру арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ету.

Қазіргі уақытта шаң-тозаңнан газ шығарындыларын тазартудың ең тиімді және кеңінен қолданылатын әдісі – құрғақ электр сүзгілерінде электрлік тазарту. Алайда, шаңмен ластанған ағындардың сандық және сапалық сипаттамаларының айтарлықтай ауытқуы шаң ұстау құрылғыларының технологиялық режимдеріне теріс әсер етіп, олардың тиімділігін төмендетеді. Сондықтан жылу энергетикалық қондырғылар мен өнеркәсіптік кәсіпорындарда түзілетін ластаушы заттардан газдарды тазарту мәселесі әлі де өзекті болып отыр.

Өнеркәсіптік газдарды шаңнан тазарту саласындағы ғылыми-техникалық деңгей едәуір дамыды, дегенмен атмосфераға шаң мен басқа да зиянды заттардың шығарындыларын одан әрі азайту қажеттілігі сақталуда.

Өнеркәсіптік газдарды шаңнан тазарту – экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және өндірістік процестердің энергия тиімділігін арттырудың негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Қазіргі заманғы өнеркәсіптік кәсіпорындар атмосфераға зиянды заттардың шығарындыларын азайтуға мәжбүр, бұл жоғары тиімділікке ие газдарды тазарту жүйелерін әзірлеу мен енгізуді талап етеді.

Өнеркәсіптік газдарды шаңнан тазартудың кеңінен қолданылатын әдістерінің бірі – шаң бөлшектерін тұндыру үшін электр өрісін пайдалануға негізделген электрофльтрация. Алайда, электрофилтрлерді кеңінен қолданғанына қарамастан, олардың тиімділігі газдардың химиялық құрамы, жабдықтың жұмыс режимдері және тазарту процесін басқару дәлдігі сияқты көптеген факторларға тәуелді.

Қазіргі уақытта өнеркәсіптік газдарды тазарту технологиялары автоматтандыруды арттыруға және технологиялық процестерді басқарудың зияткерлік жүйелерін енгізуге бағытталуда. Бұл жүйелерді өзгермелі пайдалану жағдайларына бейімдеу қажеттілігімен, сондай-ақ энергия тиімділігін арттыру және пайдалану шығындарын азайту талаптарымен байланысты.

Заманауи газ тазарту технологияларын талдау әдістерінің қатарында электрофльтрация процестерінің ерекшеліктері қарастырылады, сондай-ақ параметрлік белгісіздік жағдайында жұмыс істейтін көпөлшемді,

көпбайланысты жүйелерді синтездеу тәсілдері ұсынылады. Мұндай зерттеулер электрофилтрлердің жұмыс тиімділігін арттыруға және өнеркәсіптік шығарындылардың қоршаған ортаға теріс әсерін азайтуға бағытталған.

Осыған байланысты, шаңнан тазарту процесін басқарудың күрделі параметрлік өзара байланыстарын ескеріп, электрофилтрлердің жұмыс режимдерін оңтайландыруды қамтамасыз ететін интеллектуалдық басқару жүйелерін әзірлеу өзекті міндет болып отыр.

Өнеркәсіптік газдарды шаңнан тазарту процесін басқару жүйесі заманауи интеллектуалды басқару әдістерін қолдануға негізделген. Жүргізілген зерттеулер аясында өнеркәсіптік газдарды тазарту технологияларына талдау жасалды, электрлік тазарту процесінің ерекшеліктері қарастырылды, сондай-ақ, өзара байланыстарды өтеу әдістері мен бұлдыр реттеушілерді қолдана отырып, көпөлшемді басқару жүйелерін синтездеу ұсынылды. Зерттеу нәтижелері электрофилтрлердің жұмыс тиімділігін арттыруға және өнеркәсіптік шығарындылардың қоршаған ортаға кері әсерін азайтуға бағытталған.

1 ГАЗДАРДЫ ЭЛЕКТРЛІК ТАЗARTY – ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҮДЕРІС ЖӘНЕ БАСҚАРУ НЫСАНЫ

Өнеркәсіптік газдарды электрлік тазарту – әртүрлі өнеркәсіп салаларындағы отандық және шетелдік кәсіпорындарда газдардан қалқып жүрген бөлшектер мен тұмандарды алу үшін кеңінен қолданылатын, ең тиімді, әмбебап және таралған әдіс болып табылады.

Электрофильтрлер экономикалық тиімділігімен, газ ағындарының өнімділігі мен температурасының кең диапазонымен, ең төменгі гидравликалық кедергісімен ерекшеленеді. Олар атмосфералық қысымда, сондай-ақ одан жоғары және төмен қысымдарда жұмыс істеуге арналған және бөлшектердің 100-ден 0,01 мкм-ге дейінгі өлшемдерін ұстап қалуға қабілетті. Сонымен қатар, олар қышқылдарға, сілтілерге және басқа да агрессивті ортаға төзімді материалдардан жасалуы мүмкін.[1]

1.1 Процестің қысқаша сипаттамасы және оның ерекшеліктері

Өнеркәсіптік газдарды электрофильтрде электрлік тазарту процесінің мақсаты – қалқып жүрген (қатты) бөлшектерді зарядтау және оларды короналық разрядтың біртекті емес электр өрісінің әсерімен электродтарға тұндыру арқылы ұстап қалу болып табылады.

Шаңданған газ ағындарын электрлік тазарту қондырғысы электрофильтрден және жоғары вольтты қоректендіру агрегатынан тұрады (1.1 - сурет).

Өнеркәсіптік газдарды электрлік тазарту тәжірибесінде көп өрісті горизонтальды пластиналық электрофильтрлер қолданылады. Электрофильтрдің электр өрістері құрылымдық тұрғыдан орнатылған тәуелсіз бөліктерді білдіреді және бір корпуста біріктірілген бірқатар аппараттар жиынтығы ретінде қарастырылады (1.2 - сурет).

Электрофильтр өрісі тұндырушы және короналауыш электродтардың кезектесіп орналасқан қатарларынан тұрады. Бұл қатарлар секциялардың арасындағы электрод аралық қашықтықты қалыптастырады және бірдей физикалық процестермен сипатталады. Әрбір өріс параллель жұмыс істейтін секциялар қатарына бөлінеді, олардың саны: $n=2a$ (a – короналауыш электродтардың қатар саны) Секциялардағы электродтардағы кернеу өріс қоректендіруінің кернеуіне тең U . Тазартуға түсетін газдардың әрбір аралыққа бөлінген мөлшері:

$$G_n = G/n \quad (1.1)$$

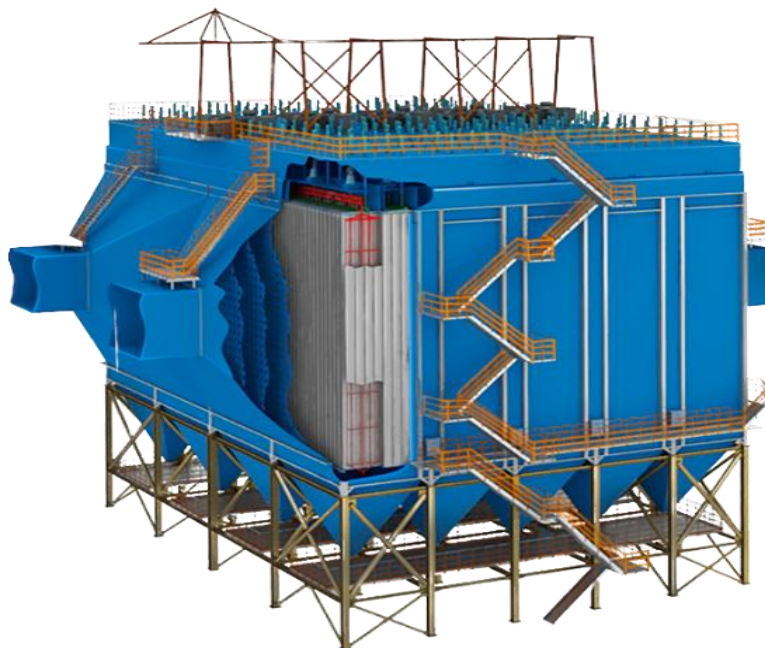
Мұндағы (G —өріске түсетін газдардың жалпы көлемі, m^3)

Әр секциядағы газдардың шаңдануы өріске кіретін газдардың бастапқы шаңдануына тең.

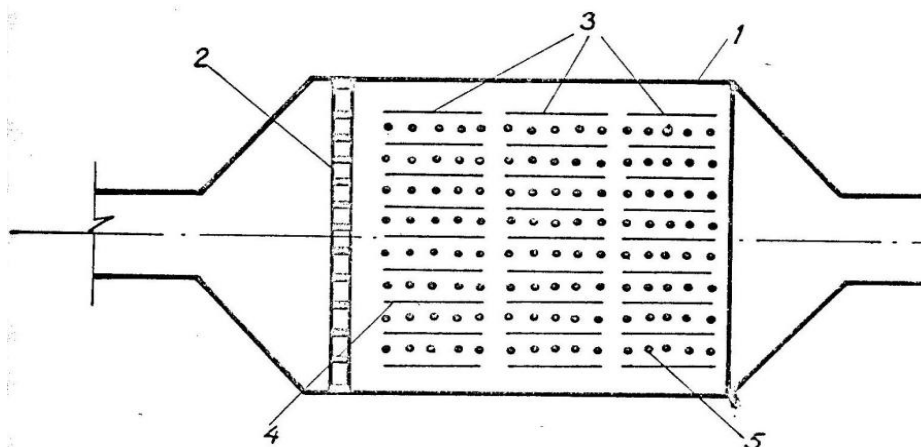
Электрофильтрдің кіреберісінде газ ағынын аппараттың белсенді аймағына біркелкі тарату үшін газ таратқыш торлар орнатылады (1.1- 1.2 суреттер) [2].

Электрофильтр өрістерінің қоректенуі жоғары кернеулі түзетілген ток арқылы электрлік қоректендіру агрегаттарының көмегімен жүзеге асырылады (1.3 - сурет). Бұл агрегаттың негізгі элементтері: 380/220 В айнымалы токты 100 кВ-қа дейінгі кернеуге түрлендіретін трансформатор 1, жоғары кернеулі түзеткіш 2 және басқару құрылғысы 4 [3].

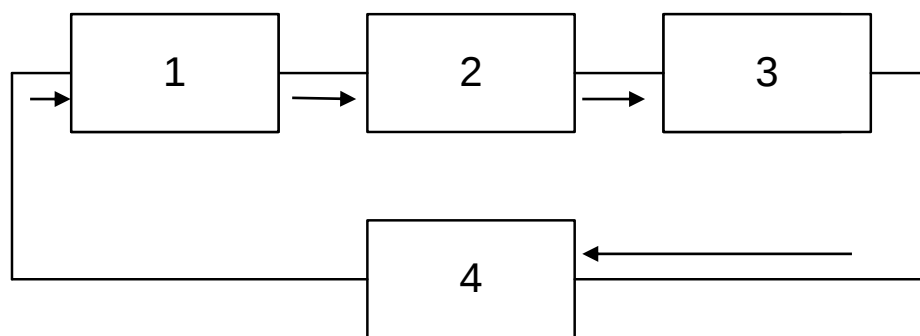
Жоғары кернеулі ток электродтарға берілген кезде электрофильтр өрісіндегі электрод аралық кеңістікте короналық разряд пайда болады. Бұл разряд біртекті емес электр өрісін тудырады, оның кернеулігі қоректендіру кернеуінің шамасын өзгерту арқылы реттеледі.



1.1-сурет - Электрофильтр



1.2-сурет - Электрофильтрдің өрістері мен электродтарының орналасуы 1 – Электрофильтрдің корпусы 2 – Газ таратқыш тор 3 – Электр өрістері 4 – Тұндырушы электродтар 5 – Короналауыш электродтар



1.3-сурет - Электрофильтр-қоректендіру агрегаты жүйесі
1 – Жоғары кернеу көзі 2 – Түзеткіш 3 – Электрофильтр 4 – Басқару құрылғысы

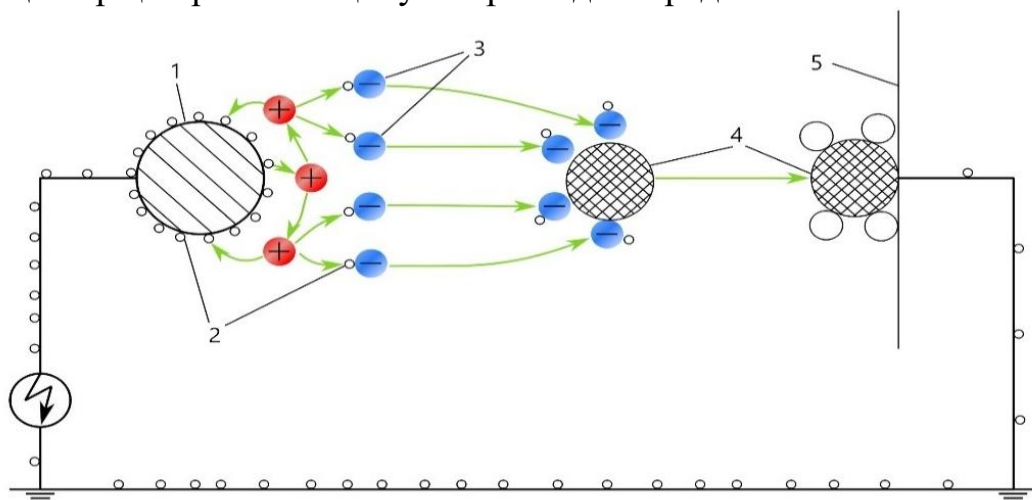
Короналауыш электродқа жақын орналасқан тар аймақта оң және теріс иондардың түзілу процестері жүреді. Электр өрісінің әсерімен оң иондар короналауыш электродқа, ал теріс иондар тұндырушы электродқа қарай қозғалады.

Газ ағынындағы қалқып жүрген бөлшектер иондармен зарядталып, электр өрісінің күштері әсерінен электродтарға қарай қозғалады және соларға тұнады (1.4- сурет). Тазартылған газдар электрофильтрден шығарылады. Электродтар периодты түрде сілкіндіріледі, нәтижесінде тұнған шаң қабаты бұзылып, бункерге құлайды, ол жерден оны мезгіл-мезгіл шығарып отырады. Электрофильтрдің жұмыс тиімділігінің негізгі көрсеткіші – газды тазарту дәрежесі (ПӘК немесе шаң ұстау коэффициенті). Оған көптеген факторлар әсер етеді: электр өрісінің кернеуі, температура, газдың жылдамдығы, газдың шандану деңгейі және шаңның қасиеттері.

Металлургиялық газдарды электрофильтрлерде электрлік тазарту процесінің қысқаша сипаттамасы осы технологиялық процестің басқару нысаны ретіндегі келесі ерекшеліктерін атап көрсетуге мүмкіндік береді: Кіріс материалдық ағын – бұл өнеркәсіптік агрегаттардан тазартуға үздіксіз келіп түсетін шанданған газ ағыны, ал шығыс ағындар – тазартылған газ ағыны мен бункерлерден мезгіл-мезгіл шығарылатын шаң. Бұл ретте, шаң және бу бөлшектері бар газдар электрофильтр өрістерінің бірінен соң бірі орналасқан камералары арқылы өтеді.

Электр өрісінің әсерімен газдардың иондалуы, бөлшектердің зарядталуы және олардың электродтарға тұнуы процестері үздіксіз жүреді. Тұндырушы және короналауыш электродтарды сілкіндіру тәжірибеде кернеуді ажыратпай және газдардың берілуін тоқтатпай жүзеге асырылады [4].

Электрофильтрде жүретін процестердің үздіксіздігі және өрістердің бірізді орналасуы өнеркәсіптік газдарды электрлік тазарту процесін үздіксіз процестер қатарына жатқызуға мүмкіндік береді.



1.4-сурет - Электрофильтрдегі иондардың түзілуі, бөлшектердің зарядталуы және тұну механизмі: 1 – Короналауыш электрод; 2 – Электроны; 3 – Ионы; 4 – Шан бөлшектері; 5 – Тұндырушы электрод

2. Зарядталу, қозғалыс және қалқып жүрген бөлшектердің тұну процестерін анықтайтын негізгі шаманың бірі – электрофильтрдің электродтар арасындағы кеңістігіндегі біркелкі емес электр өрісінің кернеулігі болып табылады. Бұл кернеулік электродтар арасындағы арақашықтыққа, қолданылған кернеудің шамасына және корона тогының күшіне сызықты емес түрде тәуелді. Корона тогы өз кезегінде газ ағынының технологиялық параметрлеріне – температурасына, қысымына, ылғалдылығына, жылдамдығына, газдың қасиеттеріне, шан бөлшектерінің концентрациясына, дисперстілігіне және құрамына сызықты емес түрде тәуелді. Сонымен қатар, корона разрядының вольтамперлік сипаттамасының сызықты емес екендігін атап өту керек. Мұның бәрі газдарды электрлік тазарту процестерін сызықты емес, көпөлшемді процестер класына жатқызуға мүмкіндік береді.

3. Газ ағынының мөлшерлік және сапалық сипаттамаларының кездейсоқ тербелістері, электрлік режимдердің өзгеруі, сүзгі сипаттамаларының дрейфі электрофильтрдегі шанды ұстау процесінің стохастикалық және стационарлы емес сипатын анықтайды.

Бұл жағдайлар, сонымен қатар газ ағындарының шаңдалу деңгейі мен ылғалдылығы, химиялық құрамы, дисперстілігі және шанның арнайы электрлік өткізгіштігін өлшейтін сенсорлардың жоқтығы электрлік тазарту процесін толық емес ақпаратпен басқарылатын объект ретінде сипаттайды.

Осылайша, шаңдалған газ ағындарын электрлік тазарту процесі басқару объектісі ретінде сызықты емес, көпөлшемді, стохастикалық сипаттағы, сыртқы және ішкі әсерлердің жоғары деңгейіне ұшырайтын, шанды газ ағынының құрамымен және қасиеттерімен толық ақпараттың

жоқтығына және кіріс пен шығыс шамалардың тығыз өзара байланысына ие процесс болып табылады.

Сонымен қатар, электрофильтрдегі корона разряды тұрақсыз физикалық процестерге жатады. Электродтардағы кернеу артқан сайын корона тогы көбейіп, электродтар арасындағы кеңістіктегі электр өрісінің кернеулігі артады. Белгілі бір кернеу шамасында электродтар арасындағы газаралық өткізгіштік найзағайлық, кейінірек доға разрядтарымен бұзылады (электродтар арасындағы кеңістік пробойы болады), бұл газдарды электрлік тазарту процесінің нашарлауына әкеледі.

Мелкие аэрозоль бөлшектері көп болатын газдарды электрофильтрде тазарту кезінде коронаның "құлыпталу" процесі орын алады, бұл корона тогының шамасының дерлік нөлге дейін төмендеуіне және тазарту тиімділігінің нашарлауына себеп болады.

Сонымен қатар, электрофильтрде кері короналану процестері пайда болуы мүмкін, ол тұндырушы электродтардан оң иондардың короналауыш электродтарға қарай қозғалуымен бірге жүреді. Бұл кезде теріс иондар мен шаң бөлшектері ішінара бейтарапталады да, тұндырушы электродтардан шаң айдалады, нәтижесінде разряд аралығының пробойлық беріктігі төмендейді, электрофильтрдің жұмыс кернеуі азаяды.

Сондықтан газдарды тиімді тазарту үшін электрофильтрдің оңтайлы жұмыс кернеуін ұстап тұру белгілі қиындықтарға тап болады (2).

Электрлік газ тазарту процесінің аталған ерекшеліктері шаңды ұстау процестерінің жүргізу шарттарына қатаң талаптар қояды, сонымен қатар автоматты басқару жүйесін синтездеу міндеттеріне де әсер етеді.

Қазіргі уақытта электрлік газ тазарту процесі технолог және ауысым операторларының субъективті талдауына негізделіп басқарылады, бұл процесс жағдайын бағалауға және электрлік режимді таңдауға негізделеді, алайда бұл режим әрқашан технологиялық регламентпен талап етілетін газды тазарту деңгейін қамтамасыз ете бермейді.

Осылайша, электрофильтрді басқару жүйесі газды тиімді тазарту режимін қамтамасыз етіп, ірі найзағайлық және доға разрядтарының авариялық режимдеріне жол бермеуі тиіс. Сондай-ақ, короналауыш электродтардың үзілуіне, газ тазартудың нашарлауына және электрофильтрдің тиімділігін төмендететін кері короналану мен коронаның құлыпталу сияқты критикалық режимдерге жол бермеуі қажет.

1.2 Электрофильтрлердегі кернеуді реттеу әдістері мен құрылғылары

Электрлік газдарды тазалау процесінің басқару объектісі ретінде талдауынан электрофильтрлер күрделі, сызықтық емес және уақыт бойынша тұрақсыз басқару объектілеріне жататыны анықталады. Газдарды электрлік тазалау процесін басқару объектісі ретінде зерттеудің

мақсаты – шанды ұстап қалу процесінің барысын анықтайтын негізгі физикалық параметрлерді табу, олардың автоматты бақылау мүмкіндіктері мен қажеттіліктерін анықтау, сондай-ақ процесс параметрлерінің сапалық және сандық өзара байланысын зерттеу.

Газдарды сүзу процесі көптеген өзара байланысты факторлармен сипатталады, оларды кіріс, жұмыс режимі және шығыс параметрлері ретінде жүйелеу әдебиеттер, өндірістік тәжірибе және электрофилтрлердің зертханалық және өндірістік жағдайдағы эксперименттері негізінде жүргізілген.

Шанды ұстап қалу процесінің кіріс координаталарына кіретіндер: кіріс газ ағынының сапалық және сандық көрсеткіштері, электрофилтр өрістерінің электрлік режимдері ($\bar{U}, \bar{X}$), сондай-ақ объектіге әсер ететін возмущениялар (F).

Жұмыс режимінің айнымалылары ($\bar{Z}$) – агрегаттағы физикалық түрленістер өтетін жағдайларды анықтайтын көрсеткіштер. Бұл параметрлердің бұзылуы көбінесе процестің шығу көрсеткіштерінің нашарлауына әкеледі.

Шығыс айнымалылар ($\bar{Y}$) – тазартылған газдың сапалық және сандық көрсеткіштері, олар электрофилтрдің жалпы жұмысын сипаттайды.

Электрофилтрдегі күрделі физикалық процестердің өзара байланысының күрделілігі, кейбір параметрлердің (шанның мөлшері, дисперстілігі, химиялық құрамы) сенімді бақылау құралдарының болмауы, көптеген бақылаусыз возмущениялардың және басқару әсерлерінің аз болуы бұл процестерді басқару жүйесін құруды айтарлықтай қиындатады.

Электрлік тазалау процестерін басқару жүйелерін әзірлеудің ерте кезеңдерінде автоматтандыру мәселелері электрофилтр өрістерін басқару үшін реттелетін электр агрегаттарын жасау, электродтарды дірілдету үшін релейлік құрылғыларды енгізу және шанды газдарды өңдеу әдістерін әзірлеу арқылы шешілген.

Электрофилтрлердің жұмыс режимін интенсификациялауға газ тазалау процестерін теориялық зерттеулер де үлкен үлес қосқан.

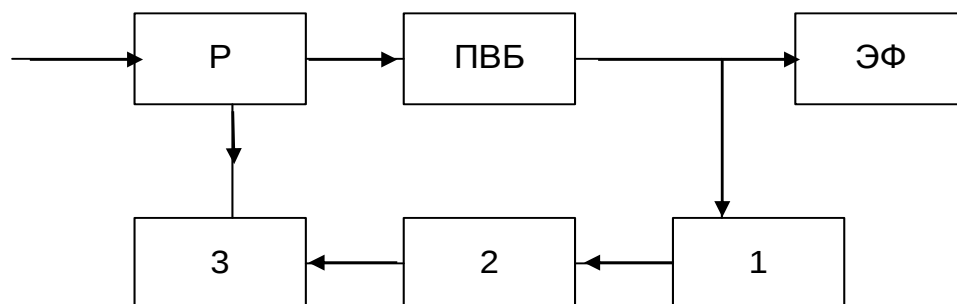
Автоматты реттеу бірнеше әдістері әзірленді, олардың ішінде ең кең таралғандары: берілген ток бойынша, филтрдегі доға үзілуі бойынша (периодтық реттеу принципі), электрофилтрдегі жарқыл саны бойынша (жарқыл принципі), короналық разрядтың максималды қуаты бойынша және электродтардағы орташа максималды кернеу бойынша (экстремалды реттеу принципі).

Автоматтандыру газ тазалау техникасына 1950 жылдардың басында енгізілді. Электрофилтрлерді автоматтандыру жолындағы алғашқы қадамдардың бірі – кернеудің полярлығын автоматты таңдау және пробойдан кейін автоматты қайта қосу (АПВ) жүйесін енгізу болды. Электрофилтрлердің әртүрлі өнеркәсіп салаларында қолданылуы кеңейген сайын, олардың өндірістік тәжірибесі жинақталып, автоматтандыру құралдары дамып, кернеуді автоматты реттеу әдістері жетілдірілді.

