

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті  
Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты  
«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Күрсі Еламан Тәнірбергенұлы

Муфельдік пештерде автоматты температураны басқару жүйесі

дипломдық жобасына

### **ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБАСЫ**

5B071600 - Аспап жасау мамандығы

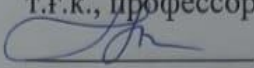
Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты  
«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

РТЖАТҚ кафедрасының меңгерушісі  
т.ғ.к., профессор

 Қ.А. Ожикенов  
«23» 05 2019 ж.

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: Муфельдік пештегі температураның автоматты басқару жүйесі


5B071600 – «Аспап жасау» мамандығы

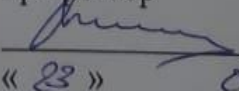
Орындаған

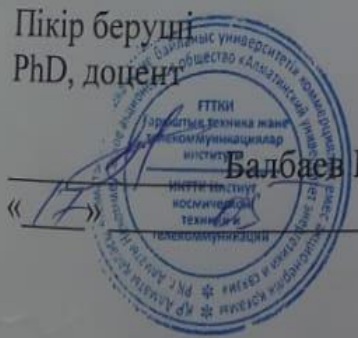
Күрсі Е.Т.

Пікір беруші  
PhD, доцент

Ғылыми жетекші  
ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған  
профессор

 Балбаев Г.К.  
2019 ж.

 Бактыбаев М.К.  
«23» 05 2019 ж.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Сәтбаев Университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

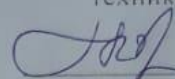
5B071600 – Аспап жасау

**БЕКІТЕМІН**

РТЖАТҚ кафедра меңгерушісі  
техника ғылымдарының

кандидаты

Қ.А. Ожикенов



«23» 05 2019 ж.

**Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Күрсі Еламан Тәнірбергенұлы

Тақырыбы: Муфельдік пештерде автоматты температураны басқару жүйесі.

Университет Ректорының 2019 жылғы «06» 11 №222 бұйырығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2019 жылғы «24» 05

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: жобаның құрылымдық сұлбасы, принципіалды сұлбалары құрастырылып, сипатталды.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі

1.1 Керамикалық бұйымдарды күйдірудің технологиялық үрдісі

1.2 Керамикалық бұйымдарды термоөндеу үшін қазіргі заманғы ЭКП құрылымы

1.3 Электрлі кедергі пештерінің температура реттегіштері мен басқару жүйесінің даму үрдісі


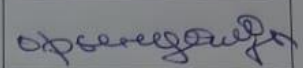
2.1 Жанартылған модельдерді әзірлеу міндеті туралы мәлімдеме

2.2 Электр пешіндегі кедергінің нақтыланған моделін әзірлеу

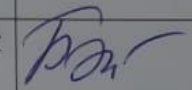
Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс) 14 слайд

Ұсынылған негізгі әдебиеттер 25 әдебиеттер тізімі

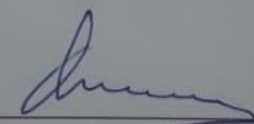
Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

| Бөлімдер қарастырылатын сұрақтардың тізімі | атауы, | Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі | Ескертулер  |
|--|--------|--|---|
| Негізгі бөлім                              |        | 15.02 – 12.03.2019 ж.                              |  |
| Технологиялық бөлім                        |        | 14.03 – 25.04.2019 ж.                              |  |

Аяқталған дипломдық жұмыс (жобаға) және оған қатысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының  
**ҚОЛТАҢБАЛАРЫ**

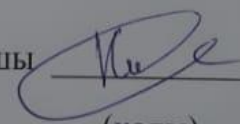
| Бөлімдердің атауы | Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы) | Қолтанба қойылған мерзімі | Қолы   |
|-------------------|---|---------------------------|--|
| Қалып бақылаушы   | Ж.С.Бигалиева, техника ғылымдары магистрі, лектор                   | 14.05.2019ж               |  |

Ғылыми жетекшісі

  
(қолы)

Бактыбаев М.Н.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

  
(қолы)

Күрсі Е.Т.

Күні « 23 » 05 2019 ж.

## МАЗМҰНЫ

### 1 КЕРАМИКАНЫ ТЕРМОӨНДЕУ ҮШІН ЭЛЕКТРЛІ КЕДЕРГІ ПЕШІН ДАЙЫНДАУ КҮЙІН ТАЛДАУ

1.1 Керамикалық бұйымдарды күйдірудің технологиялық үрдісі

1.2 Керамикалық бұйымдарды термоөндеу үшін қазіргі заманғы ЭКП құрылымы

1.3 Электрлі кедергі пештерінің температура реттегіштері мен басқару жүйесінің даму үрдісі

### 2 КЕРАМИКАЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ ТЕРМОӨНДЕУ ҮШІН ЭКП АЙҚЫНДАЛҒАН МОДЕЛЬДЕРІН ӨНДІРУ

2.1 Жаңартылған модельдерді әзірлеу міндеті туралы мәлімдеме

2.2 Электр пешіндегі кедергінің нақтыланған моделін әзірлеу

2.3 Жылыту элементтерінің температурасын шектейтін ЭКПтің температуралық реттегіші

2.4 Пештің жылу аймағындағы температура айырмашылығын өтеу арқылы ЭКП температуралық реттегіші

2.5 Жылытқыштардың ток шектеуімен электр пеші температурасының реттегішінің кедергісі

### 3 ЭЛЕКТРЛІК КЕДЕРГІ ПЕШТЕРДІҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

3.1 Эксперименттік зерттеулер негізінде электрлік кедергі пештің тазартылған модельдеу моделін жасау

3.3 ЭКП температуралық режимдерін эксперименттік түрде зерттеу

3.4. Эксперименттік зерттеулерден ЭКП әртектілігін есептеу

### 4 ҚАУІПСІЗДІК ЖӘНЕ ЕҢБЕК ҚОРҒАУ БӨЛІМІ

4.1 Тіршілік қауіпсіздігі

4.2 Электрлік кедергі пешінің температураға тұрақтылығы кезіндегі қауіпсіздік шаралары

4.3 Қауіпті және өндірістік факторларды талдау

4.4 Өндірістік бөлмелерді желдету

4.5 Электр қауіпсіздігімен қамтамасыздандыру

4.6 Жарықтандыру

4.7 Өрт қауіпсіздігімен қамтамасыздандыру

### ҚОРЫТЫНДЫ

### ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

## КІРІСПЕ

Керамикалық өнімдерді термоөңдеу үшін периодты іс әрекеттілігі бар электрлік кедергі пеші (ЭКП) әртүрлі өнекәсіптік салаларда таралған.

Керамикалық өнімдерді термоөңдеудің технологиялық үрдісі өңделетін өнімнің жоғарғы сапалылығы үшін пештің жұмыстық камерасында қызудың жоғарғы бір қалыптылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, керекті температураның күрт түсуінің шамасы температураның барлық диапазонында қызу жылдамдығын шектейді.

Электрлік кедергі пештерінің энергетикалық тиімділігін жақсарту мақсатында және берілген сипаттамасы мен пішіні бар өнімді алу үшін, және де керамикалық өнімді термоөңдеу кезде ақауларды төмендету пештің жұмыстық камерасында қызудың бір қалыптылығын жоғарлату қажет.

ЭКП –те қызудың біркелкілігін жоғарлатудың бір амалы қыздырғыш блокты жылулық аймақтарға бөлу. Алайда, қыздырудың біркелкілігін жоғарлату әдісі кезінде де әрбір реттегіште температураны бірдей орнату кезінде жылулы тұрақты уақыттың айырмашылығы және әрбір жылулық аймаққа қуаттың енгізілуі салдарынан қыздыру үрдісінде әртүрлі жылулық аймақтарда температураның елеулі айырмашылығы бақылануы мүмкін. Қыздыру үрдісі кезінде әртүрлі жылулық аймақтарда температураның айырымын төмендету үшін температураның айырымына байланысты жылулық аймаққа келіп түсетін *автоматты қуат түзетуін енгізу* ұсынылады.