Кернеу немесе ток бойынша реттеу кезінде басқару жүйесі осы параметрлердің бірін берілген деңгейде ұстайды (тұрақтандырады). Басқару жүйесінің блок-схемасы 1.5-суретте көрсетілген. Агрегат көбінесе пробой кернеуінен төмен аймақта жұмыс істейді, ол әртүрлі технологиялық факторлардың әсерінен айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Пробой кернеуіне әсер ететін факторлардың бірі – қоректендіретін кернеудің пішіні мен екінші кернеудің пульсациялары. Осылайша, бұл реттеу әдісі электрофильтрдегі процестердің тұрақсыздығын есепке алмайды, сондықтан оның тиімділігі төмен болады.

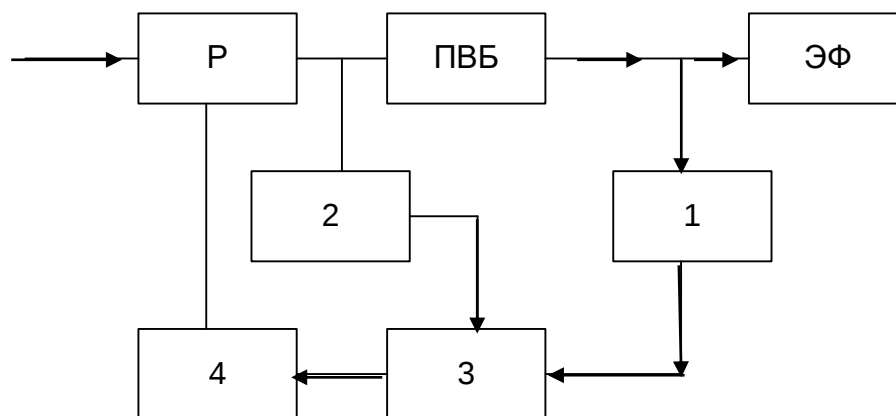
Электрофильтрдегі кернеуді доға үзілуі бойынша реттеу кезінде автоматты басқару жүйесі (1.6-сурет) кернеуді пробой алдындағы деңгейде ұстайды. Бұл кернеудің өзгеретін пробой деңгейін зондтау үшін байланыс құрылғысы белгілеген уақыт аралығында кернеуді көтеру арқылы жүзеге асады. Пробойдан кейін максималды ток релесі (1) және максималды кернеу релесі (2) кері байланыс құрылғысына (3) сигнал береді да, кернеуді тез төмендетіп, кейін оны пробойдан 3-5% төмен деңгейде ұстайды. Агрегат осы деңгейде бірнеше минут жұмыс істейді, содан кейін жаңа разряд пайда болғанға дейін кернеуді қайтадан баяу көтереді.

1.7-суретте кернеуді реттеу жүйесінің жұмыс принципі схема түрінде көрсетілген. Осы реттеу принципі бойынша, Қазақстандағы өнеркәсіпте АФАС және АРС сериялы агрегаттар шығарылады. Шетелдік агрегаттардан «Сименс-Лурги» және «Симон-Карвз» электроагрегаттары осы жүйелер бойынша жұмыс істейді.



1.5 сурет - Берілген кернеу немесе ток бойынша реттеу жүйесінің блок-схемасы

Р – кернеу реттегіші; ПВБ – жоғары кернеу көзі; 1 – датчик; 2 – салыстыру құрылғысы; 3 – басқару құрылғысы.

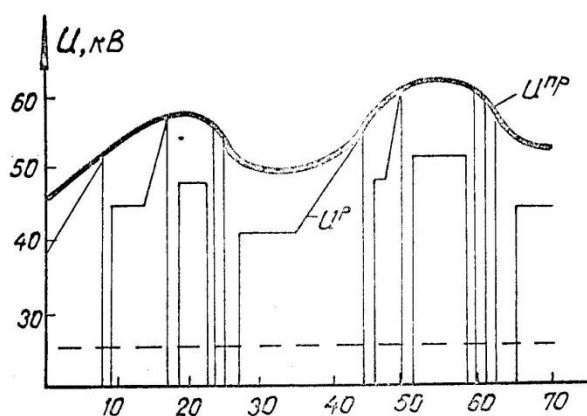


1.6-сурет - Электрофильтрдегі доға пробойы бойынша реттеу жүйесінің блок-схемасы

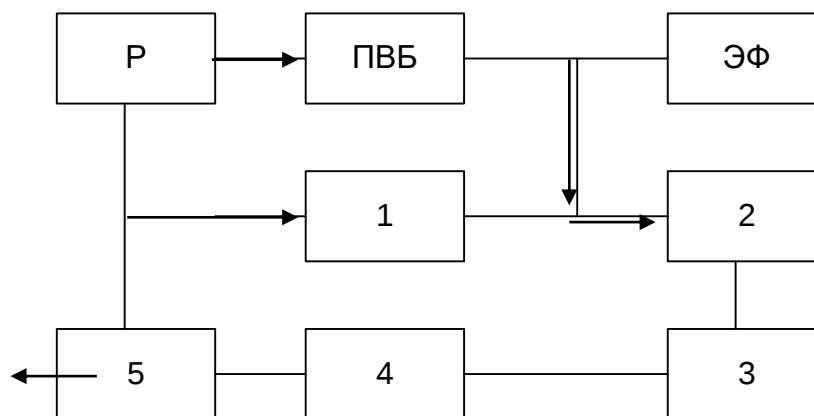
1 – максималды ток релесі; 2 – кернеу релесі; 3 – кері байланыс құрылғысы; 4 – басқару құрылғысы.

Электрофильтрдегі жарықшақ разрядтарының жиілігіне (санына) автоматты реттеу жүйесі тұрақты әрі тиімді жұмыс режимін қамтамасыз етеді. Зерттеулер көрсеткендей, электрофильтрдегі жарықшақ разрядтарының санына байланысты анықталатын оптималды кернеу үлкен диапозонда ауытқиды және электродтардағы кернеудің экспоненциалды функциясы болып табылады, ал газдарды тазалаудың дәрежесі осы жиіліктің белгілі бір функциясы ретінде қарастырылады (3,18).

Жарықшақтар болмаған жағдайда электрофильтрдегі орташа кернеу бастапқы кернеу ұлғайған сайын артады. Алайда жарықшақтар пайда болған кезде электрофильтрдегі уақыт бойынша орташа кернеу максималды мәнге жетеді, содан кейін жарықшақ разрядтарындағы шығындардың артуы берілетін қуаттың ұлғаюынан асып кеткен кезде төмендейді. Кернеуді әрі қарай арттыру (оптималды мәнден жоғары) жарықшақ разрядтарындағы шығындардың ұлғаюына байланысты әсерін бермейді.



1.7-сурет - Электрофильтрдегі кернеуді доға сынауы бойынша реттеу кезінде кернеудің өзгеру сипаттамасы

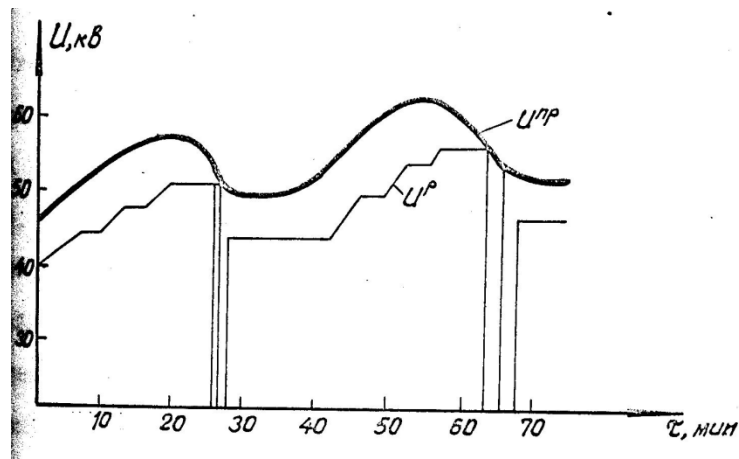


1.8-сурет - Электродтардағы жарқыл разрядтарының саны бойынша реттеу жүйесінің блок-схемасы; 1 – салыстыру құрылғысы; 2 – пробой датчигі; 3 – интегралдаушы кері байланыс құрылғысы; 5 – басқару құрылғысы.

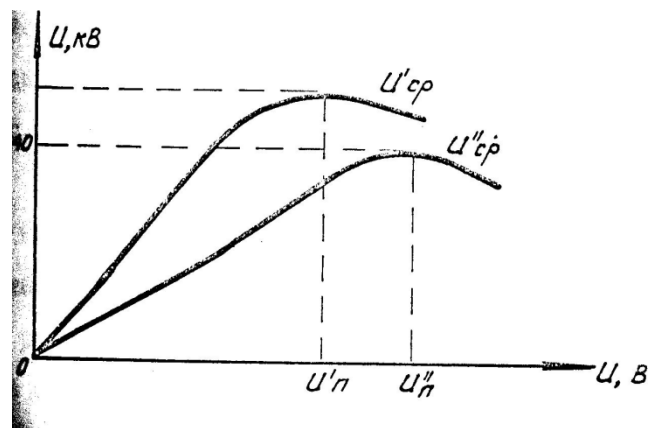
Егер берілген кернеудің шамасы дуға разряды пайда болатын деңгейде болса, онда энергия дуға түзілуіне жұмсалады, бұл короналық разрядты қалыптастыруға кететін энергияның үлесін азайтады, ол газды ең тиімді иондандырады [3]. 1.8-суретте АИФ (АУФ) сериялы агрегаттың жарқыл жиілігі бойынша автоматты реттеу блок-схемасы көрсетілген.

Пробой датчигі 2 электрофильтрдегі әрбір пробой кезінде сигналдар шығарады, олар интегралдаушы құрылғыға 3 түседі. Интегратордан алынған сигнал, жарқыл жиілігіне пропорционал, кері байланыс құрылғысында 4 берілген пробой санымен салыстырылады, ал сәйкессіздік сигналы басқару құрылғысы 5 арқылы агрегаттың реттегіш органы Р-ға әсер етеді. Автоматты реттеу схемасында берілген токты тұрақтандыру мүмкіндігі де қарастырылған. Электрофильтрдегі жарқыл разрядтарының саны бойынша кернеуді реттеудің типтік графигі 1.9-суретте берілген.

Осылайша, егер агрегат орташа кернеудің максимумына сәйкес келетін жарқыл разрядтарының жиілігін ұстап тұрса, онда берілген агрегаттан нақты фильтрді басқару кезінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізіледі.



1.9-сурет - Электрофильтрдегі жарқыл разрядтарының жиілігі бойынша реттеу кезінде кернеудің өзгеру сипаты.



1.10 сурет - Электрофильтрдегі орташа кернеудің бастапқы қуат көзі кернеуіне тәуелділігі екі технологиялық режимде

Алайда, оптималды ұшқын жиілігі кең ауқымда ауытқиды, себебі разрядтардың қуаты қоректендіретін агрегат пен тазаланатын газдың көптеген параметрлеріне байланысты анықталады. Осыған байланысты реттеуде қателіктер туындауы мүмкін. [2]

Кейбір жүйелерде ұшқын разрядтарының қуаты ескеріледі. Мысалы, (3) жүйесінде ұшқын жиілігі мүлде шектелмейді, бірақ әр ұшқын әрекет еткен сәтте болатын шығындар есепке алынады. Мұндай агрегат аз қуатты көп искраларды және жоғары қуатты аз ұшқындарды ұстап тұрады. Осыған байланысты реттеу жүйесін алдын ала агрегаттың қуат тізбегінің параметрлері бойынша баптау мүмкін болады. ұшқын жиілігін тұрақтандыру жүйесінен айырмашылығы, мұндай жүйелер тазаланатын газдың физикалық қасиеттері үлкен өзгергенде қателікке аз ұшырайды. Бұл реттеу әдісі АТФ сериялы түрлендіргіш агрегаттарының негізі ретінде алынған.

Электрофильтрдің электродтарындағы орташа максималды кернеуге негізделген реттеу принципі бастапқы кернеу (көтергіш трансформатордан) мен электродтардағы кернеудің типтік тәуелділігін қолдануға негізделген (1.10- сурет).

Ұшқын разрядтарының жиілігі бойынша автоматты реттеу жүйесінен айырмашылығы, осы реттеу жүйесінде искра разрядтарының қуаты мен ұзақтығы есепке алынады, ал олардың оңтайлы саны қажет емес. Практика көрсеткендей, электрофильтрдің жұмыс барысында ұшқын разрядтарының оңтайлы саны технологиялық режимдер мен электрофильтрдің жағдайына байланысты кең ауқымда өзгереді.

1.11- суретте электрофильтрдің электродтарындағы орташа кернеудің экстремумы бойынша автоматты реттеу жүйесінің блок-схемасы берілген. Экстремум детекторы Х және искра детекторы 1 арқылы 3 құрылғысына басқару сигналдары жіберіледі, олар агрегаттың реттегішіне әсер етеді. Кернеуді автоматты реттеу графигі сурет 1.10-дағы графикке ұқсас, тек $[Ц'_{cp}$ мен $Ц''_{cp}]$ арасындағы айырмашылық әлдеқайда аз [2].

Жұмыста (6,7) статикалық математикалық модельге негізделген ылғалды электрофильтрдің жұмыс кернеуін автоматты басқару жүйесі әзірленген.

$$Ц^{пр} = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (1.2)$$

мұндағы $a_i (i=1,2,...,n)$ - математикалық моделдің параметрлері;

x_i - Өндірістік процестің айнымалылары;

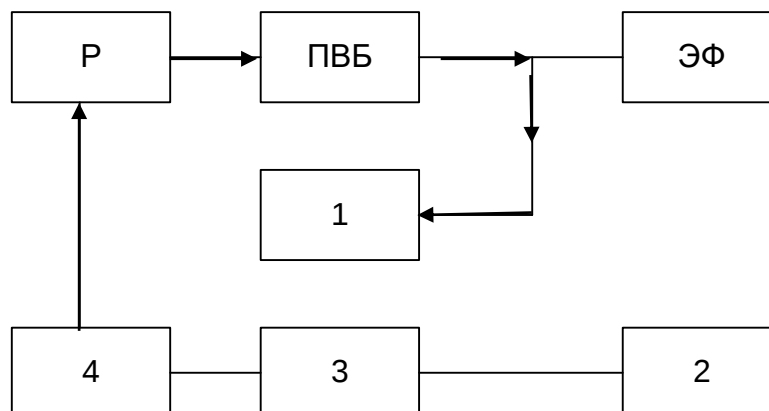
$Ц^{пр}$ - Электрофильтр электродтарындағы үзіліс кернеуіне сәйкес келетін кернеу.

Математикалық модель параметрлері итерациялық процедура арқылы объектіні идентификациялау мәселесін шешу арқылы реттеледі. Электрофильтрдің кернеуін реттеудің қарастырылған барлық әдістерінің кемшілігі — жұмыс кернеуін мүмкіндігінше жоғары деңгейде ұстап тұруға ұмтылыс, ол нәтиже ретінде ұшқынның үнемі шығатын қалыпты жұмыс режиміне айналуына әкеледі. Алайда, электрлік газды тазалау құрылғылары осындай режимде жұмыс істегенде, қорек көзі агрегаттарының тұрақсыз жұмысына, корона электродтарының қызып кетуіне және жоғары кернеулі кабельдің үзілуіне себеп болады [18].

Өнеркәсіптік газдарды электрлік тазалау процестерін зерттеулер көрсеткендей, электрофильтрлердің тиімділігін арттыру мақсатында, әдетте, электр өрістерінің кернеулігінің ең жоғарғы рұқсат етілген мәнін қамтамасыз етуге тырысады. Бұл АФАС, АИФ, АУФ және АТФ сериялы қорек беру агрегаттарының ұшқындық разрядтардың тұрақсыз аймағында жұмыс істеу қажеттілігін туғызады.

Өнеркәсіптік зерттеулер көрсеткендей, өнеркәсіптік агрегаттардан бөлінетін газдардың көлемінің айтарлықтай ауытқуы (жалпы газдардың 40-80%-ға дейін), температураның (180°C -тен 450°C -қа дейін), шаң мөлшерінің (25 г/м^3 дейін), күкірт ангидридін мөлшерінің (2-ден 8% аралығында абсолютті) және ұсталған шаңдардың физика-химиялық қасиеттерінің (химиялық және фракциялық құрамы, нақты электрлік кедергісі) әсерінен

пробой кернеуінің деңгейі күрт төмендеуі мүмкін, бұл ұшқын разрядының апатты доға разрядына өтуіне оңай әкеледі. Осыған байланысты электрофильтрде бірнеше мың ұшқын разрядтарының минутына жиілігімен пайда болу ықтималдығы артады, бұл корона электродтарының қызып кетуіне және апатты жағдайларға әкеледі (18).



1.11-сурет - Электрофильтр электродтарындағы орташа кернеудің экстремумі бойынша автоматты реттеу жүйесінің блок-схемасы

1 – ұшқын датчигі; 2 – экстремум детекторы; 3 – кері байланыс құрылғысы; 4 – басқару құрылғысы.

Электрофильтрдегі пробойлық кернеудің өзгеруі кездейсоқ сипатқа ие болып, ұшқын және доға разрядтарымен анықталады. Осы разрядтардың болуы электродтардың өзін-өзі себелеуіне алып келеді, бұл шаңның екінші рет шығуына ықпал етеді, сондай-ақ осы разрядтарға электр энергиясының жоғалуына себеп болады. Ұшқын саны аз болған кезде, олардың себелеу режиміне әсері үлкен болмайды және пробой жиілігі мен қолданылған кернеу арасындағы экспоненциалды тәуелділік байқалады [18].

Сонымен қатар, кері корона кезінде кернеуді максималды деңгейге дейін көтеру газдарды тазалау тиімділігі шарттарына сәйкес келмейді. Кері коронаның қарқындылығы артқан сайын (қолданылатын кернеу ұлғайғанда) оң көлемдік зарядтың теріс зарядтан асып түсетін аймағы ұлғаяды, бұл корона электродымен жасалады. Нәтижесінде бөлшектердің шекті заряды төмендейді және олардың толық қайта зарядталуы мүмкін, бұл электрофильтрдің тиімділігінің төмендеуіне алып келеді. Ең жақсы әдіс – тікелей тазалау дәрежесіне немесе электрофильтрден шыққан шаңның құрамына сәйкес реттеу болар еді. Алайда қазіргі уақытта тазалау дәрежесін өлшей алатын нақты және сенімді құралдар жоқ.

Осылайша, электрофильтрлерде қолданылатын кернеуді реттеу жүйелері ұшқындық пробой режимінде автономды жұмыс істейді, олардың жиілігі мен қуаты электродтардағы кернеу артқан сайын өседі, бұл авариялық жағдайларға (доға пробойы), корона электродтарының үзілуіне, шаңның екінші рет шығарылуына, қуат агрегаттарының тұрақсыз жұмысына,

электр энергиясының жоғалуына әкеледі және коронаның және кері коронаның «кұлыпталуын» жоймайды, бұл электрофилтрлердің тиімділігін айтарлықтай төмендетеді.

Электрофилтрді басқару жүйесінде УВМ-ны (ұсақ есептеу машинасын) қолдану тиімді деп саналады, ол процестің кең ауқымды тікелей және жанама ақпараттарын қабылдап, өңдеуге және оңтайлы басқару әсерлерін қалыптастыруға мүмкіндік береді. Мұндай басқару жүйесі иерархиялық принципке негізделіп, жоғарғы деңгейде микропроцессорларды (МП) қолдануы тиіс. Осы жағдайда қуат агрегаттары, төменгі деңгейдегі техникалық басқару құралдары микропроцессорлармен бірге де, тәуелсіз де жұмыс істей алады, бұл иерархияның жоғарғы деңгейі істен шыққан жағдайда жүйенің негізгі функцияларын сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, мұндай схема бойынша жоғарғы деңгей технологиялық процестің жеке айнымалыларын басқаратын төменгі деңгейдегі локальды жүйелерге тапсырмалар береді [2].

1.3 Газдарды электрлік тазалау процесін математикалық сипаттаудың қазіргі жағдайы

Газдарды тазалау процесін автоматтандырылған басқару жүйелерін құрудың маңызды кезеңдерінің бірі – процестің математикалық модельдеуін жасау болып табылады. Қазіргі жұмыста математикалық модельдеу әдісі басқару объектісінің эксперименттік зерттеу кезеңінде және басқару алгоритмі мен жүйесін синтездеу кезеңінде қолданылады. Осыған байланысты технологиялық процестердің математикалық сипатталуына әртүрлі тәсілдер қарастырылып, газдарды электрлік тазалау процесінің ерекшеліктерін және әдістерін талдау негізінде басқару объектісінің математикалық сипаттамасының әдісі таңдалады.

Математикалық модельдерді алу тәсілі бойынша келесі топтарға бөлуге болады: эксперименттік-статистикалық, аналитикалық, эксперименттік-аналитикалық модельдер [5].

Эксперименттік-статистикалық модельдер объектінің статистикалық және динамикалық қасиеттерін сипаттайды және объект параметрлерінің жинақталуы, оның динамикалық және статикалық сипаттамаларының уақыт бойынша өзгермеуі туралы болжамға негізделеді. Бұл болжамдарды қабылдау арқылы бақылауға алынатын процестерді дифференциалдық теңдеулер мен алгебралық тәуелділіктер арқылы салыстырмалы түрде қарапайым сипаттауға болады. Бұл мақсатқа арналған әдістерге корреляциялық талдау әдісі, ең кіші квадраттар әдісі, үлгілерді тану әдістері жатады.

Алдын ала ақпараттың толық немесе ішінара болмауы жағдайында модель операторының оңтайлы құрылымын іздестіру әдістері кең таралған, олар бақылау функцияларының шығындарын ретті азайту арқылы жүзеге

асады. Бұл әдістер ықтималдық итерациялық алгоритмдері арқылы іске асырылады.

Объект туралы алдын ала білім әдетте ортаның сипаттамасындағы белгісіздікпен және объектінің толық емес физикалық моделімен шектеледі. Егер де жүйенің әрбір элементар ұяшығының мінез-құлқын сипаттайтын физикалық заңдар дәл белгілі болса да, модельдің үлкен өлшемділігі жүйенің мінез-құлқын қарапайым статистикалық (ықтималдық) модель ретінде сипаттауды талап етуі мүмкін. Мұндай модель нақты физикалық қасиеттерден алыстап, формальды сипатқа ие болады.

Эксперименттік-статистикалық әдістердің артықшылығы – объектіні салыстырмалы түрде дәл сипаттау, қарапайымдылық және жұмыстың аз күрделілігі, сондай-ақ идентификация процесін автоматтандыру мүмкіндігі. Кемшіліктері – экстраполяцияның төмен сенімділігі, айнымалылардың шектеулі өзгеру диапазоны, теңдеулердегі параметрлер мен объектінің конструктивтік сипаттамалары мен режимдік көрсеткіштері арасында функционалдық байланысты орната алмауы және алынған сипаттаманы басқа ұқсас объектілерге тарату мүмкін еместігі [6].

Аналитикалық математикалық модельдер физикалық, химиялық, аэрогидродинамикалық заңдарға негізделеді (Ньютон, Максвелл, Кирхгоф заңдары, масса, энергия, импульс сақталу заңдары, жылу мен энтропияны қайта бөлудің заңдары, химиялық реакция кинетикасы, адсорбция және десорбция теңдеулері және басқалар). Бұл заңдарды пайдалану объектіні сипаттауда қарапайым және бөлшектенген дифференциалдық теңдеулер жүйесін береді. Әдетте аналитикалық модельдер физикалық процесс пен жүйенің мақсаттарына сай келеді және қойылған шектеулерді есепке алады. Белгілі сыртқы және ішкі шарттарда теңдеулер коэффициенттерінің сандық мәндері анықталуы мүмкін.

Эксперименттік-аналитикалық (комбинирленген) әдістер математикалық сипаттаманы алу үшін теңдеулердің коэффициенттерін анықтау мәселесін жеңілдету мақсатында пайда болды және аналитикалық пен статистикалық әдістердің комбинациясы болып табылады. Бұл әдісте теңдеулер құрылымы физико-химиялық заңдылықтарға негізделеді, ал белгісіз параметрлер тәжірибелік деректерге сүйене отырып анықталады.

Аналитикалық және эксперименттік-аналитикалық модельдердің ерекшелігі – процесті физико-химиялық, аэрогидродинамикалық құбылыстарды талдау негізінде сипаттау.

Электрофильтрдегі шаңды ұстап қалу процесі короналық разрядтың өріс күштілігі мен көлемдік заряд тығыздығымен анықталады. Бұл шамалардың электрофильтрдің электродтары арасындағы таралуы бөлшектердің зарядталуын, олардың электродтарға қозғалу жылдамдығын және шаң қабатындағы процестерді анықтайды.

Короналық разрядтың гетерогендік электр өрісі эксперименттік әдістермен зерттеліп, сыртқы аймақ Пуассон теңдеулері жүйесімен сипатталады.

Короналық разряд өрісінің екі және үш өлшемді нақты шешімдері жоқ болғандықтан, есептеу әдістері мен аналитикалық шешім әдістері қолданылады.

Короналық разряд өрісінің таралуы, заряд бөлшектердің қозғалысы, коронаның тоқтатылуы, электр желі және шаңның түсуі мәселелері кеңінен зерттелген.

Сонымен қатар, электрофильтрдегі электрлік тазалау процесінің бірыңғай математикалық моделі жоқ, короналық разрядтың химиялық механизмдері толық зерттелмеген.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, процестің құрылымын бағалау, оның кеңістіктік таралуы мен физико-химиялық өзгерістерін қарастыратын модель параметрлерін анықтау, процестің қасиеттерін зерттеу және электрофильтрдің оңтайлы жұмыс режимдерін таңдау мәселелері маңызды болып табылады.

Сондықтан электрофильтрдегі процесті модельдеуде нақтылығы мен икемділігі жоғары, мысалы, бұлыңғыр логика немесе нейрондық желілер сияқты әдістерді қолдану тиімді деп есептеледі [9].

1.4 Басқару әдісін таңдау. Зерттеу міндетін қою

Газдарды электрлік тазалау процесін оңтайлы басқару қабылданған критерий бойынша технологиялық режимдерді таңдауға және іске асыруға келіп тіреледі. Оңтайлы режимдерді таңдау міндеті басқару объектісінде ретті эксперименттер жүргізу арқылы немесе оның математикалық моделі негізінде шешілуі мүмкін.

Көрсетілгендей, электрлік тазалау процесі жататын басқару объектілері класы көпөлшемділігімен, стационар еместігімен және айнымалылардың кездейсоқ сипатымен ерекшеленеді. Бұл ерекшеліктер объект туралы жедел және сенімді ақпаратты жинауды қиындатады, оңтайлы режимдерді іздеуді күрделендіреді және оператор-технологтың эксперименттік әдістерді қолдануына мүмкіндік бермейді.

Мұндай жағдайда, оңтайлы басқару әдісі болжау және өлшенбейтін айнымалыларды жанама бағалау міндеттерін формализациялауға, белгісіздік және айнымалылардың күйі мен басқару шектеулері жағдайында басқару таңдау міндеттерін шешуге мүмкіндік беретін объектінің математикалық сипаттамасына сүйенуі тиіс.

Өндірістік газдар мен фильтрлердің сипаттамалары сияқты негізгі факторлардың кездейсоқ өзгерістеріне сәйкес, бұл процесті сипаттау және басқарушы әсерлерді анықтау үшін жасанды интеллект әдістерін қолдану орынды болып табылады [12].

Өндірістік газдар мен электрофильтрлердің сипаттамаларының ерекшеліктері және қолданыстағы автоматтандыру жүйелерінің талдауы

электрлік тазалау процесін басқаруға қойылатын негізгі талаптарды қалыптастыруға мүмкіндік береді. Олар:

- 1) Газды тазалаудың ең жоғары тиімділігін (ПӘК) қамтамасыз ету және электрофильтрдің шығуындағы газдардың шаңдылығының дисперсиясын азайту;
- 2) Электрофильтр өрістерінің оңтайлы жұмыс кернеулерінде жұмысын қамтамасыз ету;
- 3) Коронирлеуші электродтардың үзілуіне және газды тазалау көрсеткіштерінің нашарлауына алып келетін авариялық режимдерді, күшті ұшқындық және доғалық разрядтарды болдырмау;
- 4) Электрофильтр өрістерінің электродтарын шайқау режимдеріне басқарушы әсерді қалыптастыру арқылы кері коронаның пайда болуын жою;
- 5) Короналық разрядтың басылуының газды тазалау көрсеткіштеріне әсерін азайту;

Электрофильтрдегі электродаралық аралықта жүретін процестердің күрделілігі және олардың жеткіліксіз зерттелуі газдарды электрлік тазалау процесін жасанды интеллект әдістерін қолдану арқылы сипаттау және модельдеу мүмкіндігін береді.

2 Электрофильтрдің электрлік режимін нейро-анық емес басқаруды әзірлеу

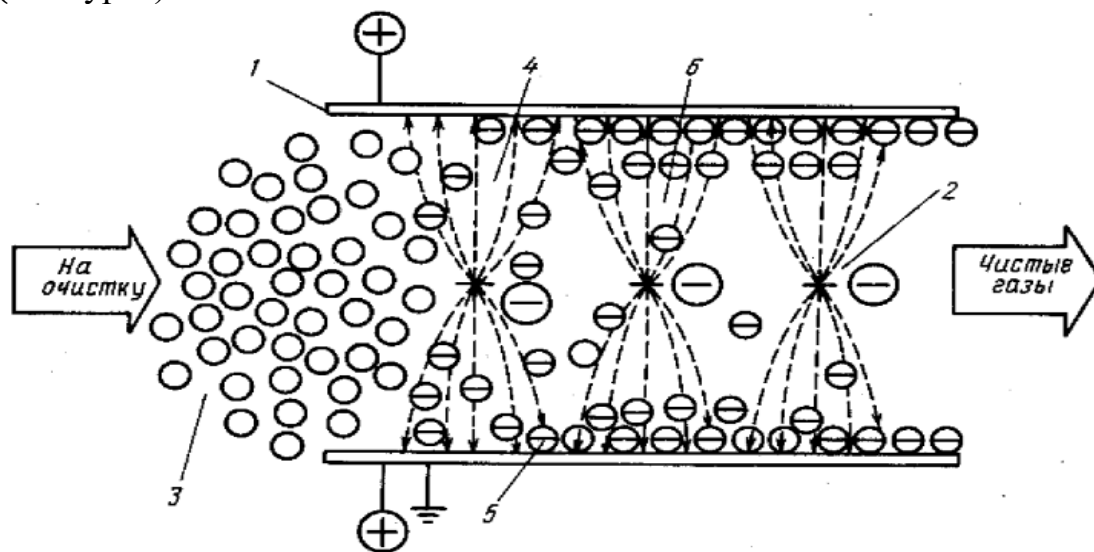
Қазіргі әлемде қоршаған ортаны қорғау және ресурстарды тиімді пайдалану мәселелері барған сайын өзекті болуда, сондықтан ауа тазарту технологиялары үшін интеллектуалды басқару жүйелерін әзірлеу ерекше маңызға ие. Осы тұрғыда нейро-анық емес басқару жасанды интеллект пен анық емес теория принциптерін біріктіріп, бейімделгіш және дәл басқару жүйелерін құруға арналған қуатты құрал болып табылады.

Бұл зерттеу қатты бөлшектерден ауаны тазартуға арналған электрофильтрдің нейро-анық емес басқаруын әзірлеуге бағытталған және көмір мен биомассаның физика-химиялық қасиеттерін ескереді. Электрофилтрацияның тиімділігі пайдаланылатын материалдардың құрамына тығыз байланысты, бұл жағдайда көмір мен биомасса ерекше басқару тәсілін талап етеді.

Өндірістік электрофильтр – бұл қазандықтарды, пештерді және т.б. жылыту үшін көмірді жағу кезінде үлкен көлемде пайда болатын газдағы қатты бөлшектерді тазартуға арналған ірі технологиялық құрылым.

Электрофильтрлердің негізгі артықшылығы – олардың жоғары тазарту тиімділігі (ол 98%-ға жетеді), осылайша газ ағынындағы көп мөлшердегі қатты қоспалар жойылады. Алайда, электрофильтр барлық бөлшектерді ұстай алмайды: мысалы, 10 микрометрден кіші бөлшектер электрофильтр арқылы өтеді және тазартылмай қалады. Мұндай тапсырманы мата (қапшықты) сүзгілер жақсы орындайды, себебі олар өте тығыз және жұқа сүзгі материалымен жабдықталған, бұл күл мен шаңның ұсақ бөлшектерін ұстап қалуға мүмкіндік береді.

Электрофильтрдің жұмыс істеу принципі келесі суретте көрсетілген (2.1-сурет).



2.1 сурет – Электрофильтрдің жұмыс істеу принципі

Электрофильтрдің жалпы жұмыс істеу принципінің сызбасынан келесілерді көруге болады:

- 1 – тұндыру электроды (сызбадағы негізгі элемент болып табылады, оң зарядқа ие және теріс зарядталған қалқыма бөлшектерді тартуға арналған);
- 2 – короналау электроды (электрофильтр камерасында газды иондалатын жоғары кернеулі электр өрісін генерациялайды);
- 3 – күл, шаң, ұсақ дисперсті бөлшектер;
- 4 – жасалған электромагниттік өріс;
- 5 – тұнған бөлшектердің қабаты;
- 6 – теріс зарядқа ие қалқыма бөлшектер.

Осылайша, ластанған газ электрофильтр камерасына түседі. Короналау электроды генерациялайтын электр өрісінің әсерінен газ иондалады. Осы процесс нәтижесінде бос электрондар пайда болып, газ молекулаларына қосылады және теріс зарядталған иондар түзіледі.

Қалқыма бөлшектер теріс зарядқа, ал тұндыру электродтары – оң зарядқа ие болғандықтан, қарама-қарсы зарядтар бір-біріне тартылады, нәтижесінде қалқыма бөлшектер электродтарға қонады. Электродтар арасындағы ұшқындардың пайда болуын болдырмау үшін электр өрісінің кернеулігі оңтайлы болуы керек (эксперименттік жолмен анықталады).

Егер короналау электродындағы кернеулік тым жоғары болса, короналық тесілудің қаупі туындайды — шамадан тыс күшті разряд токтың ағып кетуіне және бөлшектердің тұну тиімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Бұл сондай-ақ жабдықтың тозуына әсер етеді.

Жалпы, электр өрісінің кернеулік диапазоны 3-тен 15 кВ/см-ге дейін ауытқиды. 15 кВ/см – бұл жоғарғы шек, өйткені одан жоғары кернеу электрлік тесілуді тудырады, бұл жүйенің жұмысы үшін қажетсіз жағдай болып табылады.

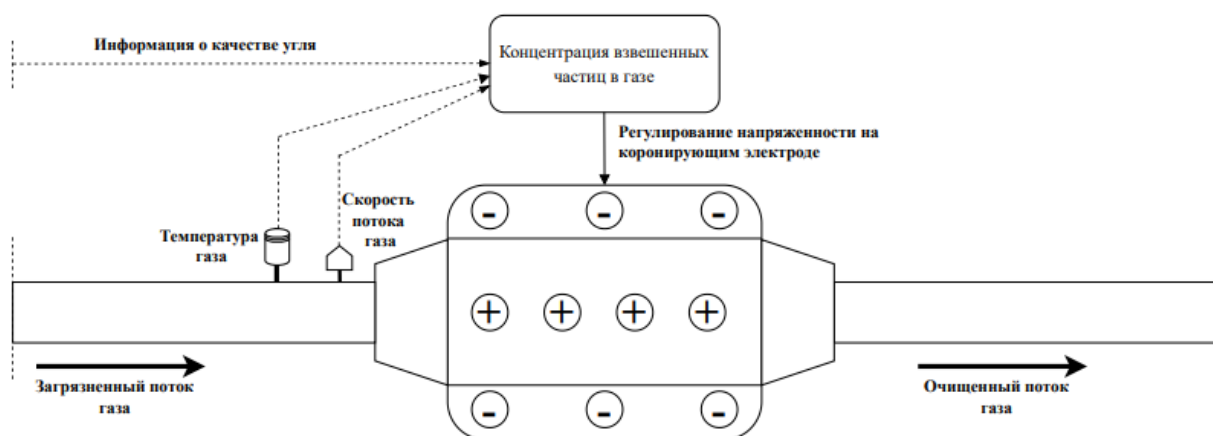
Электр өрісінің кернеулігі көрсетілген диапозонда өзгеруі мүмкін. Мысалы, белгілі бір факторлар мүмкіндік берсе, кернеулік орташа деңгейде болуы мүмкін, осылайша короналау электродының жасайтын электр өрісін реттеуге болады.

Эксперименттік деректерге сәйкес, газды электрофильтр арқылы тазарту көрсеткіштеріне келесі параметрлер әсер етеді:

- 1) Газдың температурасы – бұл көрсеткіш газдың меншікті электр өткізгіштігіне әсер етеді. Егер газдың электр өткізгіштігі салыстырмалы түрде төмен болса, онда қалқыма бөлшектердің иондалуы да әлсіз болады. Сондықтан электр өрісінің кернеулігін арттыру қажет;
- 2) Газдағы шаң концентрациясы (шаңдылық) – бұл жағдайда кәсіпорында әртүрлі сападағы көмірді жағуы мүмкін. Мысалы, төмен күлді, жоғары күлді және т.б.;
- 3) Газ ағынының жылдамдығы – жылдамдық неғұрлым жоғары болса, бөлшектерді тұндыру соғұрлым қиынға соғады. Әдетте, газ ағыны газ тарату торы арқылы өтеді, бұл оның жылдамдығын төмендетуге көмектеседі;

2.1 Электрлік режимді бұлдыр реттеу жүйесін әзірлеу

Жүйенің құрылымы келесі түрде көрсетілген (2.2-сурет). Төмендегі сызбаға сүйене отырып, электрофильтрдің газды қалқыма бөлшектерден тазартуды қамтамасыз ететінін көруге болады. Бұлдыр реттегішке көмірдің сапасы туралы ақпарат, газдың температурасы және оның жылдамдығы туралы мәліметтер түседі. Бұлдыр реттегіштің шығыс шамасы – короналау электродтары арқылы генерацияланатын электр өрісінің кернеулігі.



2.2 сурет – Өзірленетін жүйенің сызбасы

Осылайша, жүйеде үш кіріс айнымалысы бар (қоспалардың концентрациясы, газ температурасы, газ жылдамдығы) және бір шығыс айнымалысы (электр өрісінің кернеулігі).

Содан кейін, белгіленген лингвистикалық айнымалылар үшін терминдер жиынтығы құрастырылады.

«Қоспалардың концентрациясы» лингвистикалық айнымалысы үшін терминдер мен тиістілік функциялары 2.1-кестеде келтірілген.

2.1-кесте – Терминдер мен тиістілік функциялары

Термин	Ауқымы(%)
Төмен концентрация взвесей (күлділік)	3 – 15
Орташа концентрация взвесей (күлділік)	15 – 35
Жоғары концентрация взвесей (күлділік)	35 – 60

Газ температурасы лингвистикалық айнымалысы үшін терминдер мен мүшелік функциялар 2.2-кестеде көрсетілген.

2.2-кесте – Терминдер мен мүшелік функциялар

Термин	Ауқымы(°C)
Өте төмен	15 - 20
Төмен	20 - 50
Орташа	50 - 70
Жоғары	70 - 90
Өте жоғары	90 - 130

Газ жылдамдығы лингвистикалық айнымалысы үшін терминдер мен мүшелік функциялар 2.3-кестеде көрсетілген.

2.3- кесте – Терминдер мен мүшелік функциялар

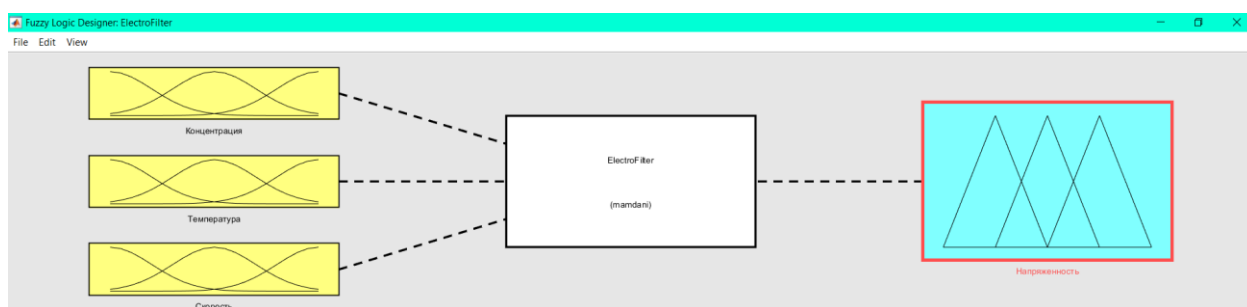
Термин	Ауқымы ($\frac{M}{c}$)
Төмен	4 - 5
Орташа	5 - 10
Жоғары	10 - 25

Электр өрісінің кернеулігі лингвистикалық айнымалысы үшін терминдер мен мүшелік функциялар 2.4-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.4 – Терминдер мен мүшелік функциялар

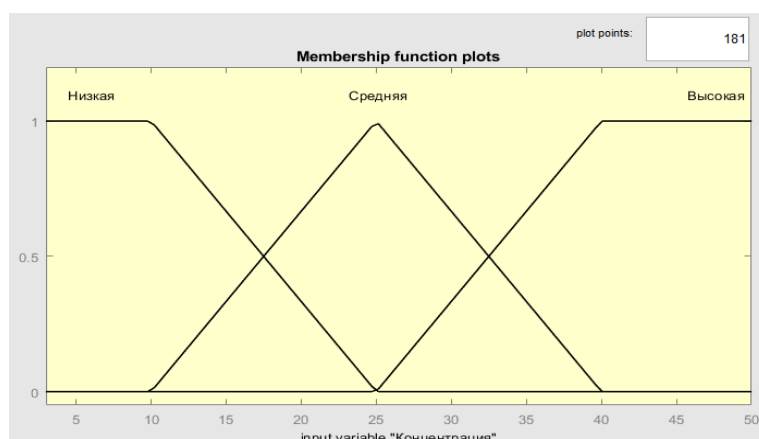
Термин	Ауқымы($\frac{KB}{CM}$)
Төмен	3 - 7
Орташа	8 - 12
Жоғары	12 - 15

FuzzyLogicDesigner бағдарламасында жүйенің көрінісі 2.3-суретте көрсетілген.



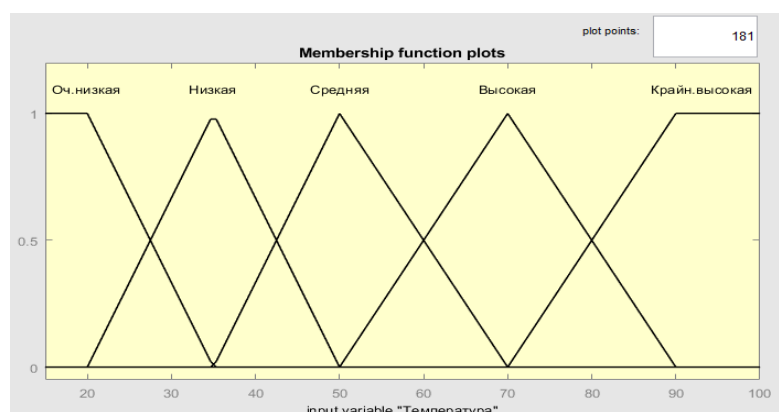
2.3-сурет – Бағдарламадағы жүйенің көрінісі

Содан кейін терминдер мен мүшелік функциялар бапталады (2.4-сурет).



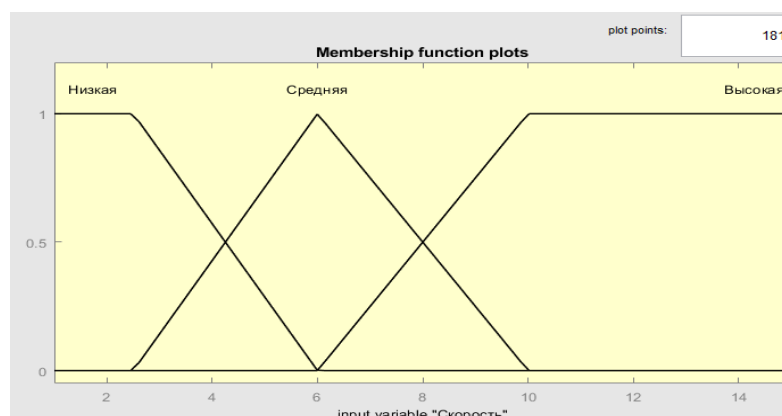
2.4-сурет – «Концентрация» лингвистикалық айнымалысына арналған терминдер мен мүшелік функциялар

«Газ температурасы» лингвистикалық айнымалысына арналған терминдер мен мүшелік функциялар (2.5-сурет).



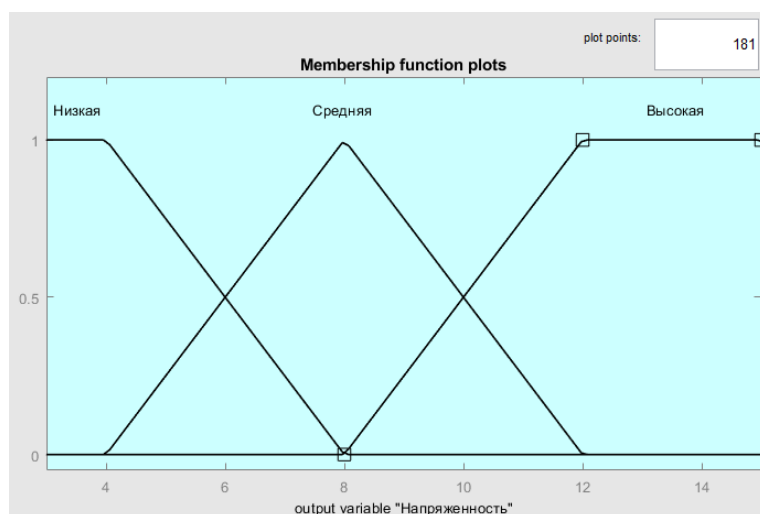
2.5-сурет – Терминдер мен мүшелік функциялар

«Газ жылдамдығы» лингвистикалық айнымалысына арналған терминдер мен мүшелік функциялар (2.6-сурет).



2.6-сурет – Терминдер мен мүшелік функциялар

Терминдер мен мүшелік функциялар «Электр өрісінің күштілігі» лингвистикалық айнымалысы үшін 2.7-суретте көрсетілген.



2.7-сурет – Терминдер мен мүшелік функциялар

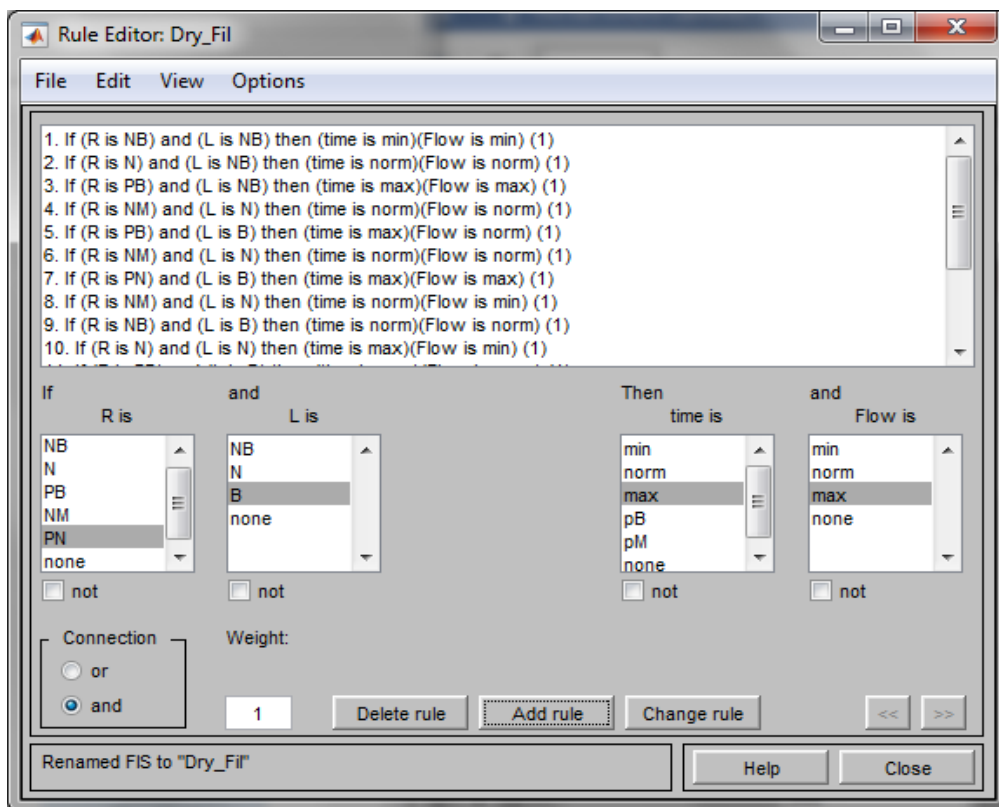
Осыдан кейін берілген бұлбұл жүйесіне сараптамалық ережелер жиыны құрастырылады:

- 1) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Төмен);
- 2) Егер Концентрация (Орташа) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Орташа).;
- 3) Егер Концентрация (Жоғары) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Жоғары);
- 4) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Төмен) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Төмен);
- 5) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Орташа) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Орташа);
- 6) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Жоғары) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Орташа);
- 7) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте жоғары) және Жылдамдық (Төмен) болса, онда Күш (Жоғары);
- 8) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 9) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);
- 10) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Төмен) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 11) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Төмен) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);
- 12) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Орташа) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);

- 33

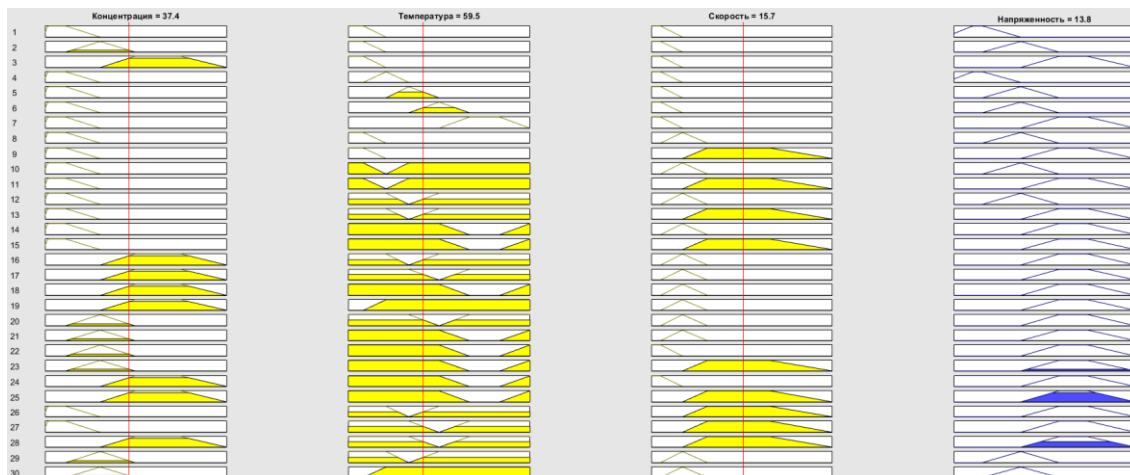
- 35) Егер Концентрация (Жоғары) және Температура (Жоғары) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);
- 36) Егер Концентрация (Орташа) және Температура (Орташа) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);
- 37) Егер Концентрация (Орташа) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 38) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 39) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте төмен) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);
- 40) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Төмен) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 41) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Төмен) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары).
- 42) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Орташа) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Орташа);
- 43) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Жоғары) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Жоғары);
- 44) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте жоғары) және Жылдамдық (Орташа) болса, онда Күш (Жоғары);
- 45) Егер Концентрация (Төмен) және Температура (Өте жоғары) және Жылдамдық (Жоғары) болса, онда Күш (Жоғары);

Осылайша, жүйеге сараптамалық ережелер анықталды (2.8-сурет). Ережелер әртүрлі кіріс айнымалылардың мәндеріне сәйкес бұлбұл жүйесінің шығыс параметрлерін өзгертетіндей етіп анықталады.