Электрлік кедергі пешінің негізгі түйіні қыздырғыш (*нагреватель*) болып саналады. Қыздырғыштың жұмысы өте күрделі температуралық жағдайларда әдетте жүреді, көбінесе қандай материалдан жасалынған үшін шектелген рұқсат етілетін температура кезінде орындалады. Қыздырғыштың қызмет ету мерзімі көптеген факторларға байланысты: қыздырғыштың материалына, жалпы пештің және оның конструкциясы, жұмыс режиміне, температураны реттеу әдісіне, және де көптеген т.б.

Стандартты температура реттегіштерінде пештің қыздырғыш элементтерінде температураны бақыламайды. Бұл олардың қызып кетуіне және жұмыс істеу мерзімі төмендеуіне әкеледі. Бұл проблеманы шешу үшін жалпы түрде модель жасап шығару керек, оптималды динамикалық сипаттамасын қарастыра отырып уақытты үнемдейтін, және де қыздырғыш элементтердің температурасын шектейтін реттегішті орнату қажет.

Қыздырғыштардың орташа және жоғарғы температуралы ЭКП материалдары ретінде, керамикалық өнімдерді термоөңдеу үшін арналған: нихром (1200 °C дейін), фехраль (1350 °C дейін), kanthal A1 (1400 °C), карбид кремния SiC (1600 °C дейін), хромит лантана (1750 °C дейін), дисилицид молибдена (1800 °C дейін) [4, 17].

Сонымен қатар, жоғарғы температуралы ЭКП үшін қыздырғыштың қандай да болсын материалына қоректену және басқару жүйесін құру үшін бірқатар ерекшеліктерді жүктейді, осы ерекшеліктерді есепке алатын және талап етілетін

қасиеттері бар басқару жүйесін жобалауға мүмкіндік беретін нақтыланған моделді жасау қажет.

ЭКП бірқатарында 1400 °С жоғары температураға керамикалық өнімді термоөңдеу үшін дисилицид молибденнен қыздырғыш қолданылады. Осындай қыздырғыштардың ерекше сипаттары электрлік кедергісінің температуралық коэффициентінің мәні жоғары болып саналады.

Бұл қыздырғыштың дисилицид молибденнен жасалынған электрлік кедергісі, қыздырылған немесе суытылған кезде 10 рет өзгереді, демек, сонша рет қыздырғыштан бөлінген қуатта өзгереді.

Пешті қыздырған кезде өтпелі үрдістерінің сапасын жоғарлатқанда, басқару жүйесін жеңілдету мақсатында «токтық қиылу» қолданумен қыздырғыштарда әртүрлі токты шектеу әдістері қолданған дұрыс.

Жұмыстың мақсаты электрлік кедергі пештерінің керамикалық өнімдерді термоөңдеу үшін өтпелі режимдер мен орнатылған пештің жұмыстық камераларында температураны біркелкі үлестіруін жоғарлатуды қамтамасыз етуде басқару алгоритмдерін және әдістерін зерттеу және өңдеу болып табылады. Осы мақсаттарға жету үшін дипломдық жұмыста келесі мәселелер қойылған:

1. Керамиканы термоөңдеу үшін электрлік кедергі пештерін даму күйін анализдеу, заманауи пештердің конструкциясынын орындалу ерекшеліктері, технологиялық үрдістердің әсер етуі, температура реттегіштері мен басқару жүйесінің даму үрдісін талдау.

2. Температура датчигінің орнату орнының әсер етуін зерттеу.

3. Пештің жылулық аймақтарында температураның компенсациялық айырмасы бар ЭКП басқару жүйесін зерттеу.

4. Қыздырғыштардың температурасын шектейтін жүйені зерттеу.

5. Simulink/Matlab бағдарлама ортасында имитациялық моделін жасау, ол кешенге анализ және синтез жасауға көмектеседі, оған ЭКП, қуат реттегіші мен қыздырғыштың параметрлерін өзгеруі кезіндегі электр қоректену және басқару жүйесі қарастыру

# 1 КЕРАМИКАНЫ ТЕРМОӨНДЕУ ҮШІН ЭЛЕКТРЛІ КЕДЕРГІ ПЕШІН ДАЙЫНДАУ КҮЙІН ТАЛДАУ

## 1.1 Керамикалық бұйымдарды күйдірудің технологиялық процесі

Керамикалық материалдарды күйдіру кезінде жүретін химиялық және физикалық үрдістер құрамды және түзелетін фазалардың сипаттамасын, олардың қатынастарын, өлшемін, формасын және құрылымдық элементтердің (қуыстарды қосқанда) өзара орналасуын, керамикалық дененің көлемінің және массасының өзгеруін шарттайды.

Сонымен бұл үрдістер керамиканың физикалық, механикалық және химиялық кешендерін анықтайды, сондай ақ берілген өлшем және формадағы бұйымдарды алу [47].

Әртүрлі типтегі керамиканы күйдіру кезінде жүретін үрдістер біршама әртүрлі: бастапқы шикізат материалдарды термиялық ажырату; масса құраушылар арасындағы химиялық әсерлестігі; күйдірудің газды ортамен өзара әрекеттесу кезіндегі тотығу – қалпына келтіру үрдістері; модификационды ауысулар; қатты фазалар балқытпаларында еру үрдістері және балқытпалардан олардың кристалдануы.

Керамикалық бұйымдардың күйдіру циклі максималды температура және суыту аумағындағы ұстамдылық қыздыру мерзімінен тұрады.

Күйдірудің соңғы температурасы және ұстамдылық ұзақтығы бұйымның қасиеттеріне қойылатын талаптар кешенімен шартталады. Күйдірудегі бірігу үрдісіндегі жылдамдық температурамен бірге қатты өседі. Бірқатар жағдайларда соңғы нәтижеде ұқсас нәтиже ала отырып ұстамдылық ұзақтығы және температураның ара қатынасын біршама түрлендіруі мүмкін.

Ұстамдылық режимін материалдың физикалы – химиялық сипаттамаларын ескерумен ғана емес, сондай –ақ бұйымның формасы мен өлшемінен тәуелді таңдайды. Осы фактордың атқаратын рөлі бұйым денесіндегі температураны теңестіру ұзақтылығы оның қалыңдығының квадратына, яғни қима бойынша сызықты өлшеміне пропорционал. Массивті бұйымдарды күйдіру кезінде ұстамдылық ұзақтылығы температураның ішкі теңестіру уақытын ескерумен біршама ұлғайту керек болады. Периодты әрекеттегі пісірудегу күйдіру кезіндегі талап етілетін ұстамдылық ұзақтылығы пісіру көлеміндегі температураны теңестіру шарттарына тәуелді.

Қыздыру мерзімі күйдірудің аса күрделі кезеңі болып табылады. Негізгі міндеті бұйымды талап етілетін температураға дейін қыздырумен қорытындыланады. Бұйымды бұзу қауіптілігі негізінен масса алмастырудың қарқынды үрдістердің бірқатар жағдайларында және қыздыру кезінде көлемдік өзгерумен шақырылады.

Қыздыру мерзімінің жек кезеңдеріндегі температураны жоғарлату жылдамдығы келесі үрдістермен жіне факторлармен лимиттенуі мүмкін:

1) Кептіруден кейін өнделмегенде сақталған судың қалдығын жою;

Берілген құбылыстың қауіптілігі шамамен 200-300 °С дейін күйдірудің бастапқы кезеңіндегі температураны жоғарлату жылдамдығын лимиттеуге



мүмкіндігі бар. Бұйымның ұсақ жұқа қабырғалы бұйымды қыздыру кезінде, сондай ақ берілген құбылыс жақсы кептірілген массивті бұйымдардың температурасын жоғарлату жылдамдығын лимитеуге мүмкіндігі жоқ.

2) химиялық байланысқан суларды және шикізат құраушыларын ажыратудың басқа ұшушы өнімдерін бөлу;

Газ түзушілерімен байланысты химиялық үрдістер интервалдағы қыздыру жылдамдығын тікелей керамиканы қарқынды біріктіру алдында лимиттейді.