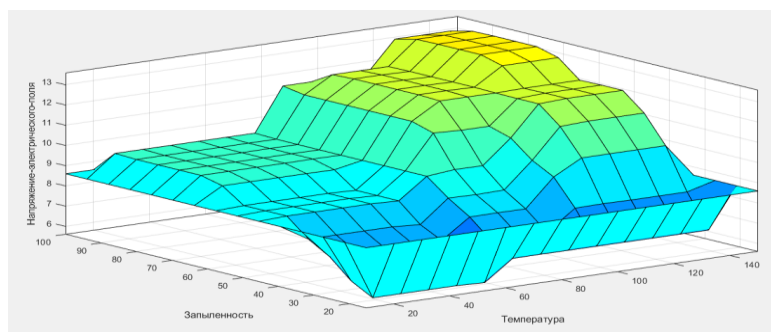
2.8-сурет – Процесті басқарудың бұлттық моделінің ережелер базасын әзірлеу

Ережелерге сәйкес келесі таралым алынды (2.9-сурет).



2.9-сурет – Анықталған ережелер базасын енгізгеннен кейінгі жүйенің анық емес шығару редакторының графикалық интерфейсі

Нәтижелік беттің көрінісі келесідей (2.10-сурет)

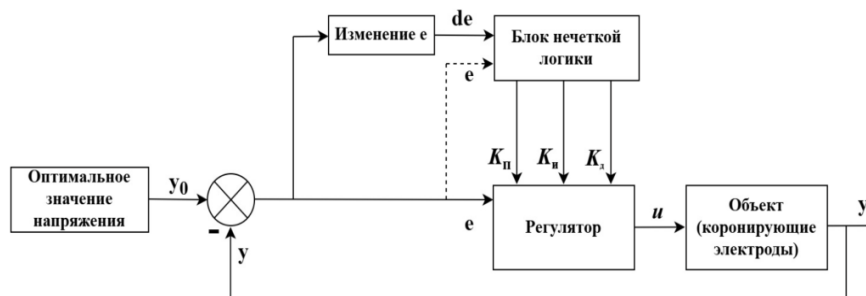


2.10-сурет – Нәтижелі үшөлшемді бет

2.2 Бұлыңғыр реттегіштің параметрлерін реттеу моделін құру

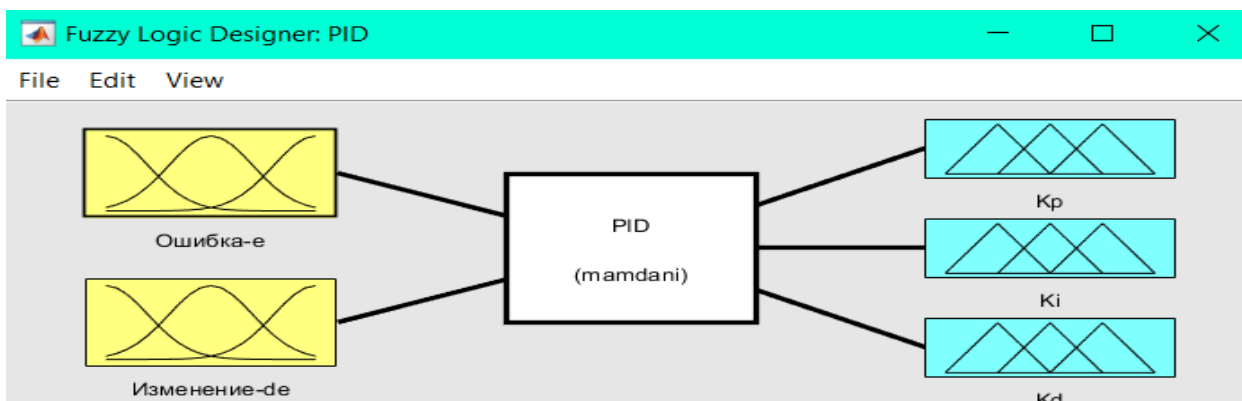
Келесі қадам-реттеуші үшін коэффициенттердің нақты мәндерін анықтауға жауапты жүйені әзірлеу. Осылайша, корона электродтарындағы электр өрісінің кернеулігін нақты реттеу нақты реттегіштің көмегімен жүзеге асырылады.

Мұндай жүйе келесі схемалық көрініске ие (2.11-сурет).



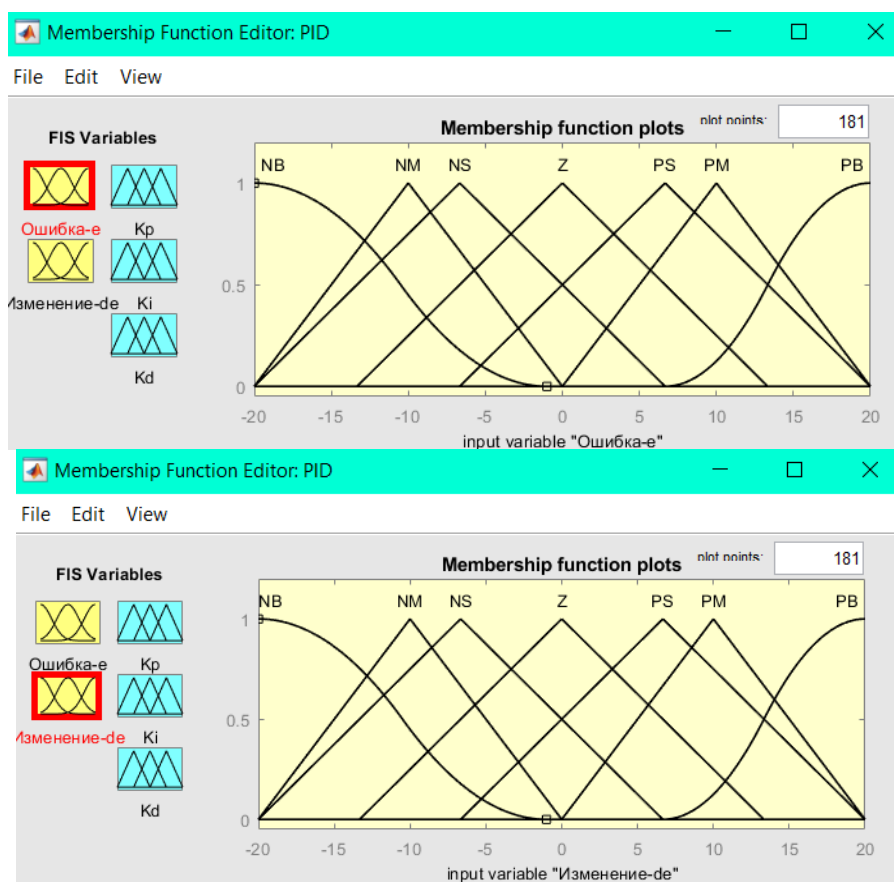
2.11-сурет - бұлыңғыр реттегіш коэффициенттерін реттеу жүйесінің құрылымы.

Бұл жүйені іске асыру 2.12-суретте көрсетілген.



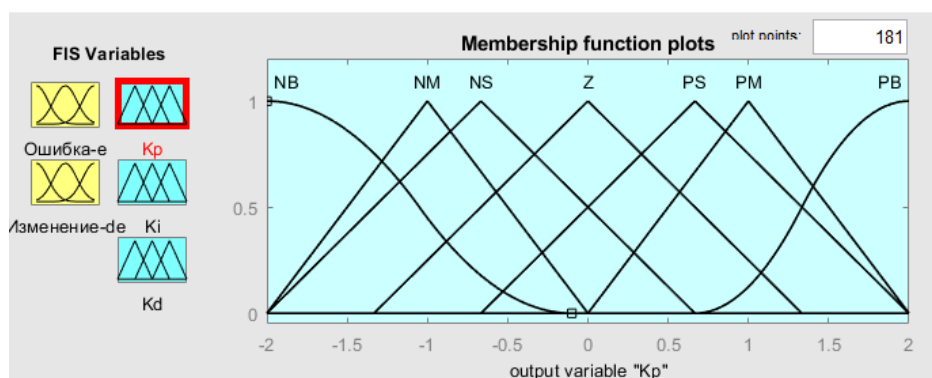
2.12-сурет-бұлыңғыр PID реттегіш жүйесі

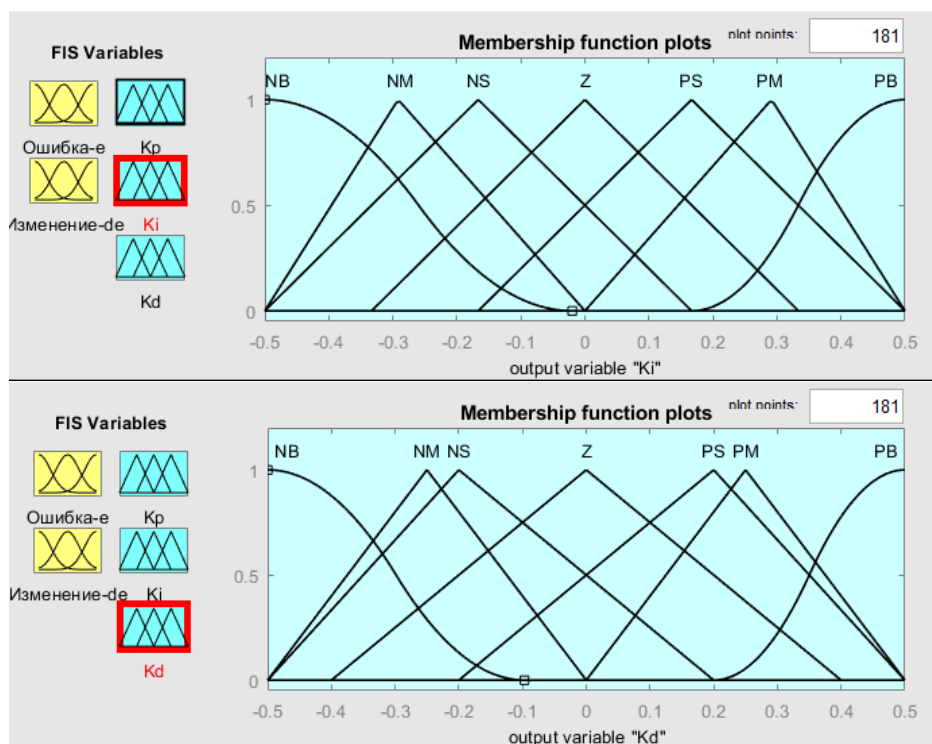
Кіріс лингвистикалық айнымалылар үшін терминдер анықталды (2.13 сурет).



2.13-сурет - Кіріс лингвистикалық айнымалылар және олардың терминдері

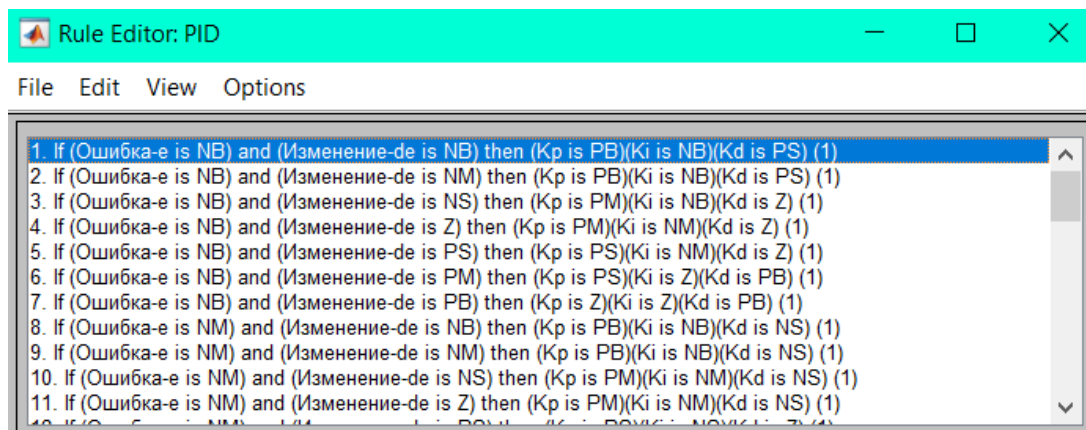
Шығыс лингвистикалық айнымалылар 2.14-суретте көрсетілген. PID реттегіші үшін K_p , K_i , K_d параметрлеріне сәйкес келетін үш шығыс айнымалысы бар.





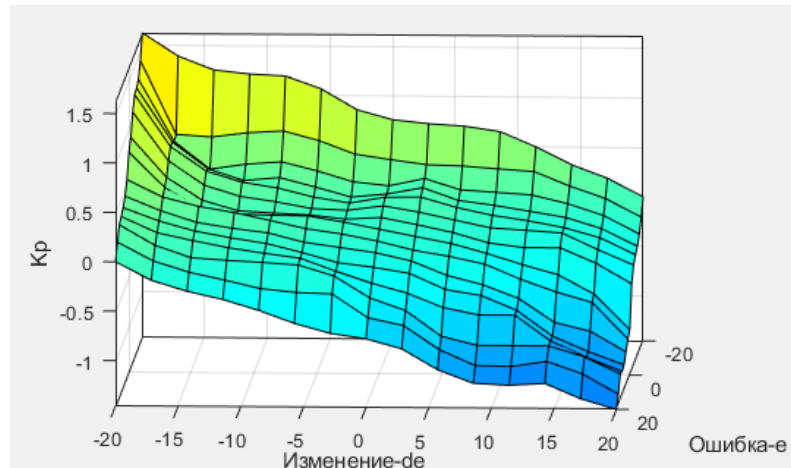
2.14-сурет - Жүйенің шығуына арналған лингвистикалық айнымалылар мен терминдер

Сол сияқты, жүйе үшін сараптамалық ережелер анықталды (2.15-сурет). Ережелер кіріс айнымалыларының әр түрлі мәндерінде сәйкесінше бұлыңғыр жүйенің Шығыс параметрлері өзгеретін етіп анықталады.



2.15-сурет - Ережелер базасының үзіндісі

Барлығы 49 ереже анықталды.
Келесі нәтиже беті алынды (2.16-сурет).



2.16-сурет- K_p үшін алынған беттің мысалы

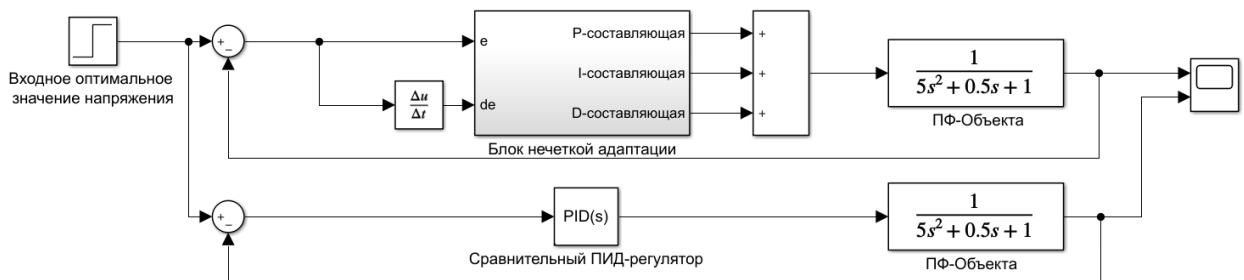
Нақты жүйелерде кернеуге байланысты кернеуді өзгерту процесі инерциялық болып табылады, яғни белгілі бір кідіріс бар, бірақ, әдетте, бұл мән айтарлықтай үлкен емес. Әдетте мұндай жүйелер үшін жүйенің реакциясының кешігуі 0,5 секундты құрайды, ал қоректену кернеуінің өзгеруі орта есеппен 5 секундта болады. Осыған байланысты беріліс функциясы 2-ші ретті апериодты буын түрінде ұсынылған:

$$W(s) = \frac{K}{T_1 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1}. \quad (2.2)$$

Беріліс коэффициенті кернеу мен кернеудің тұрақты диапазонына негізделген:

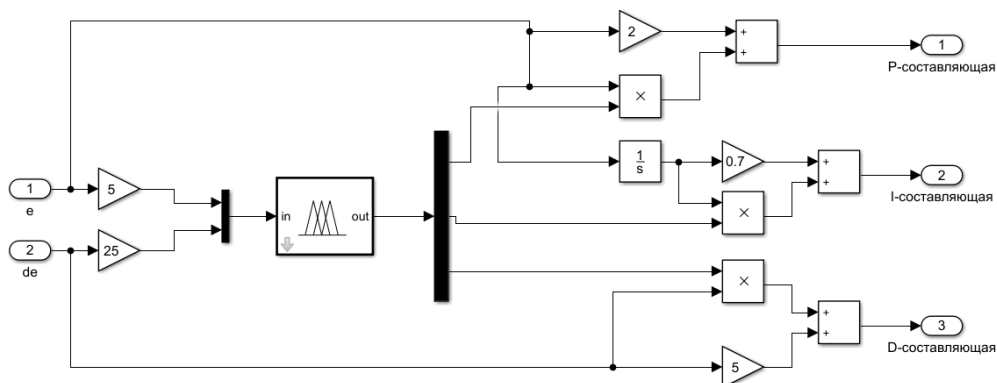
$$K = \frac{E_{\text{макс.}}}{V_{\text{макс.}}} = \frac{15 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}}{16645 \text{ В}} \approx 1 \text{ м}^{-1}. \quad (2.3)$$

Әрі қарай, Simulink ортасында келесі схема жасалады (2.17-сурет).



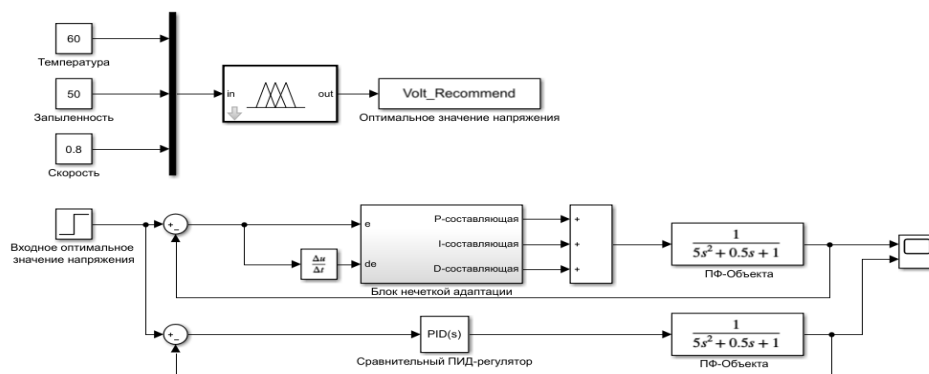
2.17 сурет - ЭФ электр режимін басқарудың бұлыңғыр жүйесінің құрылымы

Реттегіш коэффициенттерін реттеу алгоритмі келесідей (2.18-сурет).



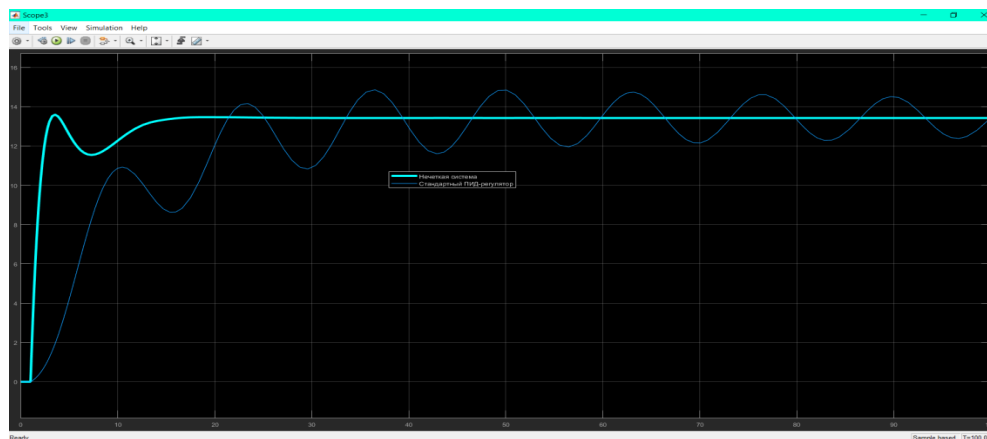
2.18-сурет - PID реттегіш коэффициенттерін реттеу блогы

Бұлыңғыр жүйенің соңғы көрінісі келесі түрге ие (2.19-сурет).



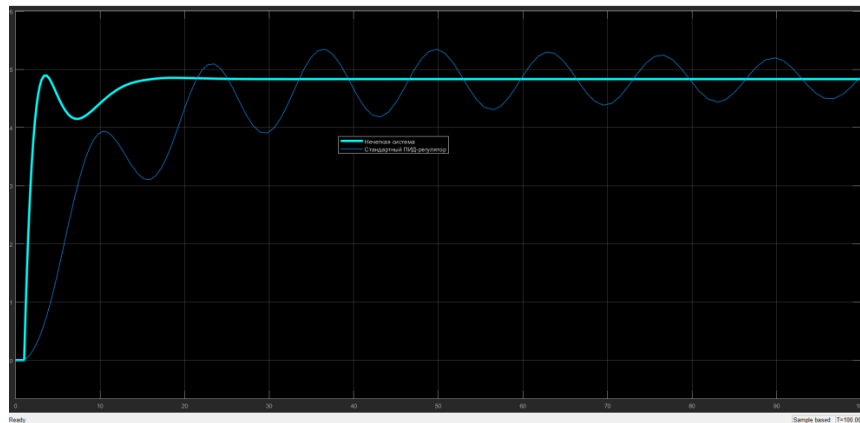
2.19-сурет - электр сүзгісінің қуатын реттеудің бұлыңғыр жүйесінің құрылымы

Бұл жүйенің тұрақтылығы алынған графиктер негізінде анықталады. (13,4 кВт=116 °C, $\alpha=90.1\%$, $\theta=1,36$ м/с) параметріндегі тұрақтылық (2.20-сурет).



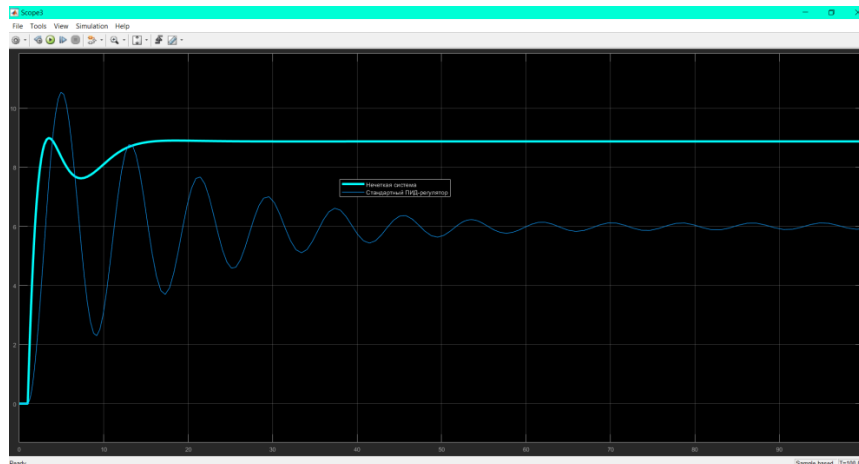
2.20-сурет-PID реттегіші мен бұлыңғыр жүйені салыстыру

Тапсырма кезіндегі тұрақтылық 4,834кВ ($T = 18,8\text{ }^{\circ}\text{C}, \eta = 36\%, \vartheta = 0,283\frac{\text{M}}{\text{C}}$) 2.21 суретінде.