3) оның термиялық кеңейтілуінің әсерінен қыздырылатын денеде пайда болатын меахникалық кернеулер;

4) температура түсуінің жіберілетін шамасы температураның барлық диапазонында қыздыру жылдамдығын лимиттейді. Қыздыру үрдісінде температура түсуінің жіберілетін шамасы қыздыру үрдісінде өз кезегінде температурадан тәуелді серпімділік модулінен және механикалық төзімділіктің кеңейтілу коэффициентінен тәуелді өзгереді.

5) біріктіру кезіндегі апшу әсерінен пайда болған механикалық кернеулер термиялық кеңейтілуден кернеулерге қатынасы бойынша кері белгісіне ие. Біріктірілетін керамикалық массалар үшін сызықты апшудың шамасы 10-15 % аз емесін құрайды, ол біріктіру алдында термиялық кеңейтілудің жалпы шамасын 10-20 рет арттырады. Біріктіру кезіндегі көлемдік өзгерулер өте қарқынды жүреді, ол бұйым денесіндегі температураның жіберілетін түсуін аса төмендетеді.

б) жоғарыда қарастырылған факторлардан басқа керамиканың кейбір түрлерін қыздырудың жіберілетін жылдамдығына химиялық әсерлесулер немесе күйдірудің анықталған температуралық интервалдарында аяқталуы қажет фазалық өзгерулер әсер етеді.

Керамикалық материалдар үшін суыту кезеңі физикалы-химиялық үрдістермен сүйемелденіледі, егер қалыпты термиялық қысуды есептемегенде. Көптеген материалдар үшін суыту кезеңінің жалпы ұзақтылығы қыздыру кезеңінің қажет ұзақтылығына қарағанда аз. Тек кейбір жағдайларда, яғни төменгі температура аумағындағы суытудағы қажет етілетін ұзақтылығы полиморфты өзгерулерге қабілетті фазалар бар болғанда қыздыру ұзақтылығына қарағанда көп болады. Керамикалық материалдарды суыту кезінде бұйымның ішкі аймақтарының бетінің арасындағы температураның түсуімен шартталған уақытша кернеулерден басқа «микроаумақтардағы кернеу» туындауы мүмкін. Берілген құбылыс суыту жылдамдығын лимиттемейді, бірақ бұйым денесіндегі микросызат торының пайда болуын шақыруы мүмкін.

Бірқатар жағдайларда «микроаумақтардағы кернеу» рационалды режимді таңдаумен айтарлықтай азаюы мүмкін. Кәсіпорорындық біріктірулерде керамикалық бұйымдардың әр түрлі түрлерін күйдірудің нақты ұзақтылығы әрқашан дефектісіз өнімді алу үшін талап етілетін уақыттан біршама асады. Кей кезде күйдірудің жіберілетін және қолданылатын

режимнің арасындағы айырмашылық бір немесе одан көп тәртіпті жетеді. Осының негізгі мәселелері келесілермен қорытындыланады:

1) күйдірудің көптеген үрдістерін жеткіліксіз оқығандық көп қормен әдейі температураны температураны төмендету және жоғарлату жылдамдығын таңдаумен шартталады;

2) кәсіпорындық біріктірулердегі температураны таратудың әркелкілігі біріктірудің жеке бөліктерінде ерекшелінетін бұйымдар үшін жіберілетін температуралық қисықтар қыздыру және суыту жылдамдығын бүтіндеу төмендету қажеттілігін шақырады;

3) периодты біріктірудегі қыздыру жағдайындағы температураны төмендету және жоғарлату (негізінен суытудың соңында) жылдамдығы біріктірудің инерттілігімен лимиттенеді;

4) көптеген жағдайларда бұйымның біркелкі және тез бұйымның қызып кетуі бұйымның көпқатарлымен байланысты, сондай - ақ көмекші оқ – дәрілерді қолданумен қиындатылған.

Қазіргі кезде керамикалық өндірістердің көптеген салаларында бұйымды қыздыру ұзақтылығын қысқарту бойынша жұмыс жүргізіледі. Осы мәселені шешу үшін себептесу: күйдіру кезінде азайтылған көлемдік өзгерулермен масса құрамдарын таңдау, күйдіру үрдістерін аса терең оқыту, біріктіру конструкциясын жетілдіру, күйдірумен автоматты басқару, салындыларды жүктеу тәсілдері, көмекші оқ – дәрілер бөлігін азайту

Күйдіруді интенсификациялау себептеседі:

1) біріктірулердің осындау типтерін өңдеу, олардағы әрбір бұйым басқаларға тәуелсіз және аса қолайлы шарттарда қыздырылады;

2) бұйым ішіндегі температураны жоғарғы біркелкілігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін кішігірім қимадағы біріктірулерді қолдану автоматтандыру үшін аса күшті шарттарды құрады.

Жоғарыда айтылған ерекшеліктерді ескере отырып, керамикалық бұйымдарды күйдірудің бірқатар үрдістері үшін жалпы кәсіптік біріктірулерді қолдану өнделетін бұйымның сипаттамасын төмендетуге әкеліп соғады. Осыған байланысты өнделетін бұйымның сапасын жоғарлату үшін автоматты басқару жүйесін және қыздырушы камералардың модернизацияланған құрылмаларымен арнайы ЭПС өңдеу қажет.

## **1.2 Керамикалық бұйымдарды термоөндеу үшін қазіргі заманғы ЭКП құрылымы**

Керамикалық бұйымдарды термоөндеу үшін жалпыкәсіптік камералы ЭКП қолданылады [50, 51, 52, 54]. Осындай пештің құрылмасы 1.1 суретте көрсетілген.



Сурет 1.1 - ЖШҚ (ООО) «Термокерамика» өндірісінің керамикалық бұйымдарын термоөңдеу үшін жалпыкәсіптік камералы ЭКП [58].

Жұмыс кеңістігінің өлшеміне тәуелді жүктемелеу қолмен немесе біріктіруді беру көмегімен беріледі.

Камералы біріктірудегі қыздырушы элементтер керамиканы термоөңдеу үшін барлық бүйірлі қабырғаларда, сондай ақ біріктіруді беруде орналасқан. Бұл біріктірудің жұмыс камерасындағы біркелкі қыздыруды қамтамасыз етуге керамикалық бұйымдарды термоөңдеудің технологиялық үрдісінің талаптарымен шартталған (п. 1.1).

ЭКП-гі қыздыру біркелкілігін жоғарлату тәсілдерінің бірі муфельды қолдану болып табылады. Бірақта муфельді біріктірулерді қолдану бо кемшілігі үлкен өлшемді муфельдарды дайындау күрделілігімен байланысты шектелген жұмыс кеңістігінің құрылмасын күрделену, жылыту уақытын ұлғайты болып табылады. Тіктөртбұрышты формалы жұмыс камераларымен ЭКП аса кең қолданылысты. Осыдан басқа бірқатар жағдайларда жұмыс камерасының цилиндрлік формасымен қондырулар қолданылады. Осындай біріктірудің формасы және құрылмасы температураны мінсіз таратуды және қажет температураға дейін тех көтеру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бірақта, көптеген жағдайларда, осындай біріктіруді қолдану жұмыс кеңістігін толық қолдана алмауына байланысты рационалды емес.

ЭКП негізгі құрылмалы элементі жылу изоляциялау кешенің және өзіне қыздырушы блокты қосатын қыздырушы камера болып табылады.

Керамикалық бұйымдарды термоөңдеу үшін пештердегі жылуизоляциялау материалдары ретінде алюминий және кремний оксидтері қолданылады.

*Қыздырушылар.* Қыздырушы кедергінің электрлі пештің кез келген негізгі түйіні болып табылады. Қыздырушылар жұмысы әдетте аса ауыр

температуралы шарттарда, олар дайындалған материал үшін шекті жіберілетін температуралар кезінде жиі орындалады[51].

Қыздырушылар қызметінің мерзімі аса көптеген факторларға тәуелді: қыздырушы материалдардан, оның құрылмасынан және бүтіндей пешінен, жұмыс режимінен, температура тербелісінен, температураны реттеу тәсілінен, сондай ақ тағы да басқаларынан.

Қыздырушылар материалдары ретінде керамикалық бұйымдарды термоөңдеу үшін арналған орта және жоғарғы температуралы ЭКП қолданады: нихром (1200 °С дейін), фехраль (1350 °С дейін), kanthal A1(1400 °С), карбид кремния SiC ( 1600 °С дейін), хромит лантана ( 1750 °С дейін), дисилицид молибдена ( 1800 °С дейін) [11, 34, 35, 42, 51].

Кедергінің орта температуралы пештерінде қыздырушылар кедергі қорытпаларынан дайындалады. Кедергінің қорытпаларына кедергінің нихромдары және никельсіздер жатады.

Нихромдар қорытпа маркасынан тәуелсіз қыздырушыда 1200 °С дейінгі (никельсіз қорытпаларда 1400 °С дейінгі) температураларда қолданылады, Орта және жоғарғы температуралы пештер арасындағы шекара кедергінің аса ыстыққа төзімді қорытпаларынан қолдану температураның максималды жіберілетінімен анықталады.

Орта температуралы ЭКП қыздырушылар ленталы немесе сымды зигзаг немесе керамикалық түтікшелерде орналасатын сымды орамдар түрінде дайындалады.

**1.3** - суретте сымды орам түріндегі фехральдан қыздырушылар келтірілген.



1.3 сурет - Фехральдан қыздырушылар

Кедергі қорытпалары жоғарғы үлестік кедергімен және оның аз температуралық тәуелділігімен сипатталады (бөлмелі температура кезіндегі кедергі және 1100°С кезіндегі мәні қорытпалардың әртүрлі маркалары үшін 3–11% ке ғана ерекшелінеді).

Карбидокремнилі қыздырушылар (КЭН) жоғарғы температуралы ЭКП қолданылады. КЭН кедергі қорытпаларынан қыздырушылармен салыстырғанда айрықшаланатын бірқатар қасиеттермен қамтылған:

қолданудың аса жоғарғы температурасымен ( қыздырушылар бетіндегі 1450 - 1600 °С дейін), (УПМ) қуаттылықтың аса жоғарғы меншікті бетімен, пештің ұзақ тоқтаусыз қатардан шыққан қыздырушыларды ауыстыру мүмкіндігімен [17].

Бірақта, қыздырушы қуаттылығының меншікті бетінің өсуімен кедергі жинағының жылдамдығы ұлғаяды және оның қызметінің мерзімі төмендейді. Сондықтан, карбид кремнийден қыздырушылармен пештерді жобалау кезінде қуаттылықтың меншікті бетінің минималды мүмкіндігімен қыздырушыларды таңдау қажет.

Карбидкремнийлі қыздырушылардың кемшіліктерінің бірі – сол бір типеөлшем үшін кедергіні үлкен тастау ( 2–3 рет), сондықтан дайындаушы зауыттарда шамамен бірдей кедергілерімен 6–12 қыздырушылары бойынша партияларды таңдайды. Кедергіні тастау карбидті кремнийлі қыздырушыларды тізбектей қосуға мүмкіндік бермейді, өйткені аса жоғарғы кедергісі бар қыздырушылар қызып кетеді және теө қатардан шығады.

Суық күйінде карбидті кремнийлі қыздырғыштардың кедергісі 900°С кезінде жететін минималды мәннің 4–5 рет көп.

Содан кейін кедергі температура жоғарлауымен ақырын өсе бастайды және 1400°С кезінде 25–30% минималды мәнге көтереді. Карбидті кремнийлі қыздырушылар үшін айқындалған тозу сипаты: пайдалану үрдісінде біліктің кедергісі бірнеше рет ұлғаяды, әдетте төрт еселі ұлғаюға дейін жіберіледі. Бұл 0,3 тен 2 номиналына дейінгі шектерде кернеуді реттеу мүмкіндігімен басқару жүйесін қолдану қажеттілігіне әкеледі.

Карбидті кремнийлі қыздырушылардың көрсетілген тозуы қатардан шыққан бір білікті жаңаға ауыстыруға мүмкіндік бермейді, өйткені жаңа және жұмыс жасалған біліктердің кедергісі тез ерекшелінеді, пештің барлық қыздырғыштарды ауыстыру қажет.

Тозуды көрсету жылдамдығына көптеген факторлар әсер етеді, меншікті беттік жүктеме, жұмыс температурасы, жұмыс режим» (циклды немесе тұрақты) және температураны бақылау әдісі сияқтылар.

Карбидті кремнийден жасалған қыздырғыштардың артықшылығы олардың қатысты арзандылығы болып табылады, бірақта, суықта нәзіктігі және негізінен ыстық күйде, электрлі параметрлерді тастау көрсетілген тозу сияқтылар оларды аса ыңғайсыз және пайдалануда оларды қолдануды шектейді. Қазіргі кезде карбидті кремнийлі қыздырғыштар төменгі бөлікте кедергінің (Х23Ю5Т, Santal және т.б..) темірхромалюминді қорытпалардан қыздырғыштармен (1300–1350°С) олардың температуралық диапазоны ақырындап ығыстырылады, температуралық диапазонынның төменгі бөлігіндегі лонтан хромитінен қыздырғыштармен [27].

I Squared R Elements фирмасының шет елдік карбидті кремнийлі қыздырғыштары және отқа берік матеиалдардың Подоль зауытының отандық

карбидті кремнийлі қыздырғыштары кең қолданыста. 1.5 сурет. I Squared R Elements американдық фирмасының Starbar карбидті кремнийлі қыздырғыштарының фотосуреттері келтірілген.



1.5 сурет - I Squared R Elements фирмасының Starbar карбидті кремнийлі қыздырғыштары

Лантан хромитінен ( $\text{LaCrO}_3$ ) керамикалық қыздырғыштар  $1700\text{--}1800^\circ\text{C}$  дейін температура кезінде әуе ортасымен жоғарғы температуралы ЭКП қолданылады,  $1850^\circ\text{C}$  дейін аз уақытта желілік кернеуге есептелген. Құрастырылмалы қыздырғыштар электрлі түйіспелерді байланыстыру үшін металданған жаппасының сондарында бар конфигурациялар және әртүрлі қима құбырлары білік түрінде орындалады (1.6 сурет).



1.6 сурет - "Термокерамика" өндірісінің "Лантерм" хромитлантанды қыздырғыштары

Олардың оң қасиеттері қызмет мерзіміндегі электрлі қасиеттерінің тұрақтылығы болып табылады, соның арқасында жаңа және ескі қыздырғыштар бірге қондыра алады және кедергінің азаю температуралық тәуелділігі. карбидті кремнийлі қыздырғыштармен салыстырғанда лантан хромитінен су буынан аз қорқады, сондықтан пештің футировкасы қосымшы қыздырушы құрылғыларды қолданусыз штаттық қыздырғыштармен кептірілуі мүмкін. Лантан хромитінен жасалған қыздырғыштарды қайта өндеуге болады.

Қыздырғыш элементтерінің өндірісі кезінде лантан хромит негізіндегі екі құрам қолданылады, аз меншікті кедергісі бар құрам қыздырғыштың соңғы бөліктерін (шықпаларын) дайындау үшін, ал үлкенмен белсенді бөлікті дайындау үшін қолданылады. Лантан хромитінен жасалған қыздырғыштардың кедергісі температура өсумен төмендейді. Кедергінің аса төмендеуі бір ондық тәртіпке қарағанда  $1000^{\circ}\text{C}$  дейін бөлмелі температураның өзгеруі кезінде бақыланады, ар қарай  $1700^{\circ}\text{C}$  дейін температураның ұлғаюы кедергі аз өзгереді (в 2–2,5 рет).

Қыздырғыштар партияларына кедергілерді тастау 20% аспайды, карбид кремнийге қарағанда аз және қуаттылықты жеткілікті тегіс таратуды қамтамасыз етеді.

Карбидті кремнийлі қыздырғыштардың құрастырылмалары лантан хромитінен жасалған қыздырғыштар ұқсас, ал олардың электрлі сипаттамалары біршама жақын. Бұл карбидті кремнийлі қыздырғыштарды пештерде бар лантан хромиттен сәйкес келетін өлшемінің түрінің қыздырғыштарына ауыстыруға тікелей мүмкіндік береді.