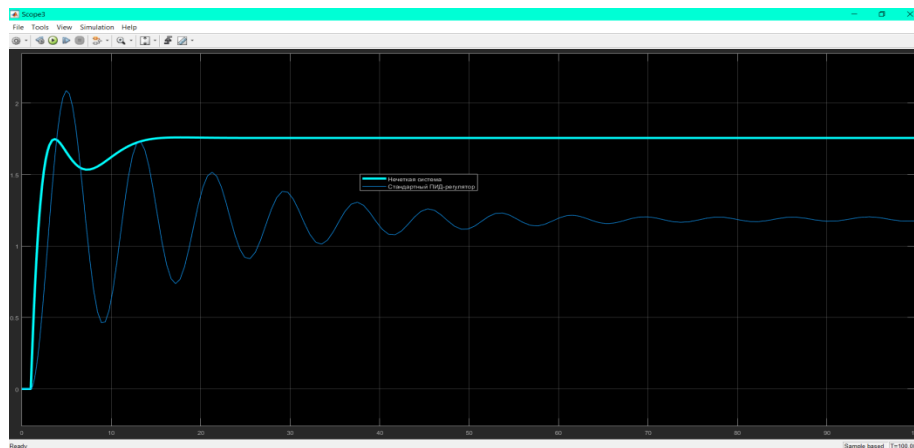
2.21-сурет – PID реттегіші мен бұлыңғыр жүйені салыстыру

Тапсырма кезіндегі тұрақтылық 8,875 кВ ($T = 140\text{ }^{\circ}\text{C}, \eta = 40\%, \vartheta = 0,6\frac{\text{M}}{\text{C}}$) 2.22 суретінде.



2.22-сурет – PID реттегіші мен бұлыңғыр жүйені салыстыру

Тапсырма кезіндегі тұрақтылық 1,757 кВ ($T = 13,4\text{ }^{\circ}\text{C}, \eta = 17,9\%, \vartheta = 0,188\frac{\text{M}}{\text{C}}$) 2.23 суретінде.



2.23 сурет – PID реттегіші мен бұлыңғыр жүйені салыстыру

2.3 Нейрондық желіні дамыту

Сараптамалық модель нәтижесінде нейрондық желілерді құру үшін оқыту жиынтығы ретінде қызмет еткен мәліметтер алынды. Интеллектуалды жүйені синтездеу мәселесін шешу үшін нейрондық желілер нейрондық желіні оқытудың ақиқат кестесін құрайық. Ол үшін Интеллектуалды жүйенің жұмысы үшін қолданылатын айнымалылардың мәндерін келесі формула бойынша қалыпқа келтіру қажет (2.1-кесте)

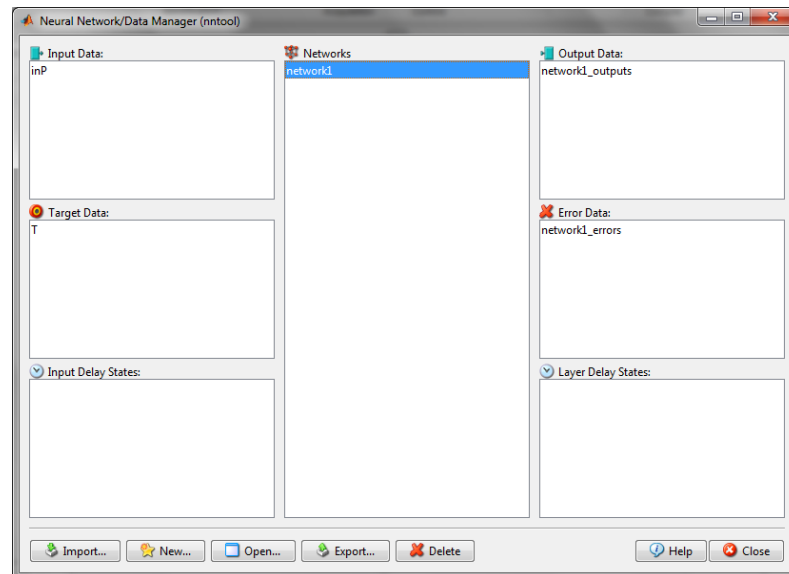
$$x = \frac{y_{max} - y_{min}}{y_{min}}, \quad (2.3)$$

2.1- кесте - Нейрондық желіні оқытуға арналған шындық кестесі

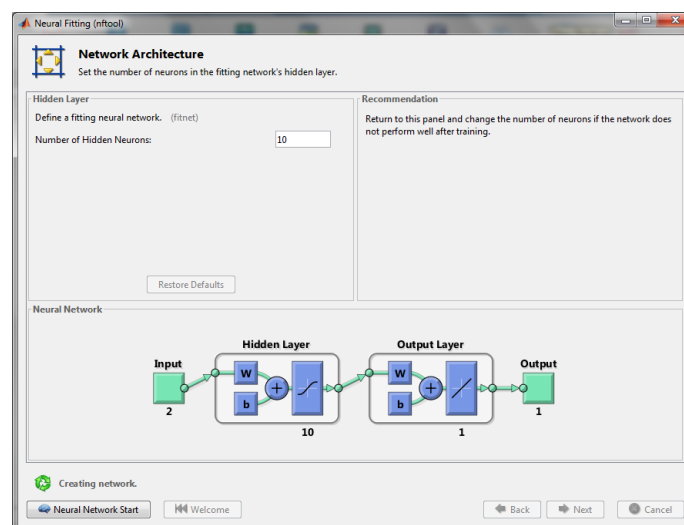
№	Жылдамдық	Шаңдану	Температура	Кернеу
1	0.0	0	0.1	0.3
2	0.05422	0.05422	0.1	0.3
3	0.07831	0.07831	0.1	0.3
4	0.0904	0.0904	0.1	0.3
5	0.102	0.102	0.116	0.313
6	0.139	0.139	0.263	0.431
7	0.175	0.163	0.329	0.484
8	0.211	0.211	0.35	0.5
9	0.235	0.235	0.35	0.5
10	0.307	0.283	0.364	0.5
11	0.331	0.331	0.55	0.4
12	0.343	0.343	0.55	0.4
13	0.355	0.367	0.674	0.322
14	0.38	0.38	1	0.3
15	0.404	0.404	1	0.3
16	0.488	0.488	1	0.3
17	0.527	0.524	1	0.3
18	0.548	0.56	1	0.3
19	0.572	0.584	1	0.3
20	0.884	0.584	0.5	0.5
21	0.669	0.681	1	1
22	0.717	0.717	1	1
23	0.777	0.765	1	0.807
24	0.813	0.801	1	0.608
24	0.849	0.849	1	0.5
25	0.886	0.91	1	0.5
26	0.922	0.934	1	0.5
27	0.946	0.958	1	0.5
28	0.994	0.994	1	0.5
29	1	1	1	0.5

Нейрондық желіні оқыту үшін біз 1-кестеден деректерді енгіземіз, содан кейін нейрондық желіні құрамыз(2.24-сурет).. Жасырын қабаттың

белгілі бір сигмоидты (Tansig) нейрондары және шығыс қабатының бір сызықтық (Purelin) нейроны бар нейрондық желі түрін (перцептрон "Feed-Forward back Propagation) орнатыңыз. Оқыту Trainlm функциясын жүзеге асыратын Levenberg-Markardt (levenberg-Mar-quardt) алгоритмін қолдану арқылы жүзеге асырылады(сурет.2.25)



2.24-сурет - Нейрондық желілерді дамытуға арналған терезе



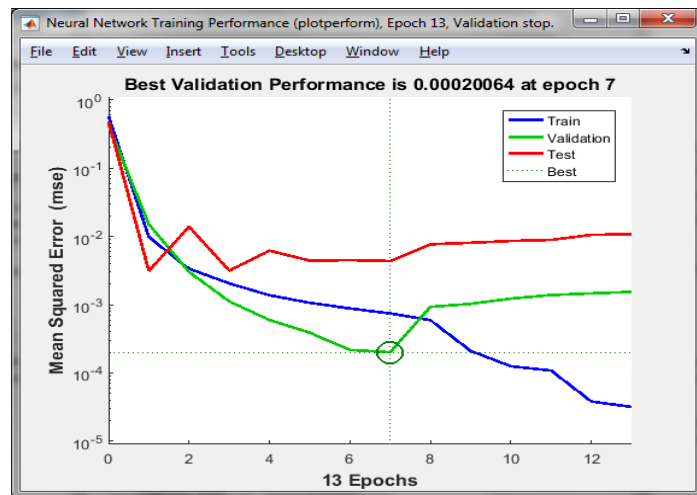
2.25-сурет - Нейрондық желіні басқару моделі

Енді нейрондық желіні одан әрі қолдану үшін оқыту керек, біз функцияны бағалау функциясын орнатамыз `see net.performFcn='see'`;

Бұл жағдайда бағалау ретінде эталондардан желі шығыстарының квадраттық ауытқуларының қосындысы есептеледі. Біз оқуды аяқтау критерийін белгілейміз-ауытқу мәні, онда оқыту аяқталды деп саналады:

net.trainParam.goal=0.01;

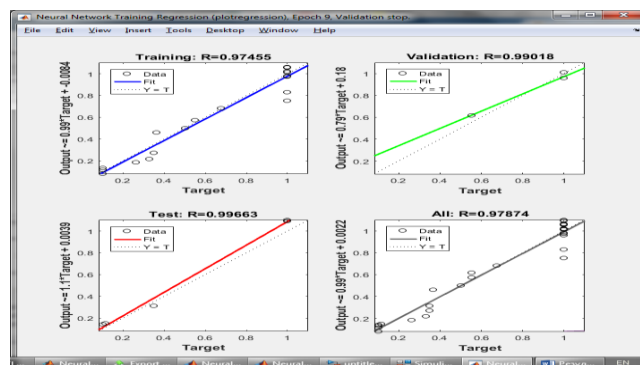
Нейрондық желіні одан әрі қолдану үшін осы желіні оқыту қажет. Ол үшін оқу параметрлерін көрсете отырып, кіріс және мақсатты деректерді орнату қажет. Нейрондық желінің оқу қисығы (сурет.2.26), 13 дәуірді құрайды (оқытудың қайталануы), ең жақсы нәтижеге 7 – ші дәуірде қол жеткізілді. Осылайша, оқыту нейрондық желі барабар деп қорытынды жасауға болады.



2.26 сурет - Нейрондық желіні оқыту барысы

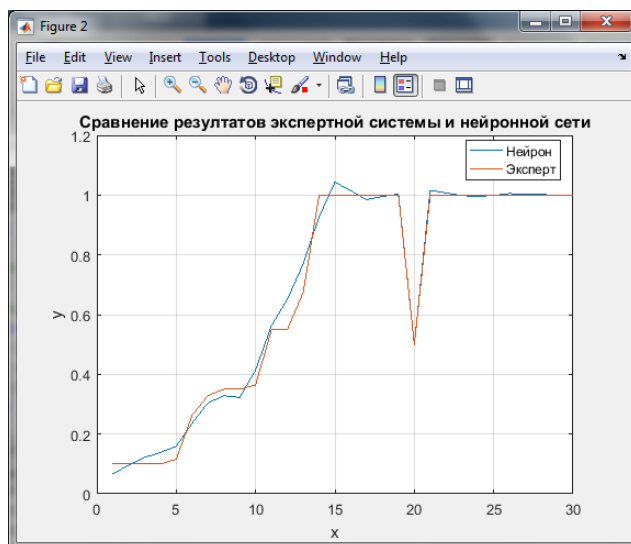
Нейрондық желі нәтижелерінің сенімділігін бағалау үшін эталондық мәндерді сынақ массивінің кіріс векторлары кіріске берілген кезде нейрондық желі шығысында алынған мәндермен салыстыру кезінде алынған регрессиялық талдау нәтижелерін пайдалануға болады. Ортада Matlab бұл үшін postreg функциясын пайдаланады. Анықтамалық векторлардың компоненттерін желінің Шығыс векторларының тиісті компоненттерімен салыстыру 2.27-суретте келтірілген.

Бұл регрессиялық талдауды білдіреді (сурет.2.27) оқыту деректері мен конвергенция функциясы арасында ең аз-0,97874.

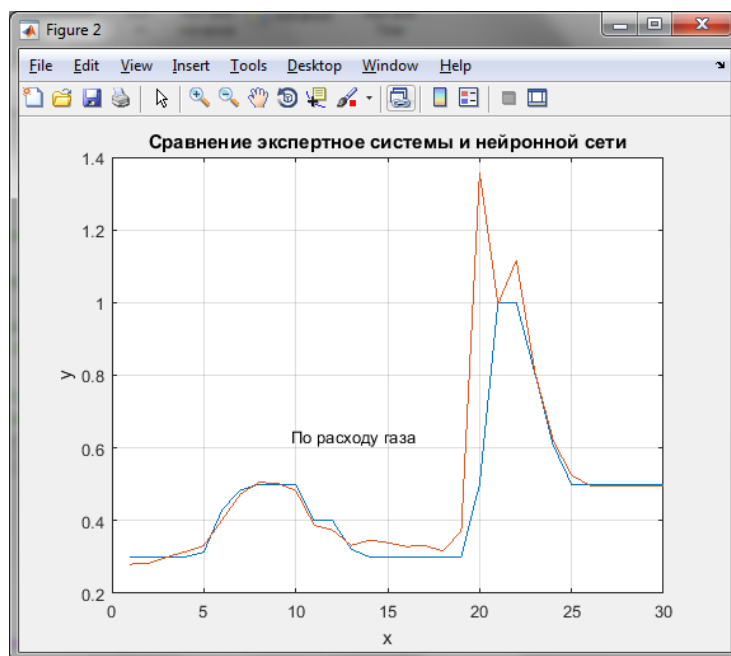


2.27-сурет-эксперименттік және есептік деректерді салыстыру

Нейрондық желінің дәлдігін бағалау жаттығу деректері мен валидация деректерінің нейрондық желісінің жұмыс дәлдігін өзгерту графикін құрайық. Жаттығу деректері мен валидация деректеріндегі нейрондық желі жұмысындағы дәлдіктің өзгеру графиктері 2.28 және 2.29 суреттерде көрсетілген. Алынған а графиктері нейрондық желіні оқыту процесі сәтті болғанын көрсетеді.



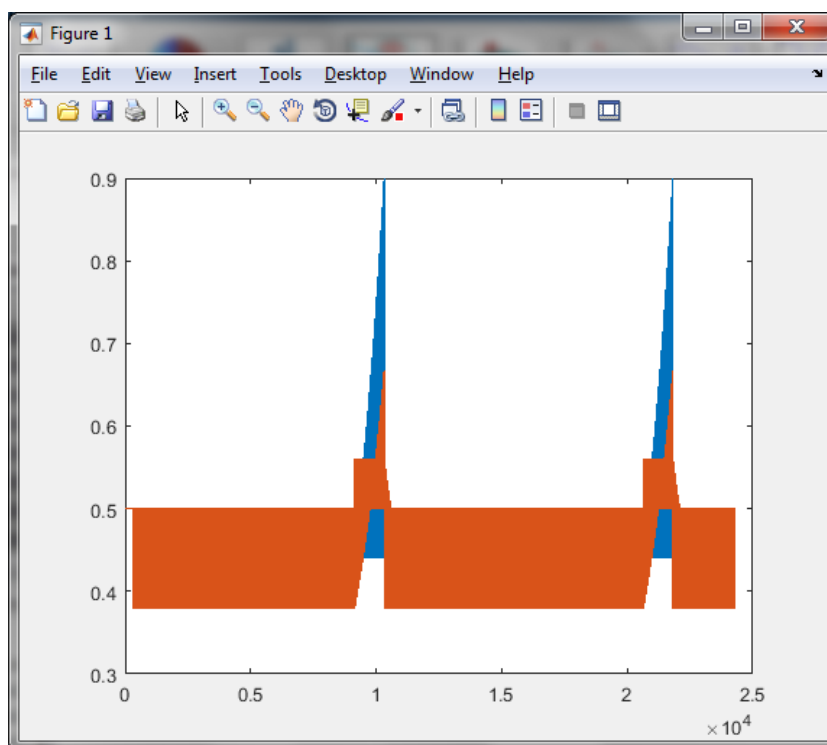
2.28-сурет - Жаттығу деректері мен валидация деректерін салыстыру



2.29-сурет - Газ ағынына негізделген салыстырмалы талдау

2.28 және 2.29 суреттерінен дамыған нейрондық желі барлық үш кіріс параметрі мен бір шығыс үшін тапсырманы шешетінін көруге болады

желі параметрлері. Желі жұмысының нәтижесі ЭФ электр режимінің кернеулігінің өзгеруіне басқару әсерін беру болып табылады (сурет.2.30).



2.30-сурет - ЭФ шаңдылығына сәйкес Басқару кестесі

Осылайша, нейрондық желіні басқару технологиялық және өндірістік процестерді басқарумен байланысты, желінің функционалды жақын архитектурасы өте қарапайым және өндірістік процестерді модельдеуде жақсы жұмыс істейді. Нейрондық желілерді параметрлік тестілеу арқылы алынған мәліметтер жиынтығы негізінде оқыту керек. Модельдеу үшін газды электрлік тазарту процесін басқару оқыту үшін мәліметтер жиынтығын құру қажет. Бұл жинақ оқытудың барлық мүмкін ауқымын қамтуы және оның функционалдық мақсатына сәйкес келуі керек. Деректер жиынтығы кірістерге қатысты деректерді қамтиды және оларды мақсатты мақсатқа байланыстырады. Оқытуда қолданылатын кірістер нейрондық желі моделінің басқару кеңістігін анықтайды. Газдарды электрлік тазарту процесінің нейрондық желілік моделі көрсетеді шығыс модельдер, технологиялық процестің кірістері, және таңдау мүмкіндігін беріңіз режим (автоматты/қолмен) және басқару стратегиялары (тұрақты/балама).

3 Педагогикалық бөлім. Синтез желісінің реттегіштері matlab

Жұмыстың мақсаты: жуықтау және басқару тапсырмалары үшін MATLAB жүйесіндегі нейрондық желілерді жобалау құралдарының жиынтығымен танысу.

Тапсырмалар: сызықтық емес объектілерді басқару үшін желілік реттегішпен модельді Құрыңызсимулинк.

3.1 Жалпы мәліметтер

Нейрондық желілер (Neural Network, НЖ) басқару, идентификация, болжау, функцияларды аппроксимациялау, классификациялау міндеттерін шешу үшін қолданылады.

Осы жұмыста Simulink құралдарының көмегімен сызықты емес объектілерді басқаруға арналған нейрондық жүйелердің құрылуы қарастырылады.

Нейрондық желілердің кеңінен қолданылуының табысы келесі себептермен түсіндіріледі:

- сызықты емес модельдер бойынша басқару жүйелерін есептеу сызықты модельдерге қарағанда әлдеқайда күрделі. Бұл сызықты емес теңдеулермен сипатталатын қозғалыстардың алуан түрлілігімен түсіндіріледі. Табиғаты бойынша сызықты емес нейрондық желілер сызықты емес есептерді шешудің тиімді құралы болып табылады.

- көптеген жағдайларда нейрондық желілер айнымалылардың көп саны бар сызықты емес жүйелерді модельдеу үшін қажетті есептеу ресурстарының көлемін азайтуға көмектеседі.

- НЖ қолдану ерекшелігі – желі параметрлерін пайдаланушының қатысуынсыз реттейтін оқыту механизмі пайдаланылады. Пайдаланушыдан тек дәстүрлі әдістерге қарағанда әлдеқайда аз эвристикалық білім жинағы қажет.

MATLAB Simulink>Neural Network Toolbox кітапханасының бөлімі НЖ құру және оқыту мысалдарын қамтиды, ал Control Systems бөлімі келесі нейрондық желілік реттегіштерді жүзеге асыру құралдарын қамтиды.



3.1-сурет – Нейрондық желілік реттегіштер

Олар басқару міндеттерінің үш танымал түрін шешу үшін қолданылады:

- Болжамдық реттегіш (NN Predictive Controller) – бұл басқару объектісінің болашақтағы ықтимал реакцияларын болжау негізінде НЖ моделдері арқылы басқару сигналдарын есептейтін реттегіш. Ол басқару объектісінің болашақтағы жауабын оңтайландыруға арналған.

- Сызықты емес авторегрессия және сырғымалы орташа модельге негізделген реттегіш (Nonlinear Autoregressive - Moving Average – NAR-MA-L2) – бұл басқару объектісінің нейрожелілік моделін артқы байланыс арқылы линеаризациялау, оны қайта баптау және оқыту үшін қолданылады. Бұл реттегіш үш архитектураның ішінде есептеу шығындары бойынша ең азын талап етеді, алайда объект сырғымалы орташа модельмен сипатталуы қажет.

– Эталондық модельге негізделген реттегіш (NN Reference Controller) – бұл НЖ реттегіштерін оффлайн режимінде оқыту арқылы бейімделмелі басқару жүйесі. Бұл реттегішті оқыту есептеу жағынан қымбатқа түседі, бірақ эталондық модельмен басқару артқы байланыспен линеаризациялау әдісіне қарағанда кеңірек объектілер класына қолданылады.

Simulink-тен бөлек, MATLAB-та НЖ құруды арнайы графикалық интерфейстер (мысалы, nntool) немесе newff, train, sim сияқты командалық функциялар арқылы жүзеге асыруға болады.

MATLAB-тың нейрожелілік модельдер жинағында Элман (Elman), Хопфилд (Hopfield), Персептрон (Perceptron), ықтималдық желісі (Probabilistic Network), Кохоненнің өздігінен ұйымдастырылатын картасы (Self Organizing Map) және т.б. желілер қамтылған.

3.2 Нейрондық желіні құру кезеңдері

НС құрудың негізгі кезеңдері мыналарды қамтиды:

- Желіні оқытуға арналған деректерді дайындау;
- Желі құру;
- Желіні оқыту;
- Желіні тестілеу;
- Желіні модельдеу (Желіні берілген тапсырманы шешу үшін пайдалану).

Желіні оқытуға арналған деректерді дайындау

Желіні оқытуға арналған деректерді дайындау кезінде кіріс РРР және шығыс ТТТ оқыту тізбектерінің өлшемдерін анықтау қажет. Кіріс және шығыс векторларының мәндері -1-ден +1-ге дейінгі диапазонда орналасқаны дұрыс. Алайда, бұл шектеуді нормалау әдістері арқылы айналып өтуге болады.

Желі құру. Желі архитектурасын таңдау әзірлеушінің тәжірибесіне негізделеді. Әзірлеуші келесі параметрлерді таңдайды:

- Желінің қабаттар саны;

- Қабаттағы нейрондар саны. Кіріс және шығыс қабаттарындағы нейрондар саны кіріс және шығыс векторларының өлшемдеріне сәйкес келуі керек;

- Қабаттың беру функциясының түрі;

- Оқыту алгоритмі, мысалы, `trainlm` (әдепкі бойынша). Алгоритмдер оқу жылдамдығымен және пайдаланылатын ресурстар көлемімен ерекшеленеді.

Желі құруға арналған команданың мысалы:

```
>>net=newff(minmax(P),[21,15,3],{'logsig' 'logsig' 'purelin'},'trainlm'); Net  
нейрондық желі нысанын mat файлындағы дискіге сақтауға болады.
```

Желіні оқыту:

Оқытудан бұрын мыналарды көрсету керек

- оқу параметрлері (бағалау функциясы);
- оқуды аяқтау критерийі-оқыту аяқталған болып саналатын ауытқу;
- оқу циклдерінің максималды саны.

Оқу процесі функцияны бағалаудың оқу циклінің нөміріне тәуелділігі графигімен суреттелген.

Дайындалған `P` және `T` деректер массивтері бар желілік оқыту командаларының мысалы: *% параметры обучения:*

```
>>net.performFcn='sse'; % функция вычисления ошибки  
>>net.trainParam.goal=0.01; % точность (предел)  
>>net.trainParam.epochs=1000; % количество циклов обучения  
>> [net,tr]=train(net,P,T); % обучениесети net  
>>nntraintool % результатобучения
```

Есептелген графикалық оқыту нәтижелерін интерфейс терезесінде көруге болады 'Neural Network Training (nntraintool)' және түймелермен ашылатын терезелер Performance, 'Training State' и Regression.

Желіні тестілеу:

Нейрондық желіні пайдаланбас бұрын, `p_test` кіріс векторларының сынақ массивіндегі желі нәтижелерінің сенімділік дәрежесін зерттеу керек, ол оқыту үшін пайдаланылған `t` массивінен өзгеше болуы керек.