Лантан хромиттен жасалған қыздырғыштар өзіргі кезде  $1300^{\circ}\text{C}$  жоғары температура кезіндегі карбидті кремнийлі қыздырғыштарды ығыстырады, өйткені қарсылығы жоқ жұмыстардың ұзақтылығын көп есе ұлғайтуды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар лантан хромиті мүлдем тлзбайды, ол температуралық өрістің біркелкілігін жақсартады және пештегі технологиялық үрдістің іске қосылуын қамтамасыз етеді. Лантанды хромит қыздырғыштарын пайдалану тәжірибиесі аз температура кезінде ( $1500^{\circ}\text{C}$  дейін) олардың қызметінің мерзімі аса жоғары және үрдісті іске қосуды сақтау кезінде 3–5 жылды құрайды.

Хромитлантанды қыздырғыштар сондай ақ молибден дисилицидтен қыздырушыларға альтернативті қызмет етуі мүмкін. Лантан хромитінің жалғыз минусы молибден дисилицидпен салыстырғанда тез термосоғушыларға төмендетілген беріктілігі, мысалы, қызу пештің есігін ашу кезінде.

Лантан хромитінен жасалған қыздырғыштардың үлкен артықшылығы жұмыстың бөлмелі температураға дейін суытумен жұмыстың циклды сипаты кезінде оларды ұзақ пайдалану. Бірақта, қыздырушыдағы микрожарылулардың пайда болуын алды алу үшін және қызмет ету мерзімінің төмендеуі қыздыруға болмайды және оларды суыту  $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  қарағанда жылдамдығы жоғары.

Жоғарғы температура кезінде лантан хромитінен қыздырғыштар матреиалының булануы жүреді, бұйымды бояу және футеровкалау пайда болады. Деректер бойынша [4] 20 сағаттың жұмыс кезінде  $1600^{\circ}\text{C}$  кезінде үлгінің массасын жоғалту 0,6 % құрайды. Таза материалдарды термоөндеу үшін лантан хромитінен қыздырғыштармен пештерді қолдану кезінде ескеру қажет[17]. Солай, керамиканы термоөндеу кезінде керамикалық бұйымның бетін қызғылт түске бояу жүреді.

Дисилицид молибден негізіндегі қыздырғыштар жоғары температуралы ЭКП кең қолданылады. Тотықандырғыш атмосферада мұндай қыздырғыштар

1700 °C дейін температура кезінде жұмыс істеуі мүмкін. Дисилицид молибден негізінде карбидті кремнийлі қыздырғыштармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие: молибден оксидінен және  $\text{SiO}_2$  шыны тәріздестен қорғанысты оксидті пленкаларды түзу есебінен қыздырғыштардың белсенді бөлігіндегі аса жоғарғы жұмыс температурасымен; температураның жоғарлауымен электрлі кедергінің өсу есебінен тез қызуына кәмектесу; оларды тізбектей байланыстыруға және олардың бастапқы электрлі кедергісін ескерусіз өатардан шыққан қыздырғыштарды ауыстыруға мүмкіндік беретін қыздырғыштардың қызметінің барлық мерзімі аралығында электрлі кедергілердің тұрақтылығымен.

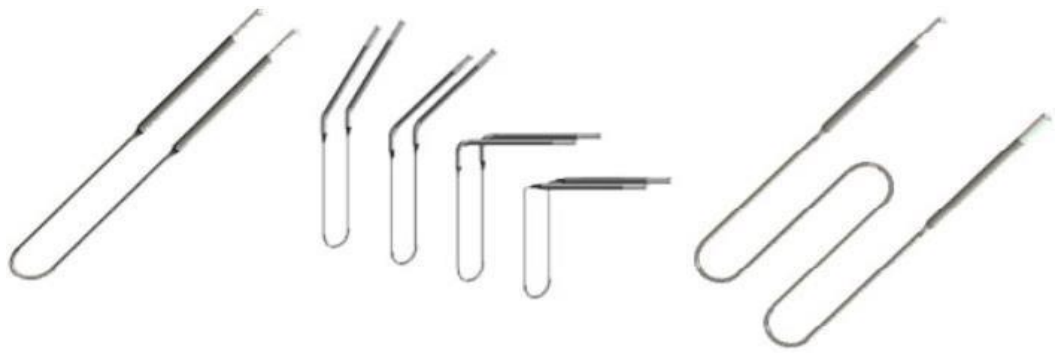
Дисилицид молибден негізіндегі қыздырғыштардың айрықшыланатын ерекшелігі жоғары температура кезіндегі жоғарғы УПМ болып табылады. Бұл пештің аз көлемінде энергияның көп санын концентрациялауға мүмкіндік береді. Дисилицид молибден негізіндегі қыздырғыштар кемшілігіне келесілер жатады: төменгі механикалық беріктілік; төменгі термотөзімділік; қуатты күшті қондырғыны қолдану қажеттілігін шарттайтын төменгі бастапқы электрлі кедергі; 1400-1650 °C температура интервалындағы жоғарғы бастапқы созылымдылығы.

Қыздырушылардың электрлі кедергілері бөлме температурасы кезінде төмен, температура жоғарлауымен өседі және тұрақты температура кезінде пайдалану үрдісінде өзгермейді. Қыздырғыштардың төменгі бастапқы кедергісі кезінде жұмыс мәніне дейін қорек көзін сатылы немесе бір қалыпты жоғарлату талап етіледі. Осыдан әрбір қыздырғыштан ағатын ток 200 А аспауы қажет, өйткені электромагнитті күштер есебінен қыздырғыштардың механикалық бұзылуы мүмкін [17, 27].

Олардың бастапқы қыздыруында пайда болатын қыздырғыштар матераилдарының жоғарғы ыстық созылымдылығы қыздырғыштар бойынша токтың ағуы кезінде пайда болатын электромагниттік күш есебінен қыздырғыштардың жұмыс бөлігінде деформацияға әкеліп соғады. Сондықтан екі көршілес қыздырғыштардың электрлі кедергісі олардан ағатын токтың өзара қарама қарсы бағытын қамтамасыз етуі қажет, ал қыздырғыштар арасындағы қашықтықты таңдалған типөлшемді U-тәрізді қыздырғыштың тармақтары арасындағы қашықтықтан аз таңдау ұсынылады.

Қыздырғыштардың қызметінің мерзімін анықтайтын негізгі факторларға келесілер жатады: электрлі пеш жұмысының температуралы –уақыт режимі, қыздырғыштардың УПМ мәні, пештің температурасын реттеу тәсілі, атмосфера сияқты.





1.7 сурет - Дисилицид молибден қыздырғыштары

Дисилицид молибден негізіндегі қыздырғыштар қондырылған үздіксіз режимдегі оларды пайдалану кезінде қызметінің аса ұзақ мерзімі бар.

### 1.3 Электрлі кедергі пештерінің температура реттегіштері мен басқару жүйесінің даму үрдісі

Жалпыкәсіптік тағайындалудың ЭКП басқару жүйесі пеш ішіндегі температураны реттеу және тұрақтандыруды қамтамасыз етеді. Яғни температура реттегіштері болып табылады. ЭКП басқарудың күрделі біркелкі емес нысаны болып табылатынына қарамастан, температураны реттегіш біранлаы дәстүрлі орындалады, яғни бір орындаушы элементті – кернеудің тиристрлі реттегіші, бір реттегіш құрылғыны – арнайыландырылған программаланатын контроллер (температура реттегіші) және температураның бір датчигін құрайды [1]. Сол уақытта ЭКП біркелкі еместігі басқару нысаны сияқты әртүрлі жылутехникалық параметрлермен элементтердің жылу берудің бірнеше өзара байланысқан шарттарын өзіне қосатынмен келе көрінеді.

Жалпы жағдайда жалпыкәсіптік тағайындалудың ЭКП үшін төрт негізгі элементті ажыратуға болады: кернеу реттегіші арқылы қорек көзінен қуат түсетін қыздырғыш, қоршаған ортадан жылуизоляциясын қамтамасыз ететін футеровка, қыздырылатын бұйым және термотүрлендіргіш – пеш кеңістігінде қондырылатын температура датчигі.

Температура реттегішіндегі дәсітүрлі ЭКП беріліс функциясымен бірінші ретті [1] сызықты инерционды буын түрінде көрсетіледі

$$W_{\text{п}}(p) = \frac{k_{\text{п}}}{T_{\text{п}}p+1} \quad , \quad (1.1)$$

мұндағы  $k_{\text{п}}$  – пештің беріліс коэффициенті;  $T_{\text{п}}$  – пештың тұрақты уақыты.

Басқару нысаны ретінде ЭКП үшін кіріс шамасы болып  $P = U_{\text{п}}^2 / R_{\text{п}}$  сияқты анықталатын қуаттылықтың қыздырғышына түседі, мұндағы  $U_{\text{п}}$  – пеш қыздырғышына түсетін кернеу (кернеу реттегішінің шығысындағы кернеу);  $R_{\text{п}}$  – қыздырғыштардың электрлі кедергісі. ЭКП үшін шығыс шама кері

байланыстың кері байланыстың датчигін қоңдыру орнына  $\theta$  температурасы болып табылады. (1) өрнегі бірқатар жіберулердің негізінде жазылады. ЭКП біртекті, жинақталған және денемен жылутехникалық қатынасындағы шексіз жіңішке болып табылатыны тұжырымдалынады, жылуберу жылуөткізгіштік есебінен іске асырылады, ал жылуөткізгіштік және жылусыйымдылық коэффициенті тұрақты және температурадан тәуелсіз

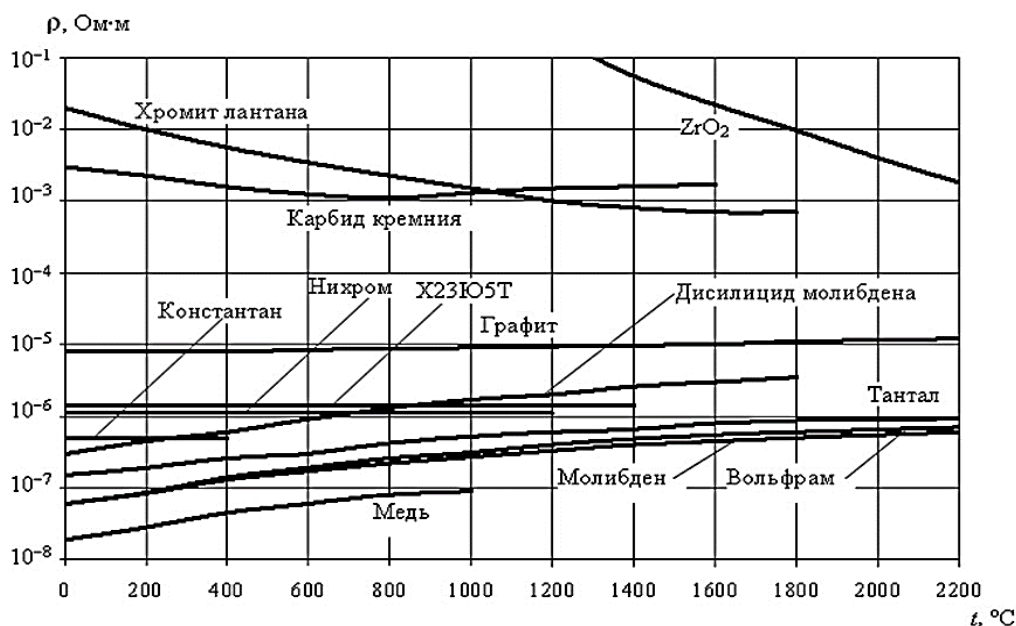
Біртекті жылутехникалық элементтің түріндегі ЭКП қысқартылыған көрсетілімі температураны реттеуді түзету және жобалау кезінде анықталған мәселелерді құрады. Негізінен, шешілмеген сұрақтардың бірін пеш ішіндегі температура датчигін қоңдыру орынн таңдауды, сондай ақ температураның датчигін қоңдыру орнынан технология көз қарасынан таңдаудың бағалау критерийлерін санауға болады [71, 74, 76].

ЭКП дәсітүрлі қысқартылған модельді қолдану кезінде осы міндетті шеші мүмкін емес.

Температураны реттеу сапасына және дәлдігіне талаптардың көбеюімен пештің нақтыланған моделін өңдеу қажеттілігі туындайды

Қыздырғыштардың әртүрлі типтерімен ЭКП басқару жүйесін тұрғызу ерекшеліктері

ЭКП қыздырушы элементтерімен басқару жүйесін өңдеуге әсер ететін факторлардың бірі болып температурадан қыздырғыштың меншікті электрлі кедергісінің тәуелділігі болып табылады.



1.8. сурет - Температуранан әртүрлі материалдардың меншікті электрлі кедергісінің тәуелділігі

1.8 - суретте көрсетілгендей меншікті электрлі кедергінің олардың температуралық сипаттамасынан тәуелді қыздырушы элементтерінің көптеген материалдарын 3 типке бөлуге болады:

1. *азаюшы сипаттамамен.* Кедергінің электрлі пештерінің қыздырғыштары ретінде қолданылатын берілген типтің материалдарына лантан хромиті және циркония диоксиді жатады.

2. *өзгермейтін сипаттамамен.* Берілген типтің материалына ЭКП орташа температураларында қолданылатын нихромдер және фехралилер жатады.

3. *өсуші сипаттамамен.* Осы типтің материалына жоғарғы температураы ЭКП қолданылатын дисилицид молибден жатады.

Особенностью карбидокремниевых нагревателей является снижение удельного электрического сопротивления в 4-5 раз с ростом температуры до 900 °С и дальнейший его рост, при этом сопротивление превышает на 25-30% минимальное при 1400 °С.

Карбидті кремнийлі қыздырғыштармен сипатты айқындалған тозу: пайдалану үрдісінде біліктер кедергісі бірнеше рет ұлғаяды, әдетте төрт еселі ұлғаю жіберіледі. Бұл 0,3 тен 2 номиналға дейінгі шектердегі кернеуді реттеумен трансформаторды қолдану қажеттілігіне әкеледі.

Меншікті электрлі кедергісінің өсуші сипаттамасымен қыздырғыштар матриалын қолдану ЭКП басқару жүйесінің күрделілігіне әкеліп соғады. Бұл дисилицид молибденнен орындалған қыздырғыштың электрлі кедергісімен байланысты, қыздыру және суыту кезінде 10 есе өзгереді.

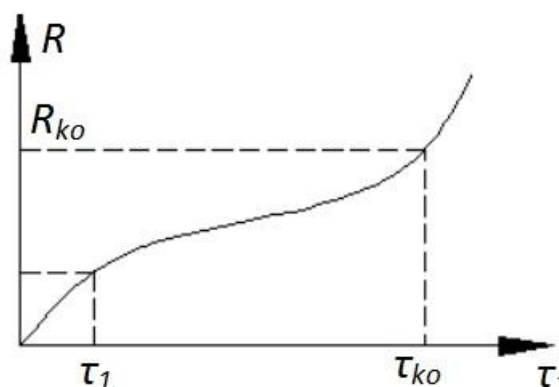
Тоқтың тез ырғуы пештің қыздырушы элементінің сапасына теріс әсер етеді, сондай ақ олардың қызметінің мерзімін айтарлықтай қысқартады. Сондықтан тәжірибиеде олардың температурасының өзгеруі кезінде [5,6] қыздырушыларда жаыратылатын қуаттылық тербелісінің азаюдың әртүрлі тәсілдерін қолданады [5,6]: көпсатылы төмендетушы трансформаторды қолдану [20, 63, 67, 68, 75]; «тоқты айыру» температура реттегішін қолдану [20, 63, 67, 68, 75]; «тоқты айыру» тоө бойынша қосымша арнада қолдану [20, 63, 67, 68, 75].

Жоғары температуралы ЭКП қыздырғыштар ретінде лантан хромитін қолдану басқару жүйесін тұрғызуға бірқатар ерекшеліктерді қояды. Хромит лантанды қыздырғыштардың қызметінің мерзіміне пешті қыздыру жылдамдығының шамасы әсер етеді. Тиімді болып қыздыру жылдамдығы 5 °С/мин, пайдалы 10 °С/мин, шекті жіберілетін 10 °С/мин.