Желі нәтижелерінің дұрыстығын бағалау үшін эталондық мәндерді сынақ массиві желіге әсер еткенде алынған мәндермен салыстыру кезінде алынған регрессиялық талдау нәтижелерін пайдалануға болады.

Желілік тестілеу командаларының мысалы:

```
>>Y_test = sim(net, P_test); % запусксети net сP_testданными  
>> [m,b,r] = postreg(Y_test, T); % нәтижелерді салыстыру
```

Желіні модельдеу:

MATLAB жүйесінде `p_in` кіріс деректерімен желіні модельдеуді пәрмен арқылы іске қосуға болады

```
>> Y=sim(net, P); % запуск сети net с P_in данными
```

Simulink-ке NS моделін экспорттау

Simulink моделі үшін `net` нейрондық желі блогын құруды команда жасай

алады

>>*gensim(net)*;

Nftool GUI көмегімен NS құрылысының реттілігінің мысалы

Нейрондық желіні құру реті келесі қадамдарды қамтиды.

1) Интерфейсті пәрменмен жүктеу >>nftool;

2) Next интерфейсінің батырмасын таңдау және желіні оқыту үшін деректерді енгізу 'select data' бетіне өту. Сол бетке 'Neural network Start' және 'Fittingapp' батырмаларын басу арқылы немесе интерфейссті жүктеу >>nnstart және 'Fittingapp' батырмасын басу арқылы өтуге болады;

3) Желіні құру үшін Workspace немесе mat файлдарынан бұрын жасалған енгізу және мақсатты мақсатты деректерді таңдау;

4) 'Select data' бетіндегі Next батырмасын басу 'Validationand test data' бетін ашады - бастапқы деректерді (Input және Target) валидацияны (validation) және тестілеуді (Testing) оқыту (Training) үшін деректерге пайыздық бөлу (кездейсоқ). Әдепкі бойынша, бастапқы деректер сәйкесінше 70%, 15%, 15% бөліктерге бөлінеді;

5) 'Validationand Test data' бетіндегі Келесі батырманы басу 'Network Architecture' бетін ашады - жасырын қабаттың өлшемін (қолданылатын нейрондар саны) орнату қажет NS құрылымы. Кіріс және шығыс нейрондарының саны автоматты түрде кіріс кіріс өлшеміне және мақсатты деректер мақсатына тең болады;

6) Train Network-тің келесі келесі бетінде оқыту алгоритмі таңдалады және train батырмасын басу арқылы желіні оқыту басталады;

7) Оқу нәтижесі автоматты түрде ашылатын жаңа "Neural Network Training" бетінде көрсетіледі. Сол бетте нәтижелерді Performance (оқу барысында қатенің өзгеруін көрсетеді), Training State (оқыту күйі), ErrorHistogram (қателер гистограммасы), Regression (оқыту, тексеру және тестілеу жиындарындағы нәтижелердің сызықтық регрессиясы), Fit (желі қатесінің кіріс амплитудасына тәуелділігі) графиктері түрінде көрсетуге арналған түймелер бар;

8) 'Evaluate Network' бетінде бастапқы деректерді қосуға, желі құрылымын өзгертуге және оқытуды толықтыруға болады;

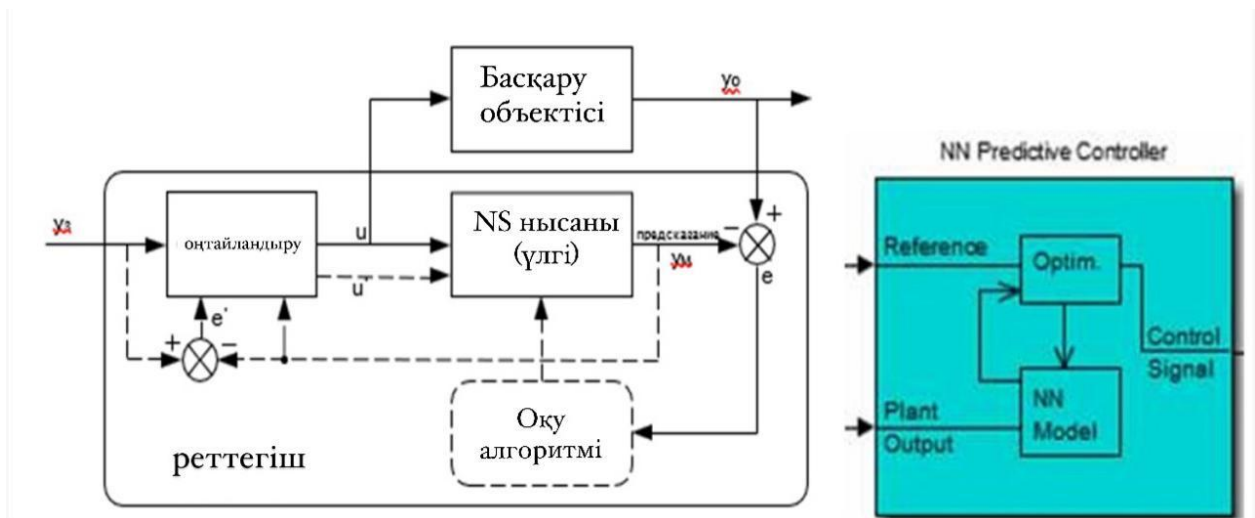
9) "Deploy Solution" бетінде алынған желіні m-файл пішіміне – MATLAB myNeuralNetworkFunction функциясына немесе Simulink моделінің блогына аударуға болады: FunctionFittingNeural Network;

10) Нәтижелерді nftool интерфейсінің 'Save Results' бетінде әртүрлі форматта сақтауға болады;

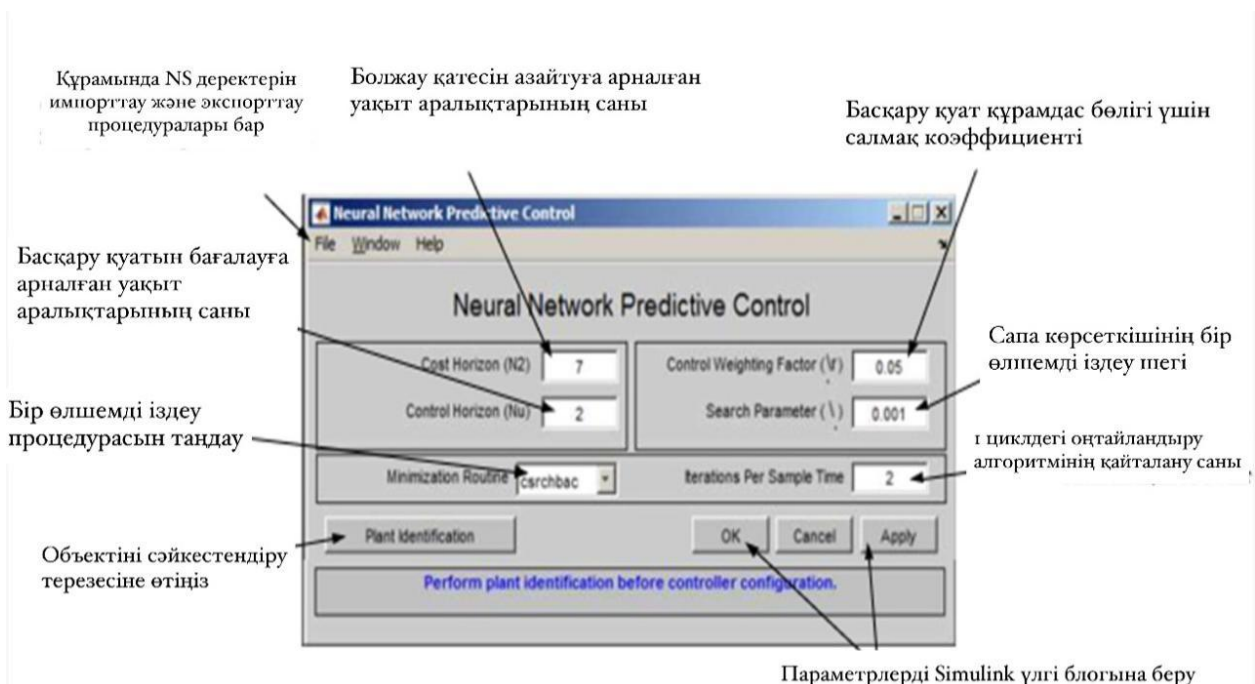
3.3 Нейрондық желі болжамды модельдерге негізделген басқару

Сызықтық емес объектінің мінез-құлқын (ықтимал басқару сигналдарына болашақ реакцияларды) болжау үшін (3.1-сурет) оның нейрондық желісі (NS) қолданылады. Объектінің NS басқарылатын айнымалы (объектінің шығысы)

y_0 және оның NS моделінің y_m шығысы арасындағы сәйкессіздік сигналы бойынша оқытылады. Y_m болжамының y_z тапсырмасынан ауытқуы негізінде және u (объектіге басқару әсері) тарихын ескере отырып, реттеуші u әсерін оңтайландырады.



3.2- сурет – Болжамды және Simulink контроллер блогы бар NS реттегішіне негізделген басқару жүйесінің құрылымы



3.3 - сурет – Нысанды сәйкестендіру терезесін (PlantIdentification батырмасы) шақыруға және реттегіштің NS параметрлерін орнатуға арналған Интерфейс



3.4 - сурет – Деректерді дайындау және NS Simulink объектісін оқытуға арналған Интерфейс

Simulink ортасында үздіксіз араластыратын каталитикалық реакторды басқаруға арналған болжамды NS реттегішін іске асырудың демонстрациялық мысалы бар. Мысалы

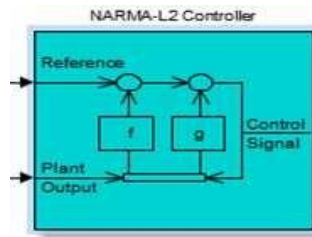
> *predcstr*

пәрменмен іске қосылуы мүмкін

Жылжымалы орташа сызықтық емес авторегрессия моделіне негізделген реттегішпен басқару

Сызықтық емес авторегрессиялық реттегіш Simulink - те ұсынылған үш архитектураның ішінде ең аз есептеу шығындарын талап етеді. Нысан жылжымалы орташа модельмен көрсетілуі керек. Мұнда қатенің кері таралуын қымбат есептеудің орнына шамамен *parma* бақылау моделі қолданылады. Бұл тәсілдің артықшылығы-ағымдағы Басқару белгілі қалаған траектория, басқару тарихы және алдыңғы және ағымдағы Шығыс мәндері бойынша есептеледі.

Simulink кітапханасы>Neural Network Toolbox> Control Systems бөлімі сызықтық емес авторегрессиялық реттегішті іске асыру блогын қамтиды:



3.5 - сурет – Сызықтық емес авторегрессиялық реттегішті

Объектіні сәйкестендіру (НС құру) процедурасы болжамға негізделген реттегіші бар жүйе объектісі үшін жоғарыда сипатталған процедураға ұқсас.

Магниттің левитациясын басқару үшін сызықтық емес авторегрессияға негізделген реттегіші бар жүйенің демонстрациялық мысалы командамен іске қосылуы мүмкін

`>>narmatmaglev`

3.4 Эталондық модель бойынша адаптивті реттеу

Бақылаудың эталонды моделіне негізделген бейімделгіш жүйелер іздеусіз өзін-өзі реттейтін жүйелер класына жатады, ал мұндай жүйелерді басқару тікелей бейімделгіш басқару деп аталады. Мұндай басқаруда бейімделу (өзін-өзі баптау) контурлары жабық цикл бойынша жұмыс істейді. Әрбір өзін-өзі баптау контуры жүйенің ретін арттырады және осы арқылы жабық жүйенің жалпы динамикасына айтарлықтай әсер етеді.

Эталонды моделмен нейрожелі (НС) реттегішіне негізделген басқару жүйесінің құрылымы 3.6-суретте көрсетілген. Эталонды модель жүйенің берілген сигналға (y_z) идеалды қалаулы реакциясын ($y_{мэ}$) көрсетеді. Эталонды модель ретінде автоматты басқару жүйелерінің типтік буындары (мысалы, апериодтық буын) қолданылады. Реттегіш екі нейрожелі моделін пайдаланады: реттегіштің және объектінің. Ең алдымен объектінің моделі бапталады (үйретіледі). Содан кейін реттегіштің нейрожелі моделі үйретіледі. Баптаудың мақсаты — эталонды модельдің шығысы ($y_{мэ}$) мен объектінің (нақты жүйенің) шығысы (y_o) арасындағы айырманы белгілі бір уақыт ішінде нөлге дейін азайту, бұл ретте ауысу процесінің орнықтылығы кепілдендіріледі.



3.6 сурет - Эталонды моделмен НС реттегішіне негізделген басқару жүйесінің құрылымы және Simulink кітапханасындағы реттегіш блогының белгіленуі

Егер Performance графигінде көрсетілген қателіктің өзгерісі үйрету процесінде жеткілікті дәрежеде азаймаса, реттегішті сол деректер жиыны негізінде қайта үйретуге болады (Train Controller батырмасын басу арқылы), жаңа деректер жиынын жасауға (Generate Data) немесе оларды импорттауға (Import Data) болады. Simulink ортасында эталонды модельге негізделген реттегішпен робот тізбегінің қозғалысын басқарудың демонстрациялық мысалдары бар. Нормаланбаған деректермен мысалды келесі команда арқылы іске қосуға болады:

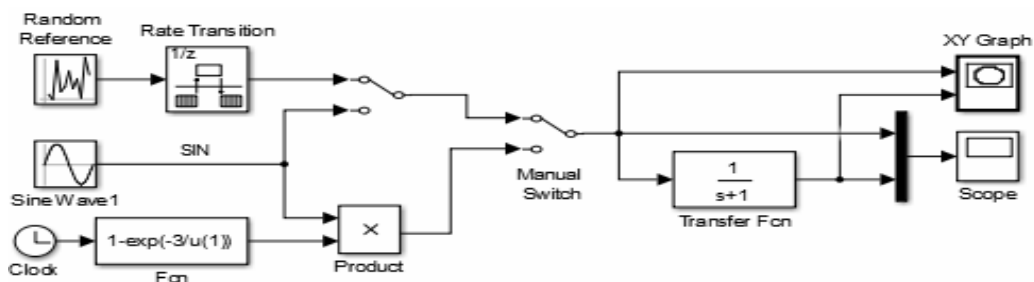
```
>>mrefrobotarm
```

Нормаланған деректермен мысалды іске қосу пәрмені:

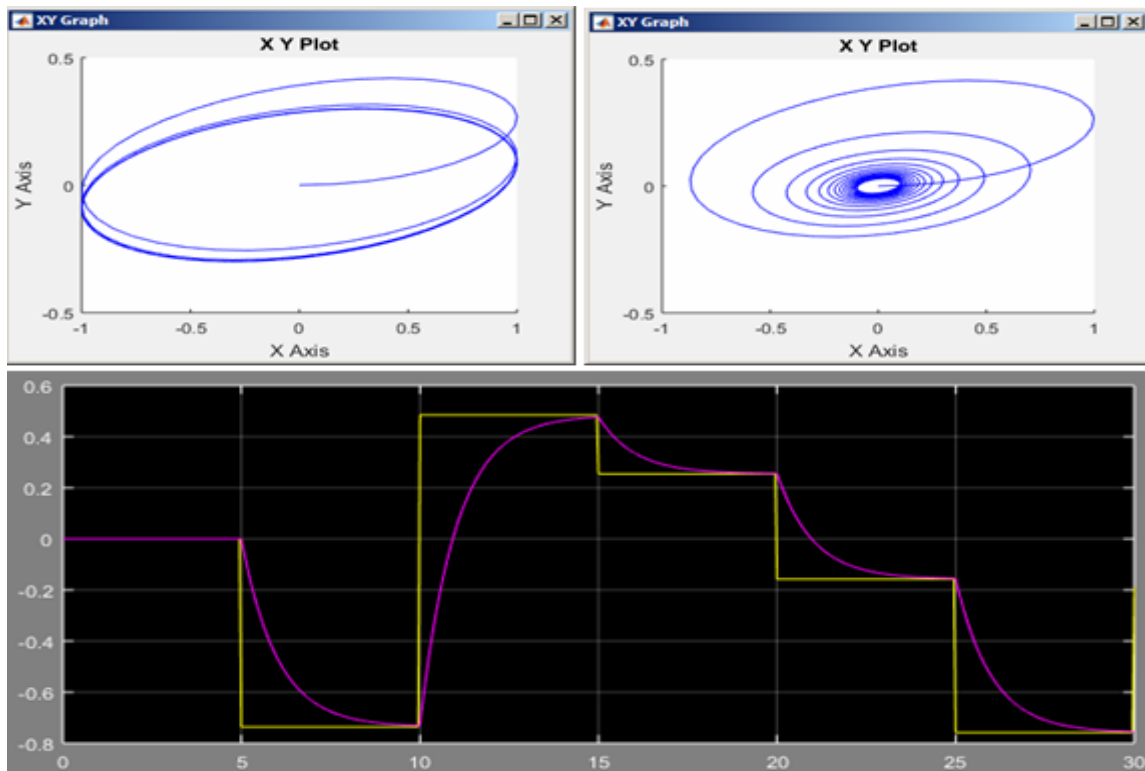
```
>> mrefrobotarm2
```

3.6 Адаптивті реттегішке арналған эталондық модельдерді құру

Анықтамалық Simulink моделін құрыңыз, фазалық жазықтықтағы өтпелі процесс және қадамдық әсерге жауап беру уақыт кестесі (3.7-сурет).



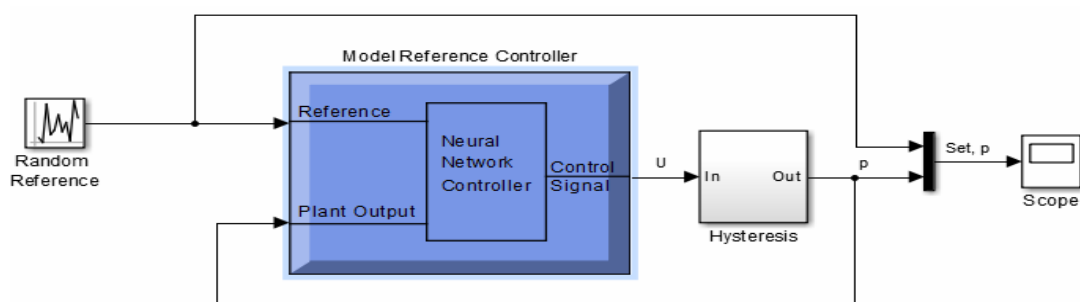
3.7-сурет - Эталондық модель-апериодтық-буындық реакция фазалық модель және уақыт аймақтары



3.8 сурет - Эталондық модель-апериодтық-буындық реакцияфазалық модель және уақыт аймақтары

3.6 Нейрондық желіні құру адаптивті басқару моделі эталондық модель

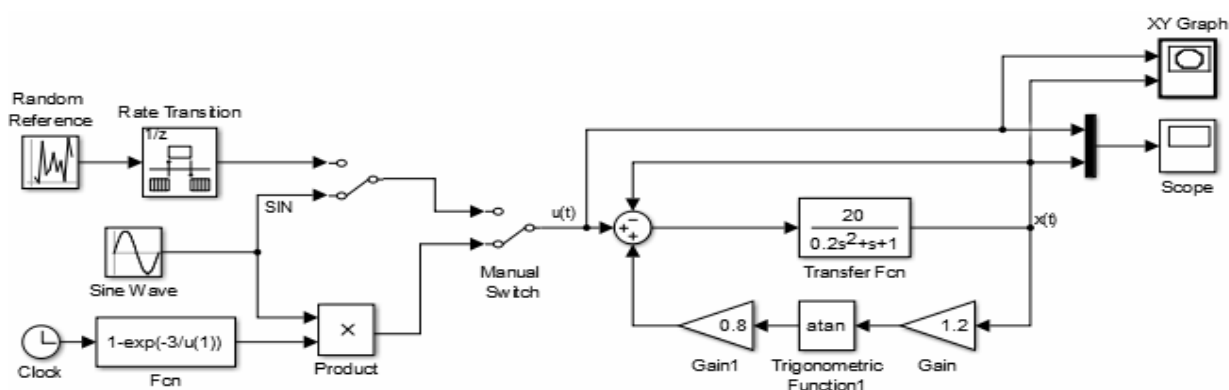
1) Анықтамалық модельмен адаптивті басқару моделін құрыңыз (3.9-сурет). Нысан ретінде (Hysteresis блогы) көрсетілген модельді алыңыз 3.9-сурет.



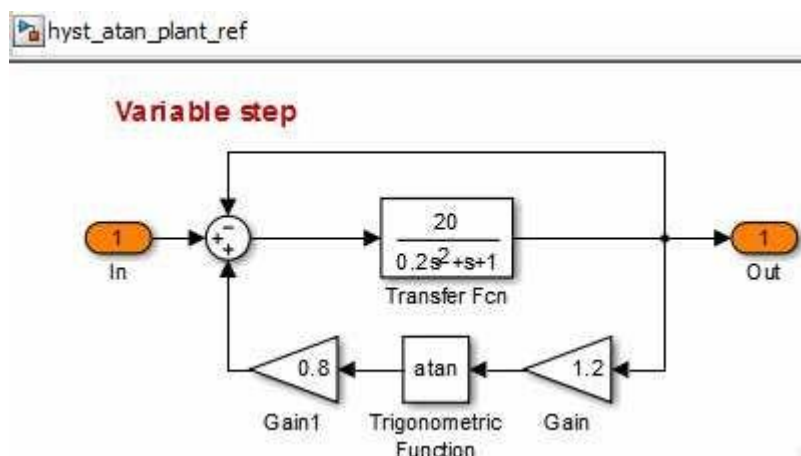
2)

3.9 - сурет – Simulink модель жүйелері адаптивті басқарудың эталон моделі

2) Гистерезис үлгісін бөлектеніз (3.10 - сурет.) төменде көрсетілгендей және оны бөлек файлға сақтаңыз.

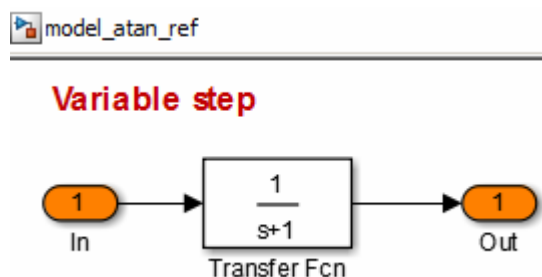


3.10- сурет – Модельді модификациялау гистерезисі



3.11- сурет – Модельді модификациялау

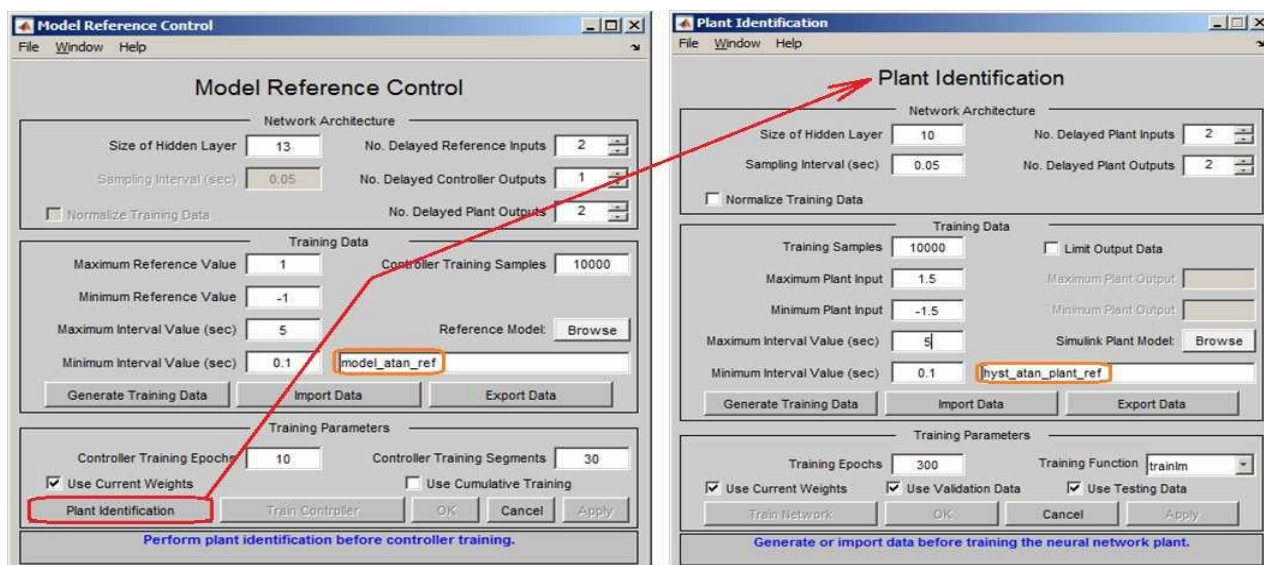
3) Анықтамалық модельді бөлектеніз (3.12-сурет) төменде көрсетілгендей және оны бөлек файлға сақтаңыз.



3.12– сурет – ‘Plant Identification’ объектісінің интерфейсі

4) Төмендегі суретте көрсетілген параметрлерді НС басқару жүйесінің 'Model Reference Controller' блогына енгізіңіз (3.6-сурет). Оң жақ терезе ('Plant Identification' объектісінің интерфейсі), төменде көрсетілгендей, сол жақтағы 'Model Reference Control' терезесіндегі сәйкес батырманы басы арқылы ашылады. Оң жақ терезедегі параметрлердің тағайындалуы 3.13-суретте көрсетілген.

Сол жақ терезеде эталонды модельдің атын (3-тармақ), ал оң жақ терезеде бейсызық объектінің жеке моделінің атын (2-тармақ) көрсетіңіз, төмендегі суреттегідей.



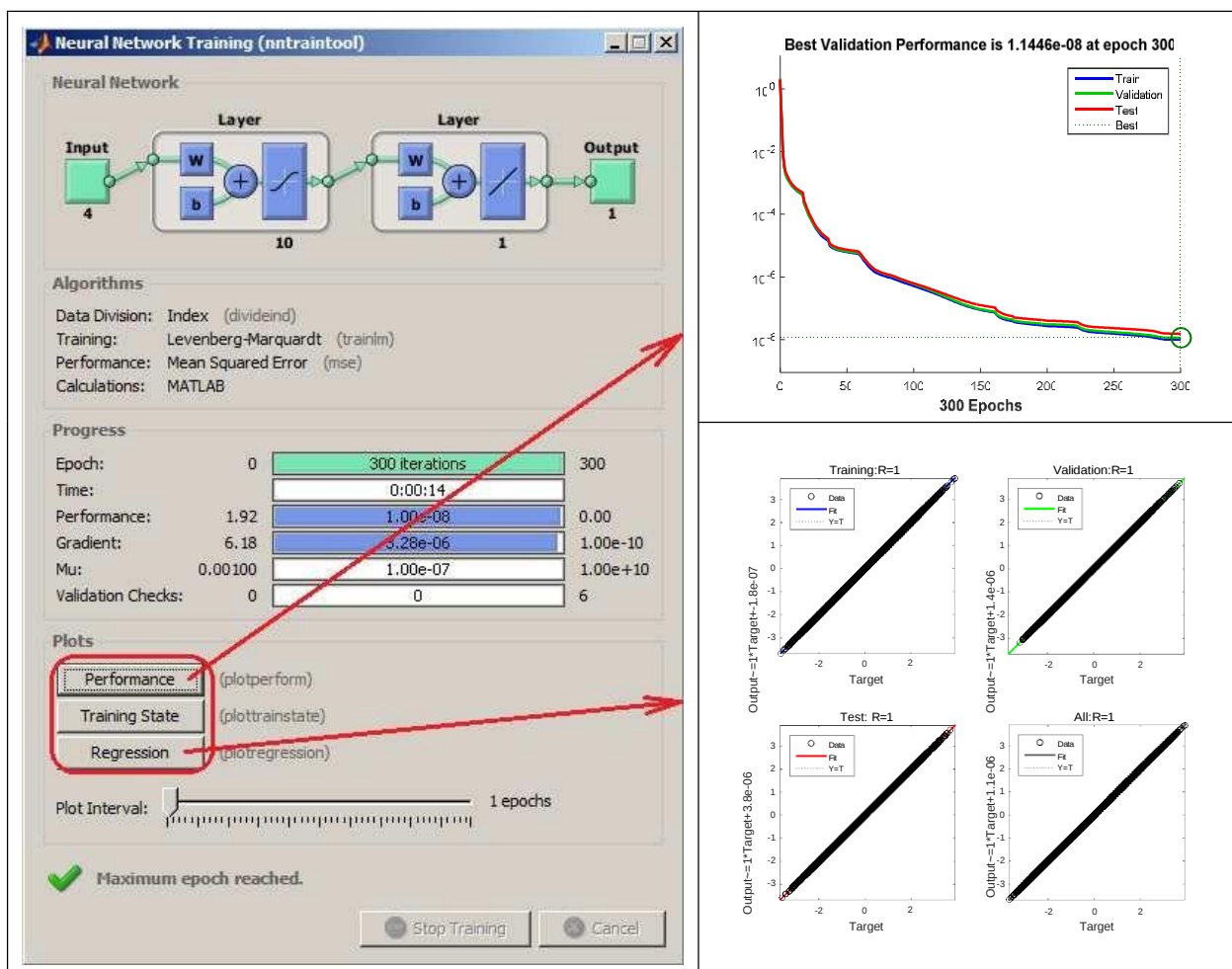
3.13- сурет – "PlantIdentification" интерфейсі

5) Алдымен "PlantIdentification" интерфейсі арқылы нысан моделі конфигурацияланады. Нысанның NS моделін үйрету үшін деректерді дайындаңыз - 'Generate Training Data' батырмасын басыңыз. Процестің аяқталуын күтіңіз. Деректерді дайындау айтарлықтай уақытты алуы мүмкін.

6) Егер "PlantInput" және "PlantOutput" сызбалары қанағаттанарлық болса, оны графиктердің астындағы "деректерді Қабылдау" батырмасын басы арқылы растаңыз. Нысанның NS-ін оқыту үшін алынған деректерді Workspace-ке немесе mat файлына экспорттауға болады, ол үшін "деректерді экспорттау" батырмасын пайдаланыңыз.

7) "Plantidentification" терезесінің "Train Network" батырмасын басы арқылы объектінің NS тренингін бастаңыз.

8) Ашылған терезелердің деректерін сақтаңыз және Performance, 'Training State' және regression графиктерін ашыңыз құрылады сәйкес батырмалар терезеде 'NewralNetwork Training':



3.14 - сурет – Процесс оқыту, реттегіштері

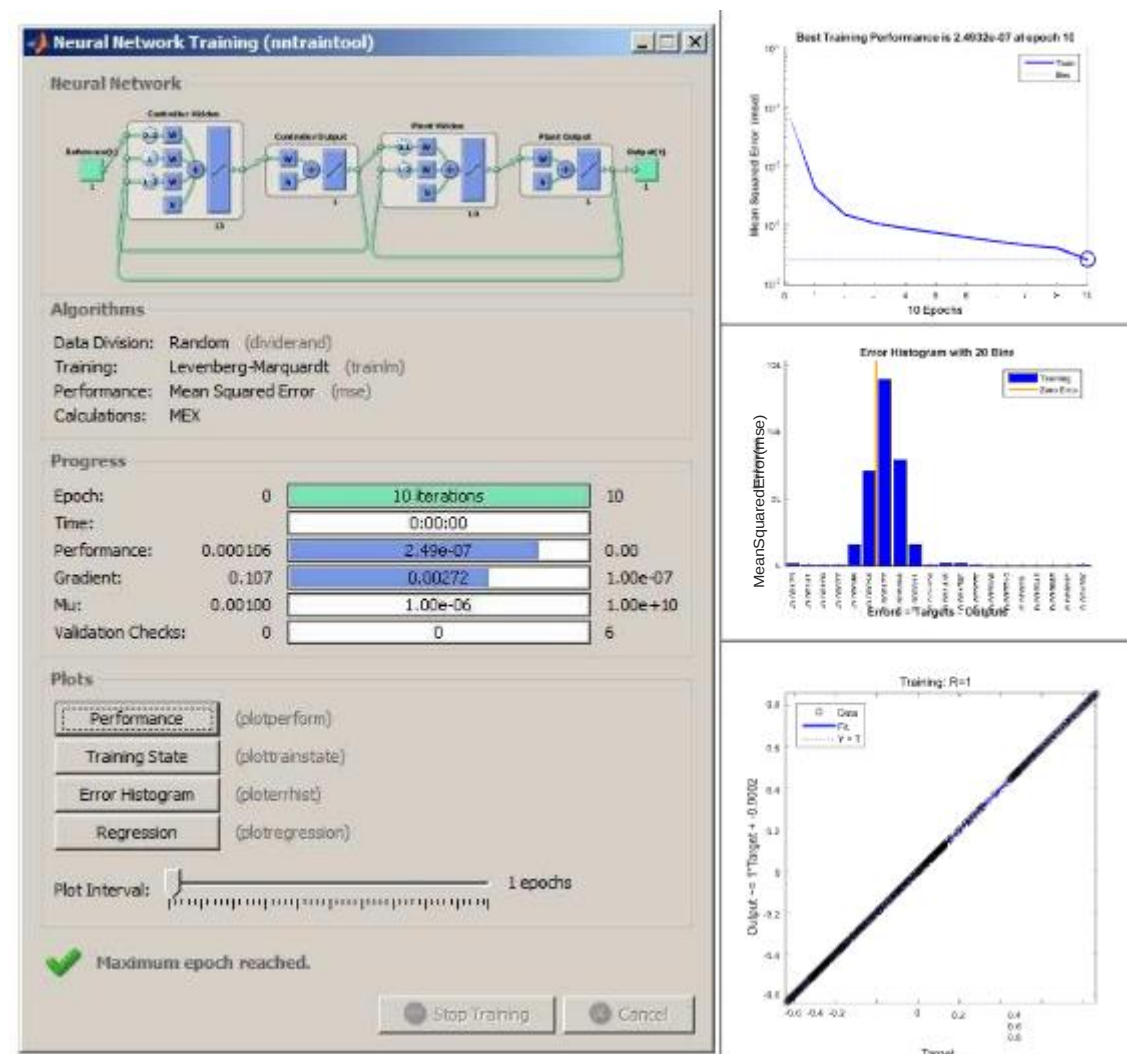
9) Қанағаттанарлық оқу нәтижелері үшін "Plant identification" терезесінде apply немесе OK түймесін басу арқылы оқу нәтижелерін сақтаңыз.

10) "Model Reference Control" интерфейсі арқылы реттегішті орнату кезеңі басталады. NS реттегішін оқыту үшін деректерді дайындаңыз - 'GenerateTraining Data'батырмасын басыңыз. Процестің аяқталуын күтіңіз.

11) Егер "Reference model Output" реакциясының және "Reference Model Input" анықтамалық моделінің әсерінің сызбалары қанағаттандырылса, графиктердің астындағы 'accept Data' түймесін басыңыз. NS реттегішін оқыту үшін алынған деректерді Workspace немесе mat файлына экспорттауға болады, ол үшін "деректерді экспорттау" батырмасын пайдаланыңыз.

12) Басутүймелері 'Traincontroller' іске қосыңыз процесс оқыту, реттегіштер.

13) Ашылған терезе деректерін сақтаңыз және тиісті түймелерді басу арқылы жасалатын Performance, 'Training State', 'ErrorHistogram' regression графиктерін ашыңыз

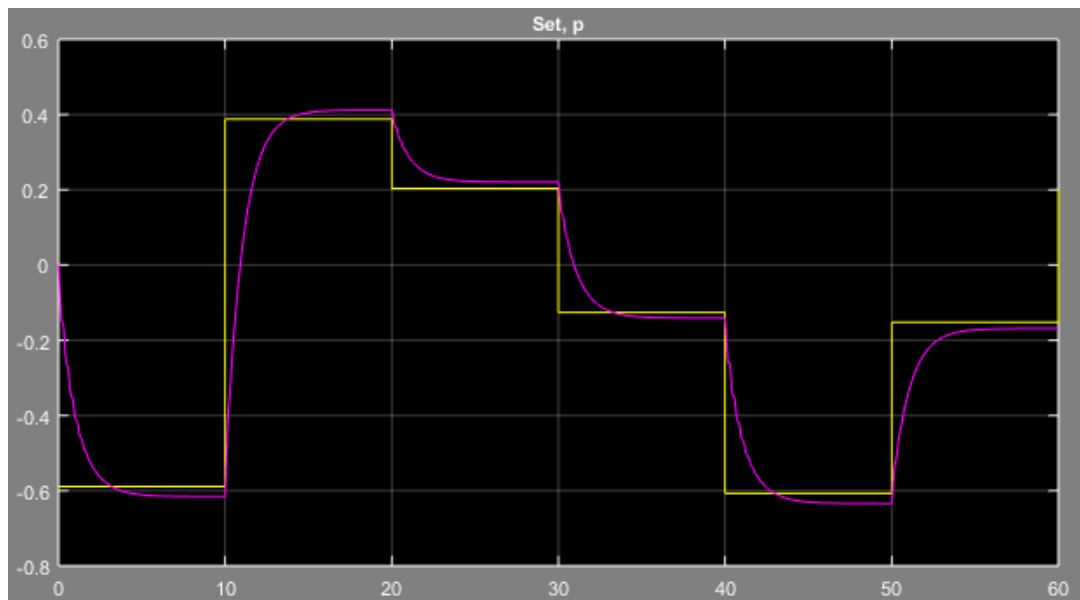


3.15 - сурет – Анықтамалық модельмен адаптивті басқару

14) Егер анықтамалық модельді бақылау дәлдігі қанағаттанарлықсыз болса-реттеушіні оқытуды жалғастырыңыз. Қанағаттанарлық оқу нәтижелері үшін түймесін басыңыз Apply немесе ОК терезелер 'Model Reference Control'.

15) Анықтамалық модельмен адаптивті басқару жүйесінің моделін іске қосыңыз (3.15-сурет)және құрылыс график реакциялар жүйелер жабдықтау көрсеткіштер болып табыладыкез-келген жағдайда -0,8-ден +0,8-ге дейін, 10 С аралықта.жүйенің қанағаттанарлықсыз әрекеті үшін оқытуды ескі немесе жаңа деректермен қайталаңыз.

Назар аударыңыз. Simulink кітапханасының 'model referencecontroller' блогы нейрондық желілерді оқыту нәтижелерін есте сақтайды, сондықтан жаңа реттегішті жобалау кезінде кітапханадан жаңа блокты алу керек. Модель параметрлерін өзгерткен кезде сынақ деректерін импорттау немесе жасау және объект моделін үйрету қажет.



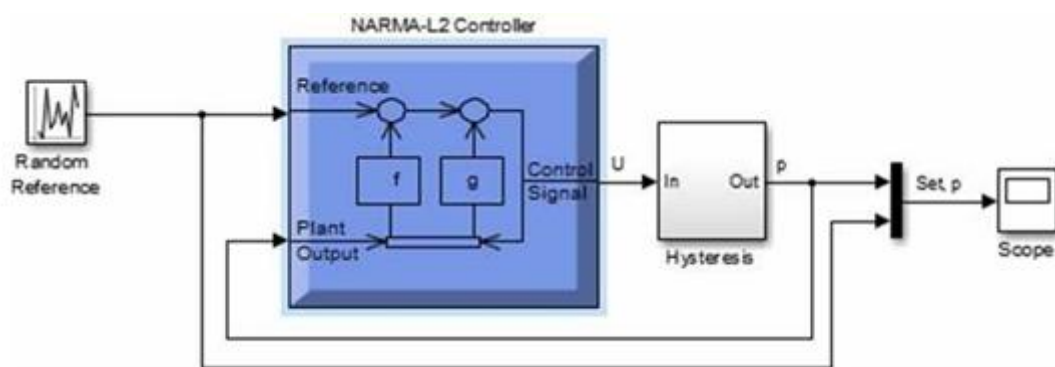
3.16 - сурет - Адаптивті басқару жүйесінің эталондық модельмен қадамдық әсерге реакциясы.

Реакция монотонды сипатқа ие, басқару қателігі шамамен 7% құрайды.

16) Адаптивті басқару жүйесі моделінің реакциясын (3.15-сурет) автономды анықтамалық модельдің реакциясымен салыстырыңыз (3.16 - сурет).

3.7 Жылжымалы орташа сызықтық емес авторегрессия реттегіші бар басқару жүйесінің нейрондық желілік моделін құру

Simulink құрастырыңыз сызықтық емес типті нысанды басқару моделі гистерезис (3.16-сурет) төмендегі суретте көрсетілгендей.

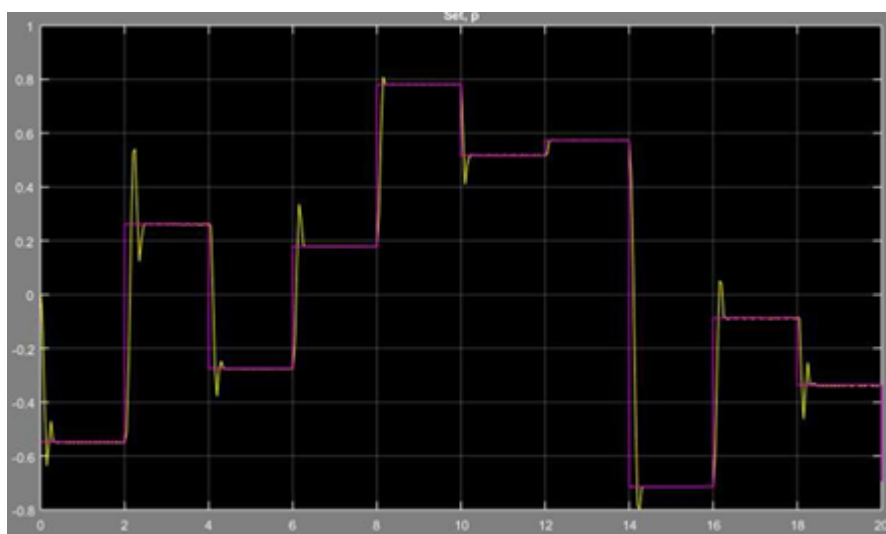


3.17 – сурет – Сызықтық емес типті нысанды басқару моделі

1) Толтырыңыз параметрлер блок 'NARMA-L2Controller':

3.18 – сурет – 'NARMA-L2Controller' блогы

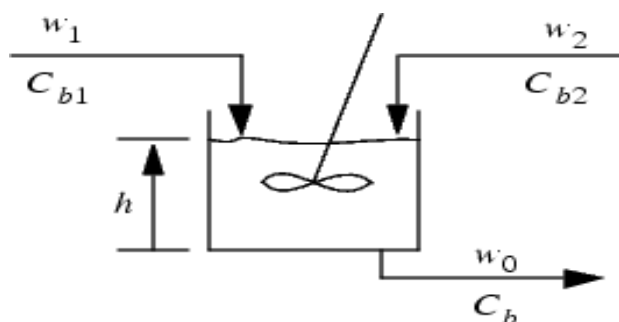
- 2) Оқыту деректерін дайындаңыз ('Generate Training Data' батырмасын басыңыз).
- 3) Нейрондық желіні оқытуды орындаңыз ('Train Network' батырмасын басыңыз). Оқытудың нәтижелерін талдаңыз және сақтаңыз.
- 4) НС басқару жүйесінің баспалдақты (сатылы) әсерге реакциясын құрыңыз.



3.19 – сурет – НС басқару жүйесінің баспалдақты (сатылы) әсерге реакциясы

3.7 Эталонды модельге негізделген нейрожелі реттегіші бар автоматты басқару жүйесі

Simulink ортасындағы нейрожелі реттегіштерін қолданатын басқару жүйелерін модельдеудің мысалы ретінде толық араластыру реакторын эталонды модельмен басқару жүйесін иллюстрациялайтын мысалды қолданамыз (3.20-сурет).



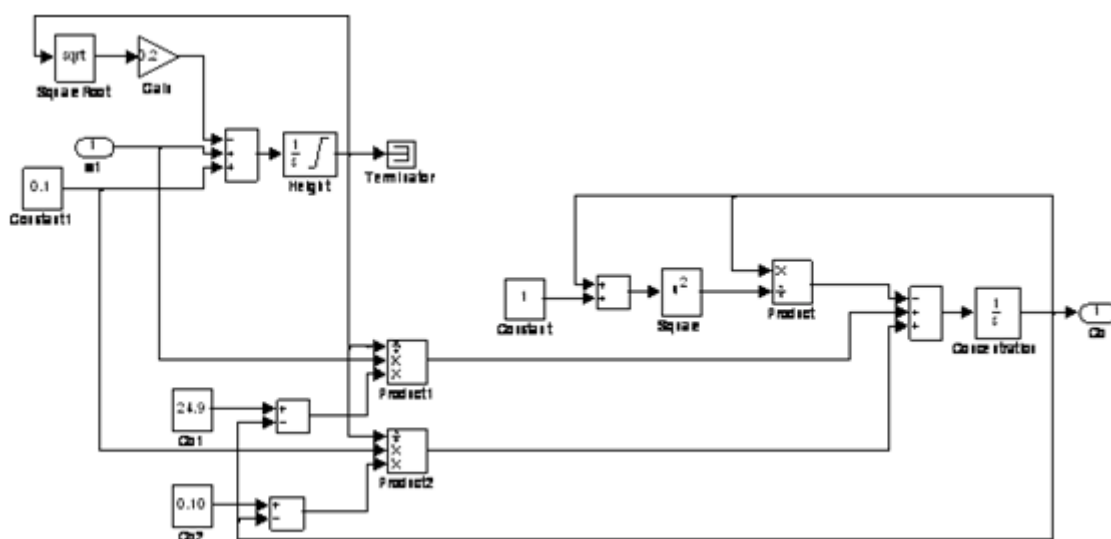
3.20-сурет - реакторды толық араластыру (w_1, w_2, w_0 - шығындар, h - деңгей, C_{b1}, C_{b2}, C_b - компоненттердің концентрациясы сәйкесінше, кіріс-шығыс реакторы).

Реактордағы және одан шығатын концентрацияның өзгеруі, сондай-ақ реактордағы сұйықтық деңгейі (жүйенің динамикалық моделі) келесі дифференциалдық теңдеулер жүйесімен ұсынылған (алынған) материалдық баланстың теңдеулері):

$$\begin{aligned} \frac{dC_b(t)}{dt} &= (C_{b1} - C_b(t)) \frac{w_1(t)}{h(t)} + (C_{b2} - C_b(t)) \frac{w_2(t)}{h(t)} - \frac{k_1 C_b(t)}{(1 + k_2 C_b(t))^2} \\ \frac{dh(t)}{dt} &= w_1(t) + w_2(t) - 0.2 \sqrt{h(t)} \end{aligned} \quad (3.7)$$

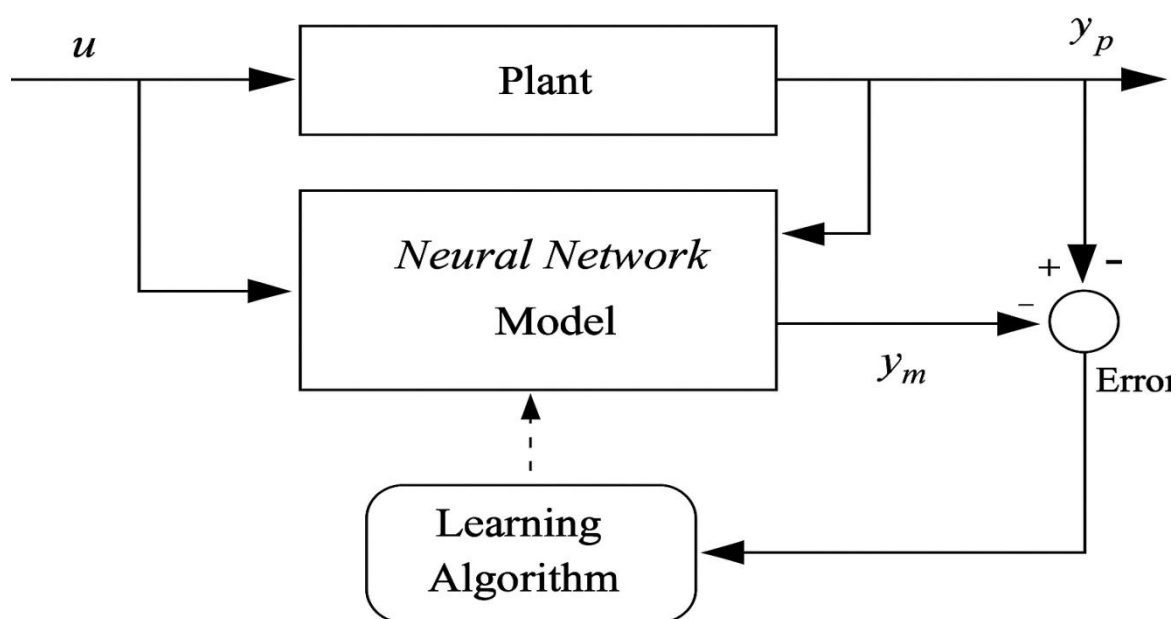
$k_1=1$ және $k_2=1$ -константтар, $C_{b1}=24.9, C_{b2}=0.1$.

Автоматты басқарудың мақсаты-тұрақтандыру концентрациясыөнім, реттеледі $w_1(t)$ ағыны ($w_2(t) = 0.1$ ағыны тұрақты мән болып табылады). $h(t)$ резервуар деңгейі басқарылатын параметр емес. Реттеу объектісінің сәйкес динамикалық моделі суретте көрсетілген. 3.10.