Хромитлантанды қыздырғыштар термоциклденуге сезімтал. Осыған байланысты қыздырғыштар жұмысының ресурстарына температураны реттеу тәсілі әсер етеді. Берілген жағдайда фазоимпульсты модуляция (ФИМ ) кең импульсты модуляцияға (КИМ) қарағанда жақсырақ. Температураны екі позиционды реттеумен жүйелерді қолдану кезінде кернеу қыздырғыштарына берілетін шаманы шектеу қажет.

Карбид кремнийден қыздырғыштардың маңызды пайдаланушы қасиеттері жұмыс кезінде олардың электрлі кедергісін біртіндеп жоғарлату болып табылады. Бұл құбылыс айрықша деңгейде тотықтандырғыш атмосферада жұмыс кезіндегі қыздырғыштар бетінде тотығумен түсіндіріледі.

Айтылған қасиет қыздырғыштар тозуы деп аталады. [35] (1.10 сурет).



1.10. сурет - Карбид кремнийден қыздырғыштар тозуының графигі

Тұрақты кернеу кезінде жұмыс істейтін қыздырғыштардың тозуы қуаттылықтың біртіндеп төмендеуіне әкеліп соғады ары қарай электрлі пештегі температураға). Сондықтан қыздырушының электрлі кедергісін жоғарлату кезінде қуаттылықтың тұрақты мәнің ұстап тұру үшін кернеудің сәйкес жоғарлауы қажет. Кернеуді периодты жоғарлату үшін кернеудің тиристорлы реттегіштері қолданылады. Тиристорлы қорек көздері температураның үздіксіз реттеуін орындауға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар жоғары температуралы ЭКП үшін қыздырғыштар кез келген материалынан басқару және қоректендіру жүйелерін тұрғызуға бірқатар ерекшеліктерді қосады.

Жоғарыда көрсетілген зерттеулер зерттеудің мақсаты мен міндеттерін қалыптастыруға мүмкіндік берді.

#### 1.4. Зерттеудің мақсаты мен міндеттерін қалыптастыру

Керамикалық бұйымдарды қыздыру кезінде жүретін үрдістер керамикалық физикалық, химиялық және механикалық қасиеттерінің барлық кешенің анықтайды. Керамикалық қыздырудың технологиялық үрдісі ЭКП басқару және электрқоректендіру жүйесін тұрғызу және құрастыруды таңдау кезінде ескеру қажет бірқатар ерекшеліктерді қосады.

Содан басқа Ресейде электрэнергияның бағасының жыл сайын өсуімен бақыланады.

Осыған байланысты берілген жұмыстың мақсаты керамикалық бұйымның термоөңдеу үшін кедергінің электрлі пештерінің энерготімділігін жоғарлату болып табылады.

Көрсетілген мақсатқа жету үшін жұмыста келесі тапсырмалар қойылған және шешілген:

1. Керамиканы термоөңдеу үшін кедергінің электрлі пештерінің өркендеу күйін талдау, қазіргі замаңғы пештерінің құрастырылмаларын орындау ерекшеліктері, технологиялық үрдістің әсері, ЭКП біртексіздігін

басқару нысаны ретінде ескеретін температура реттегіштерін басқару жүйесінің өркендеу кезеңдері.

2. Керамикалық бұйымдарды термоөңдеу үшін кедергінің электрлі пештерінің нақтыланған модельдерін өңдеу.

3. Температура датчигін қондыру орнының әсерін зерттеу.

4. Пештің жылы аумағындағы температура айырмашылығын компенсациямен ЭКП басқару жүйесін зерттеу.

5. Дисилицид молибденнен құздырушының математикалық моделін өңдеу.

6. Дисилицид молибденнен қыздырғыштармен кедергінің электрлі пештерінің басқару жүйесін зерттеу.

7. Құжаттық деректер негізінде ЭКП тұрақты уақытын анықтау әдісімесін өңдеу.

8. Кедергінің электрлі пештерінің беріліс функциясын есептеу үшін программалық пакетті өңдеу.

## **2 КЕРАМИКАЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ ТЕРМОӨНДЕУ ҮШІН ЭКП АЙҚЫНДАЛҒАН МОДЕЛЬДЕРІН ӨНДІРУ**

### **2.1 Жаңартылған модельдерді әзірлеу міндеті туралы мәлімдеме**

Шыны өнімдердің термоөңдеуіне арналған ЭКП-тің басқару жүйесі пештің ішкі температурасының тұрақтылығын және бірқалыптылығын қамтамасыз етеді яғни температураның тұрақтандырғышы болып табылады.

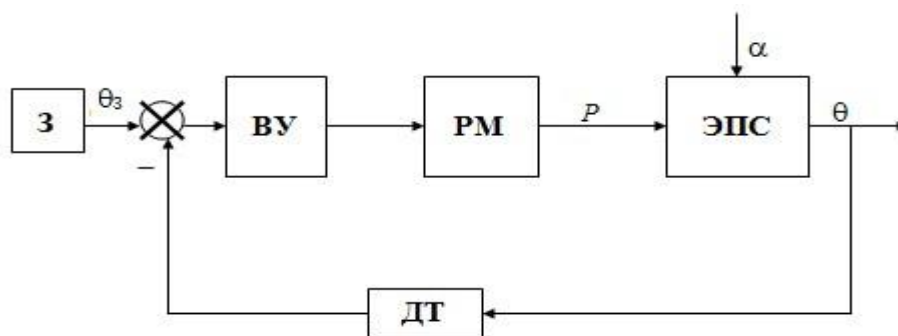
Қазіргі сәтте өнеркәсіптік пеш температурасының тұрақтандырғышының қарсыласуы [1,14,24,26] келесідегідей функционалдық жиынтық арқылы орындалады (2.1 сурет):

- **З** – берілген құрылғы, температураны тұрақтандыруға берілген мәнді қолмен немесе автоматты түрде енгізуге қолданылады;

- **ВУ** есептеу құрылғысы, температураның тұрақтандыруға берілген мәні мен нақтылығын салыстыру функциясын және талап етілген тұрақтандыру заңын өндіруін атқарады;

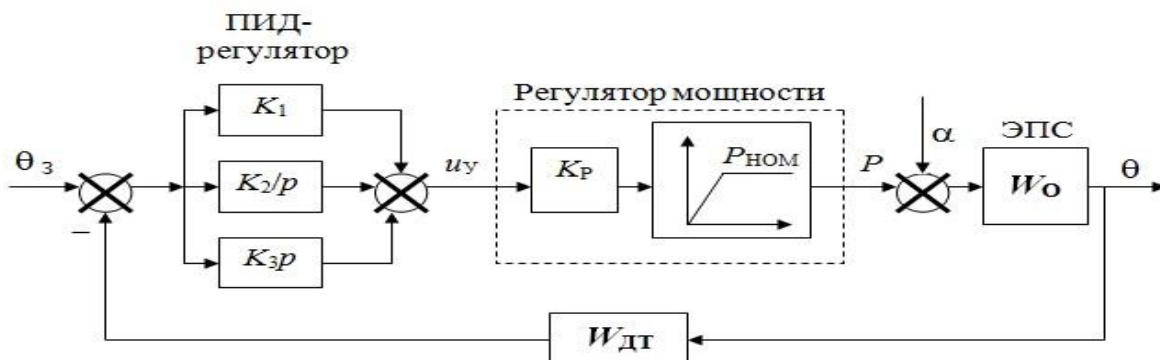
- **РМ** Атқарушы элемент (қуаттылықты тұрақтандырғыш), пешке енгізілген қуаттылықты өзгертуші;

- **ДТ** пеш температурасының датчигі



2.1 сурет - ЭКПтің температураны тұрақтандыру жүйесінің функционалды сызбасы.

2.2 - суретте ПИД тұрақтандыру заңы арқылы температураны үзіліссіз тұрақтандырудың құрылымды сызбасы ұсынылған.