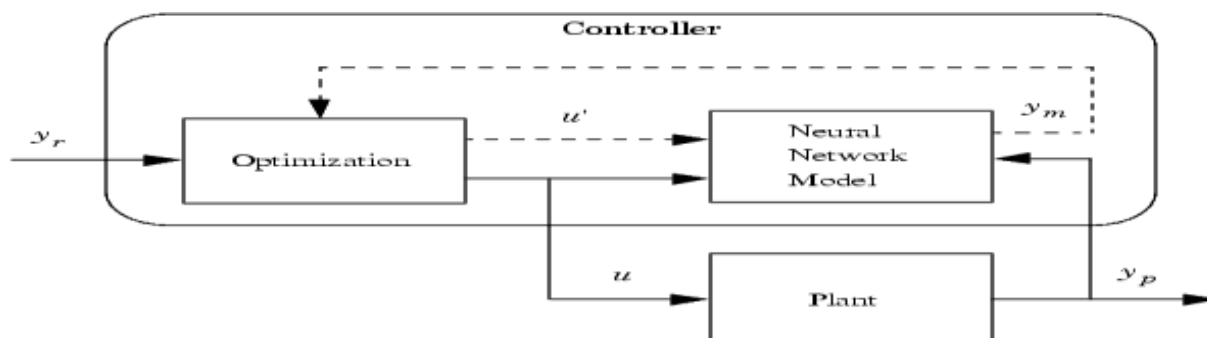
3.21 – сурет – Реактордың құрылымдық динамикалық модели

Басқару жүйесін құру принципін түсіндіретін құрылымдық диаграмма 3.21 суретте көрсетілген. Автоматты реттегіш объектінің нейрондық желілік моделінен және оңтайландыру блогынан тұрады 3.21 сурет).

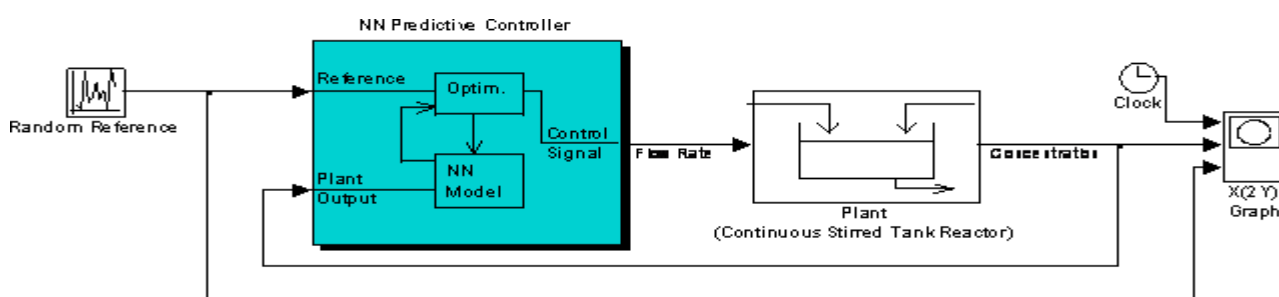


3.22 - сурет - Басқару жүйесі (Plant-басқару объектісі, learning algorithm-оқыту алгорит

Оңтайландыру блогы объектінің кірісіне берілетін басқару параметрінің (u) оңтайлы мәнін анықтайды (3.22 сурет).

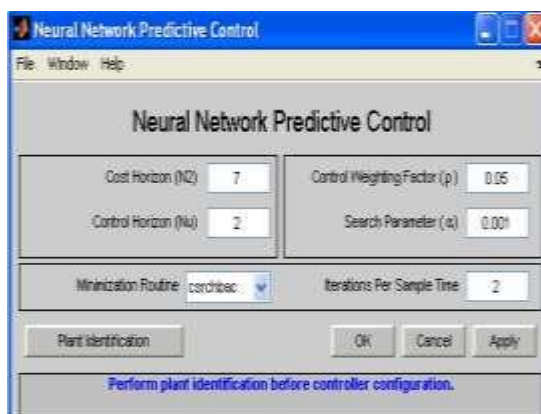


3.23 - сурет - Блокоптимизация



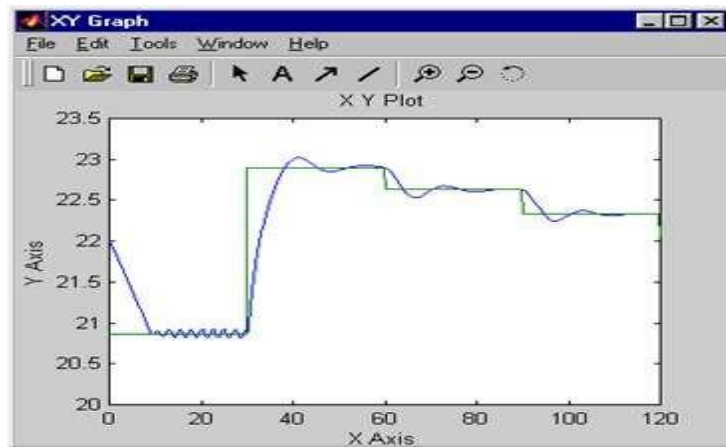
3.23 - сурет - Толық араластыру ректорын басқару жүйесінейрожелілік құрылымы (randomreference - бағдарлама объектінің Simulink моделіне кездейсоқ сигналдарды қолдану арқылы білім беру деректерін жасайды).

3.24-сурет - Neural Network PredictiveControl терезесінде және PlantIdentification терезесінде реттегіштің NS моделінің қалай құрылғанын көрсетеді (ρ -салмақ факторы, α -оңтайландыру параметрі).



3.25 - сурет -реттегіштің нейрондық желілік моделін құру

3.26 - сурет - реактор шығысындағы өнімнің концентрациясын реттеу кестесі көрсетілген.



3.27 - сурет – Өнімнің реактор шығысындағы концентрациясын реттеу кестесі

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде заманауи автоматтандыру және басқару тәсілдеріне негізделген өндірістік газдарды шаңнан тазарту процесін басқару жүйесі әзірленді.

Өндірістік газдарды электрофилтрлер арқылы тазарту технологияларын талдау тазарту тиімділігіне әсер ететін негізгі факторларды анықтауға мүмкіндік берді. Оларға газдардың шаңдану деңгейі, электрофилтрдің электрлік жұмыс режимі және процесс параметрлерін дәл басқару жатады. Алынған мәліметтер негізінде басқару жүйелерін синтездеу әдістері ұсынылды. Бұл әдістерге ПИД-регуляторды баптау және пайдаланудың өзгермелі жағдайларына бейімделу үшін бұлдыр логикаға негізделген реттегіштерді қолдану жатады.

Әзірленген электрофилтрді басқару жүйесі газдарды тазарту кезіндегі электрлік режимді неғұрлым дәл реттеуді қамтамасыз етеді. Бұл тазарту тиімділігін арттыруға, энергия шығындарын азайтуға және жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға ықпал етеді. Ұсынылған шешімдерді енгізу өндірістік шығарындылардың қоршаған ортаға теріс әсерін барынша азайтуға мүмкіндік береді және экологиялық қауіпсіздік бойынша қазіргі талаптарға жауап береді.

Болашақ зерттеулердің келешегі – газдарды тазарту процестерін оңтайландыру үшін жасанды интеллект әдістерін дамыту, сондай-ақ әзірленген басқару жүйелерін ірі өндірістік автоматтандыру кешендеріне интеграциялау. Бұл өндірістік газдарды тазарту процестерін автоматтандыру және интеллектуалдандыру деңгейін арттырып, өнеркәсіптің тұрақты даму жолындағы маңызды қадам болады.

Зерттеу барысында келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

- шығатын технологиялық газдарды электрлік тазарту процесі талданып, оның үздіксіз бейсызық жүйелер класына жататыны анықталды. Газ ағынының ылғалдылығы, химиялық құрамы, дисперстілігі және шаңның меншікті электрлік кедергісі бойынша сенсорлардың болмауы объектіні толық емес ақпаратпен басқару проблемасын туындатады;

- электрофилтрлерді басқару практикасын талдау көрсеткендей, басқару көбінесе газдарды тазарту технологиялық режимінің жекелеген параметрлерін реттеуге негізделеді, ал басқару параметрлерінің өзара байланысы ескерілмейді. Бұл электрофилтрдің жұмыс тиімділігінің төмендеуіне әкеледі;

- ғылыми әдебиет пен қолданыстағы басқару тәжірибелерін саралау көрсеткендей, газдарды электрлік тазарту процесін тиімді басқаратын оңтайлы шешімдер әлі жоқ;

- электрофилтрлерде газдарды электрлік тазарту жүйелерін құру бойынша белгілі зерттеулерге сыни талдау жүргізілді. Нәтижесінде, үздіксіз көпсатылы объектілерді басқарудың қазіргі талаптарына сай келетін математикалық модельдерді әзірлеуге бағытталған кешенді жұмыстардың

жоқтығы анықталды. Қазіргі бар басқару жүйелері бірқатар елеулі кемшіліктерге ие екені көрсетілді;

- басқарылатын объектінің ерекшеліктерін, сондай-ақ технологиялық процестерді математикалық сипаттау мен басқарудың заманауи әдістері мен тәсілдерін ескере отырып, электрофилтрді басқару қағидаттары анықталып, зерттеу міндеті тұжырымдалды;

- электрофилтрді басқару процесі кернеуді, газдың шандануын және ағынын нақты уақытта автоматты реттеуді қамтамасыз ететін интерактивті жүйе түрінде ұсынылды. Бұл сүзгілеудің жоғары тиімділігіне қол жеткізуге және энергия тұтынуды азайтуға мүмкіндік береді, бұл өндірістік жағдайларда ерекше маңызды;

- дайындалған интеллектуалды басқару жүйесі электрофилтрдің параметрлерін бейімделе реттеуді қамтамасыз етеді. Бұл жүйе электрлік режимдер мен жұмыс жағдайларының өзгерістеріне жедел әрекет етуге мүмкіндік береді. Нәтижесінде сүзгілеу процесінің тиімділігі артып, энергия шығындары азаяды және құрылғының тұрақты жұмысы қамтамасыз етіледі

- электрофилтрді басқарудың бұлдыр (нечёткий) жүйесін әзірлеу және сынақтан өткізу заманауи басқару әдістерін интеграциялау сүзгілеу тиімділігін едәуір арттыратынын көрсетті. Өлшенген параметрлер негізінде автоматты реттеу жүйе сипаттамаларының тербелістерін барынша азайтып, процестің тұрақтылығын арттырды;

Диссертациялық жұмыс барысында келесі міндеттер сәтті шешілді:

- өндірістік газдардың сапалық көрсеткіштері мен өлшенетін технологиялық параметрлер (температура, қысым, шығын және т.б.) арасындағы өзара байланысты анықтауға мүмкіндік беретін электрофилтрдің электрлік режимін басқару әдісі әзірленді;

- бұлдыр жиындар теориясы мен нейрондық желілер әдістеріне негізделген электрофилтрлердің электрлік режимін басқару модельдері жасалды;

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы мен ұсыныстары мынадай:

Жұмыста ұсынылған теориялық және практикалық зерттеу нәтижелері электрофилтрлерде газдарды тазарту жүйелерін әзірлеу үшін әдістемелік негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін. Құрылған басқару жүйесі басқарудың сапасы мен жеделдігін арттыру арқылы технологиялық процестің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелер негізінде технологиялық процестің экономикалық тиімділігін бағалау көрсеткендей, интеллектуалды басқару жүйесі өндірістік газды тазартудың әртүрлі жұмыс режимдерінде тиімді шешімдер қабылдауды қамтамасыз етеді. Осылайша, бұл жүйе сенімділікті кепілдейді және пайдалы әрекет коэффициентін (ПӨК) 99,6% және одан жоғары деңгейге дейін арттырады.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЭБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: «Химия» 1967. – 343с.
- 2 Левитов В.И. Дымовые электрофильтры. М.: Энергия. 1980.- 448с.
- 3 Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Металлургия. 1986.- 544с.
- 4 Страус В. Промышленная очистка газов. Перевод Ю.Я. Косого. М.: Химия, 1981.-616с.
- 5 Верещагин.И.П., Левитов В.И., МирзабекянГ.З.,ПашинМ.М. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М.:Энергия.1974.–480 с.
- 6 Чекалов Л.В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. М.МЭИ, 2007.–25с.
- 7 Санаев Ю.И. Обеспыливание газов электрофильтрами. Семибратово.ЗАО«Кондор-Эко» 2009.- 160 с.
- 8 Санаев Ю.И. Определение удельного электрического сопротивления пыли непосредственно в электрофильтре.// Химическое и нефтегазовое машиностроение. №9. 2011. –С.35-37.
- 9 Гурвиц А.А. Справочник по пылеулавливанию. М.Химия.1989. –320с.
- 10 Уоткинс Э., Дарби К.Применение электростатического осаждения пыли в чёрной металлургии. «Металлургия».1968.–С57-70,
- 11 Биргер М. И, ВальдбергА.Ю.,МягковБ.И.под. общей ред. А.А.Русанова.-2-е изд. Перераб.идополн. -М.: Энергоатомиздат, 1983.-312с.
- 12 Веремьёв К.А. О ёмкости электрофильтра. Труды НИПИОТСТРОМ. 1971. С.9-11.
- 13 Мирзабекян Г.З., Руденко В.М., Шеваленко И.С. Исследование режима питания электрофильтра, обеспечивающего отсутствие обратного коронного разряда//Электронная обработка материалов.АН Молдавской ССР,1978, №2.С.–10-15.
- 14 Скрябина Л.Я. Атлас промышленных пылей. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, Серия ХМ-14. 1980.–с.18-33
- 15 Чекалов Л.В. Научные основы создания электрогазоочистного оборудования нового поколения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. М.МЭИ, 2007.–25с.
- 16 Санаев Ю.И.Экспериментальное исследование уноса пыли в электрофильтрах и разработка методов его снижения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. М.,НИИЦЕМЕНТ, 1978.].
- 17 Чекалов Л.В., Санаев Ю.И. Реконструкция электрофильтров на Омской ТЭЦ-5 и выбор межэлектродного расстояния в электрофильтрах // Электрические станции №1.- С.19-23.
- 18 В.И. Дымовые электрофильтры. М.: Энергия. 1980.- 297с.

19 Санаев Ю.И. Определение удельного электрического сопротивления пыли непосредственно в электрофилтре. // Химическое и нефтегазовое машиностроение №9. 2011.-с.39

20 Бабий В. И., Залогин Н.Г., Кропп Л.И., Кострикин Ю.М. Энергетика и охрана окружающей среды. Энергия, 1979. -351.с

21 Sanaev Y.I. Improved Electrical Filter Performanse in Trapping High-Risistans Dust // Chemical and petroleum engineering. Volume 41, Number 910, September. New York.2005.-21.с

22 Ю.И.Санаев, Л.В. Чекалов. Удельное электрическое сопротивление пыли (зола) в электрофилтрах. ЗАО «Кондор-Эко» Семибратово, 2016. -39 с.

23 Качановский Ю.П. Выбор архитектуры нейроннойсети для моделирования и управления технологическимипроцессами металлургического производства / Ю.П. Качановский, Е.А. Коротков // Информационно-вычислительныетехнологии и их приложения: сборник статей X Международной научно-технической конференции.– Пенза:РИО ПГСХА, 2009 – С. 116–119.

24 Коротков Е.А. Анализ возможности применения нейросетевого моделирования в задачах управления качествомметаллургического производства // Управление большими системами: сборник трудов V Всероссийской школы-семинарамолодых ученых. – Т. 1 – Липецк: ЛГТУ, 2008 – С. 313–320.

25 Neural Network Toolbox. Создание, обучение и моделирование нейронных сетей. 2012, https://matlab.ru/products/neural-network-toolbox/neural-network-toolbox_rus_web.pdf,

26 А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев, П.В. Карев Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 134 с.

27 Dr. BobDavidov. Компьютерные технологии управления в технических системах 2018, <http://portalnp.ru/author/bobdavidov> .

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Хожамбергенова Жанар Олжаскызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін зерттеу және әзірлеу

Научный руководитель: Сарсенбек Жусупбеков

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 10

Интервалы: 0

Белые Знаки: 10

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 Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Хожамбергенова Жанар Олжаскызы

Тақырыбы: Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін зерттеу және әзірлеу

Жетекшісі: Сарсенбек Жусупбеков

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.7

Әріптерді ауыстыру: 10

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 1

Ақ белгілер: 10

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

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Хожамбергенова Жанар Олжаскызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Электр сүзгілерінде газды тазартуды басқару жүйесін зерттеу және әзірлеу

Научный руководитель: Сарсенбек Жусупбеков

Коэффициент Подобия 1: 0.5

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 1

Знаки из других алфавитов: 10

Интервалы: 0

Белые Знаки: 10

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 укрыва 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

**Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университетінің
«Автоматтандыру және роботтандыру» оқу бағдарламасының
магистранты Хожамбергенова Жанардың «Электрофильтрлердегі
газдарды тазарту жүйесін зерттеу және басқару жүйесін әзірлеу»
тақырыбындағы магистрлік диссертациясына жетекшісінің**

Пікірі

Хожамбергенова Жанардың магистрлік диссертация электрофильтрлердегі газдарды тазарту жүйесін зерттеу және басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеуге арналған.

Өнеркәсіптік газдарды тазартуды басқару жүйесін әзірлеу және құру өнеркәсіптік шығарындылардағы қоспалардың құрамын рұқсат етілген нормативтік деңгейлерге жеткізуді қамтамасыз етуі қоршаған ортаны қорғау мен атмосфералық ауаны шамадан тыс ластанудан қорғаудың маңызды талаптарының бірі болып табылады.

Магистрлік диссертацияда жүргізген зерттеу автордың ғылыми талдау әдістерін жеткілікті дәрежеде меңгергенін, терең ғылыми зерттеулер жүргізуге жеткілікті жоғары дайындық деңгейіне ие екенін, сонымен қатар басқару теориясы мен практикасы саласында кең эрудицияға ие екенін көрсетеді.

Хожамбергенова Жанардың диссертациясы құрғақ электрофильтрлерде өнеркәсіп газдарды тазарту процесін басқару арқылы электрофильтрлерді автоматтандыру процессін дамытудың нақты шешімдерін қамтитын аяқталған дербес ғылыми-зерттеу жұмысы болып табылады.

Хожамбергенова Жанардың «Электрофильтрлердегі газдарды тазарту жүйесін зерттеу және басқару жүйесін әзірлеу» тақырыбына арналған диссертациясы магистрлік диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сай орындалған.

Диссертация авторы «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы бойынша техника ғылымдарының магистрі академиялық дәрежесіне сай деп санаймын.

Пікір
беруші, т.ғ.к., АЭЖБУ
«Автоматизация және басқару»
кафедраның профессоры

 С.Жусупбеков

«10» 06 2025ж.

**Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университетінің
«Автоматтандыру және роботтандыру» оқу бағдарламасының магистранты
Хожамбергенова Жанардың «Электрофильтрлердегі газдарды тазарту жүйесін
зерттеу және басқару жүйесін әзірлеу» тақырыбындағы магистрлік
диссертациясына**

Сын пікір

Магистрлік диссертация электрофильтрлердегі газдарды тазарту жүйесін зерттеу және басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеуге арналған.

Өнеркәсіптік газдарды тазартуды басқару жүйесін әзірлеу және құру өнеркәсіптік шығарындылардағы қоспалардың құрамын рұқсат етілген нормативтік деңгейлерге жеткізуді қамтамасыз етуі қоршаған ортаны қорғау мен атмосфералық ауаны шамадан тыс ластанудан қорғаудың маңызды талаптарының бірі болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты-қоршаған ортаның ластануын азайту үшін шығатын газдардағы нормативтік көрсеткіштердің мазмұнын қамтамасыз ететін заманауи әдістер негізінде өнеркәсіптік газдарды тазарту процесін автоматты басқару жүйесін әзірлеуге арналған.

Диссертацияның бірінші бөлімінде газдарды электрлік тазарту технологиялық процесіне шолу жасалынып және басқару объектісі ретінде қарастырылып процестің қысқаша сипаттамасы және оның ерекшеліктері келтірілген. Сонымен қатар бұл бөлімде электр сүзгілеріндегі кернеуді реттеу әдістері мен газдарды электрлік тазарту процесінің математикалық сипаттамасының қазіргі жағдайы сипатталған.

Екінші және үшінші бөлімде автор электр сүзгісінің электрлік режимін нейробұлыңғыр басқарудың математикалық моделін, электрофильтрдің электр режимімен анық емес реттеу жүйесін әзірлеп бұлыңғыр реттегіштің параметрлерін реттеу моделін құрылған. Сонымен қатар нейрондық желіні басқару жүйесінде қолдану қарастырылған.

Педагогикалық бөлім. MATLAB нейрондық реттегіштерінің синтездеуге арналған зертханалық жұмыс келтірілген.

Диссертациялық жұмысқа келесі ескертпе:

Жұмыста газдарды электрлік тазартудың электр режимін реттеуге арналған бұлыңғыр басқару мен нейрондық тор арқылы басқаруға салыстырмалы талдау жасалмаған.

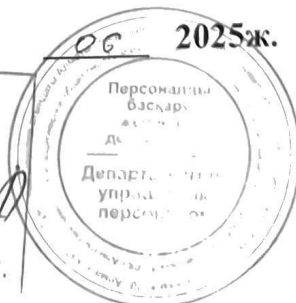
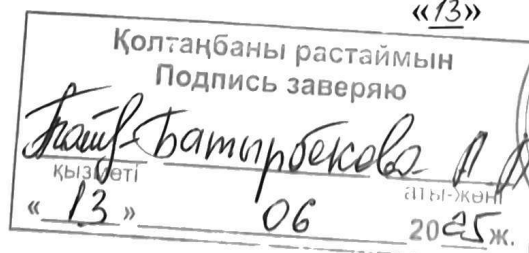
Хожамбергенова Жанардың «Электрофильтрлердегі газдарды тазарту жүйесін зерттеу және басқару жүйесін әзірлеу» тақырыбына арналған диссертациясы магистрлік диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сай және «жақсы» (80%) деген баға алды.

Диссертация «Автоматтандыру және роботтандыру» мамандығы бойынша жұмыс авторына техника және технология магистрі академиялық дәрежесін беру арқылы мемлекеттік аттестаттау комиссиясына қорғауға ұсынылады.

Сын пікір

**беруші PhD докторы, Ғұмарбек Даукеев атындағы
АЭЖБУ қауымдастық профессоры**

 **Е.Орақбаев**





CERTIFICATE



Khojambergenova Janar Oljaskyzy

Хожамбергенова Ж.О , Арипжан Р.К, Балғабай Э.Б./ Жусупбеков С.С

«XVI Торайғыров оқулары» атты Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы

Международная научно-практическая конференция «XVI Торайгыровские чтения»

The International Scientific and Practical Conference «16th Toraighyrov Readings»

конференцияға қатысқаны үшін | за участие в конференции | for participating in the conference

б.ғ.д., профессор,
«Торайғыров университеті» КеАҚ
Ғылым жұмыс және халықаралық
ынтымақтастық жөніндегі
Басқарма мүшесі-проректор



Н. Ермаханов

№ 13993

2024
Павлодар

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

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Ж.О. Хожамбергенова, С.С. Жусупбеков

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

Введение. В настоящее время основным производителем электроэнергии во всем мире, в том числе и в Казахстане, являются тепловые электростанции. Тепловые электростанции в качестве топлива обычно используют органические виды топлива такие как каменный и бурый уголь, природный газ, антрацит, горючие сланцы и другие. Использование в качестве топлива органических видов топлива для тепловых электростанций характеризуется выбросом огромных количеств вредных веществ в окружающую среду. Вредные выбросы тепловых электрических станций являются опасными для окружающей среду и представляют собой длительно (десяtkи лет) и непрерывно действующие источники выбросов в атмосферу [1].

Угольные электростанции являются основными поставщиками в атмосферу выбросов твердых частиц золы. Установлено, что при сжигании твердого топлива для производства электроэнергии мощностью 500 МВт на одном блоке образуется около 500 м³ дымовых газов в секунду. Дымовые газы в свою очередь содержат до 20 г/м³ взвешенных частиц золы, что эквивалентно выбросам 360 тонн золы в час в атмосферу. Огромное количество выбросов с дымовыми газами тепловых электростанций требует очистки их с целью охраны окружающей среды [2].

Методы. Существует несколько методов очистки отходящих газов тепловых электростанций. В настоящее время наиболее эффективным способом, обеспечивающий максимальной степени очистки газов, является электрический способ очистки газов в сухих электрофильтрах. Процесс электрической очистки газов заключается в том, что при определенном значении напряжения, приложенного к межэлектродному промежутку, напряженность поля около коронирующего электрода становится достаточной для появления коронного разряда, следствием которого является заполнение внешней части межэлектродного промежутка в основном отрицательно заряженными ионами. Отрицательно заряженные ионы под действием сил электрического поля движутся от коронирующих электродов к осадительным. Частицы золы или пыли, встречая на своем пути ионы, адсорбируют их, заряжаются и под действием сил поля также двигаются к осадительным электродам, где и осаждаются. Электроды периодически встряхиваются, слой осажденной пыли разрушается, и пыль осыпается в бункеры электрофильтра, откуда ее периодически или непрерывно удаляют [3].

Эффективность электрофильтров в значительной степени определяется работой агрегатов питания. Агрегат питания должен обеспечивать проведение в процессе эксплуатации следующих основных операций [4]:

- 1) включения и выключения электрофильтра с панели управления на месте и дистанционно;
- 2) регулирования выходного напряжения на электрофильтра в широких пределах;
- 3) поддержания на электродах электрофильтра напряжения;
- 4) ограничения и последующего гашения электрических дуг;