2.2 сурет - ПИД тұрақтандыру заңы арқылы ЭКП температурасын үзіліссіз тұрақтандырудың құрылымды сызбасының жүйесі

ЭКП-тің күрделі біртекті емес басқару объектісі екеніне қарамастан, температура тұрақтандырғышы дәстүрлі бірканалды түрде атқарылады, яғни бір атқарушы элементтен -тиристорлы кернеуді тұрақтандырушыдан, бір тұрақтандыратын (есептеуіш) құрылғысы -бағдарламалайтын мамандандырылған бақылаушыдан (температура тұрақтандырғышы) және бір температура датчигінен тұрады [1].

Сол уақытта ЖТС-тің әртектілігі басқарудың объектісі ретінде көрінеді, ол бірнеше өзара байланысқан шарттарына жылу беріліс элементтерінің әр түрлі жылу технологиялық параметрлерін қамтиды.

ЖТС-ті басқарудың объектісі ретінде ұсыну зерттеу, жобалау кездерінде және температураның тұрақтандырғышының баптауына, температураны өнімде ұстап тұрудың жоғары дәлдігін талап етпейтін сияқты мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Алайда, температураның тұрақтандырғышының нақтылығы мен сапасына қойылатын талаптардың жоғарылауы, әсіресе күрделі және прецизионды технологиялық процестерде пеш ішіндегі температураның бөліну есебінің қажеттілігі туындайды. Әлбетте, мұндай талдау тек ЭКПті біртекті емес басқару объектісі ретінде нақты ұсынған кезде ғана жүзеге асырылуы мүмкін [43, 71, 74, 76].

Атап айтқанда, шешілмеген мәселелердің бірі пештің ішіндегі температура сенсорының орналасуын таңдау, сондай-ақ технологиялық тұрғыда, температура датчигінің орналасуын қалаған температураны таңдау критерийлері ретінде қарастырылуы мүмкін.

ЭКП-тің оңайлатылған біртекті жылу техникалық элементі түріндегі көрсетілімі жобалау кезінде және температура тұрақтандырғышының баптауында белгілі бір мәселелерді туындатады.

Осы міндеттерді шешу кезінде ЭКП-тің дәстүрлі оңайлатылған моделін пайдалану мүмкін емес.

Керамикалық бұйымдардың термоөңдеуінің технологиялық процесі пештің жұмыс камерасында жоғары біркелкі қыздырумен қамтамасыз етуді талап етеді. Температура әркелкі бөлінген кезде қыздырудың жылдамдығын тұтастай төмендету және салқындату қажеттілігін тудырады, себебі пештің жекелеген бөліктеріне ажыратылатын температуралық қисық, бұйымдардың зақымдануына (бұзылуына) әкелмеуі үшін. Алайда, технологиялық процестің уақытының көбеюі өнімділік пен экономикалық тиімділігін орнатудың төмендеуіне әкеледі.

ЖТС-тің біркелкі қыздыруды арттырудың тәсілдерінің бірі қыздыру блогын жылу аймақтарына бөлу болып табылады. ЭКПтің жылу аймағы өзімен бірге пештің тәуелсіз қуат көзі аймағын және қосылу аппараттарын, температураны басқаруын және тұрақтандыруын ұсынады [51, 52]. Классикалық орындауда, ЭКП-тің әрбір жылу аймағы қыздырғыштардың тобына қосылған және температура датчигімен жабдықталған тиристорлы кернеудің тұрақтандырғышын қамтиды. Бұл ретте, әрбір жылу аймағының температурасын тұрақтандыру жеке бірканалды температура тұрақтандырғышымен- бағдарламаланатын контроллермен немесе бір көпканалды температура тұрақтандырғышымен қамтамасыз етіледі.

Дегенмен, әр реттегіштегі бірдей температуралық температура жағдайында тіпті жылудың біркелкілігін арттыру әдісі жылу уақытының тұрақты мәндерінің айырмашылығы мен жылу аймағының әрқайсысына кіретін қуаттың арқасында қыздыру кезінде әртүрлі жылу аймақтарында айтарлықтай температуралық айырмашылықты байқауға болады [69, 70, 72, 83].

Пештің әртүрлі жылу аймақтарындағы температураның әртүрлілігін төмендететін ЭКП-тің басқару жүйесін зерттеу, ЭКПтің дәстүрлі оңайлатылған моделінің көмегімен мүмкін емес.

Бұдан басқа, жоғарғы температуралық ЭКП үшін қыздырғыш материалдар қуат көзі жүйесін құру мен басқаруда сол ерекшеліктерді бейнелейтін анықталған үлгілерді жасаудың қажеттілігіне алып келеді.

Барлық жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, ЭКП-тің әртүрлі міндеттерді шешу үшін басқарудың нақтыланған модельдерін әзірлеу актуалды міндет болып табылады, сонымен қатар нақтыланған міндеттерді шешуде модельдер әртүрлі болуы мүмкін. Бұл жұмыста келесі модельдерді әзірлеу міндеті қойылды:

- Басқарудың объектісі ретінде ЭКПтің әртектілігін анықтайтын, ЭКП моделі [71, 74, 76];

- қыздыру элементтеріне температураны шектейтін ЭКП моделі [82];

- Пештің жылу аймақтарындағы температураның айырмашылықтарын өтейтін ЭКП моделі [69, 70, 72, 83];

- температура тұрақтандырғышының әртүрлі тәсілдермен тоқты шектеу моделі (тұрақтандырғыш ішіндегі, сондай-ақ ток бойынша қосымша кері байланыс) [63, 67, 68, 75];

-Молибден дисилициді қыздырғышының математикалық моделі [52].

Температураны бақылаудың дәлдігі мен сапасына қойылатын талаптар және микропроцессорлық құралдардың негізінде кешенді басқару алгоритмдерін енгізу мүмкіндігі бар болған сайын, тазартылған ЭКП модельдерін және пештің жекелеген элементтерінің жылулық сипаттамалары мен жылу сипаттамаларын ескеретін температура реттегіштерін әзірлеу қажет.

## 2.2 Электр пешіндегі кедергінің нақтыланған моделін әзірлеу

Электрлік кедергі пеші басқару тұрғысынан алғанда, кернеу реттегіші арқылы қуат көзінен қуат алатын жылытқыштан, қоршаған ортаның жылу оқшаулауын қамтамасыз ететін, жылытылатын объект (тор) және жылу түрлендіргіштен (пештік кеңістікте орнатылған температура датчигі) тұратын күрделі жүйе болып табылады, әртүрлі жылу техникасы параметрлері және жылу беру процестері бір-бірімен байланысты.

Бұл жағдай жылу өтпелі процестерді есептеуді және реттеу процестерінің динамикасын талдауды қиындатады.

Дәстүрлі түрде, ЭКП температура реттегіштерінде трансфер функциясымен сызықты байланыс түрінде ұсынылған:

$$W_{\text{п}}(p) = \frac{k_{\text{п}}}{T_{\text{п}}p + 1} \quad , \quad (2.1)$$

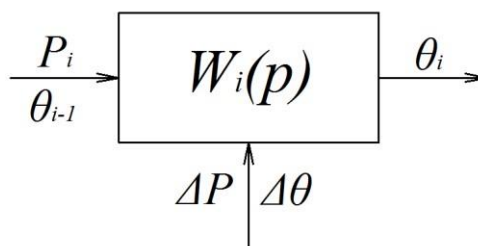
где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент передачи печи;  $T_{\text{п}}$  – постоянная времени печи.

Басқару объектісі ретінде ЭКП-тің осындай ұсынылуы басқару жүйелерін және температуралық реттегішті модельдеу кезінде бірқатар мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Ескеретін нәрсе, әрбір жаңа пеш үшін ЭКП температуралық реттегіштерінің параметрлерін орнату еңбекке қарқынды және қаржылық тұрғыдан қымбат тұратын операция. Бұл пештің жеке элементтерінің термотехникалық параметрлерін және олардың арасындағы байланысты ескеретін тазартылған пештің үлгісін әзірлеуді қолайлы етеді.

Резистентті пештің әрбір элементі 2.3 суреттегідей сілтеме ретінде ұсынылуы мүмкін, бақылау әрекетін -  $P_i$  кіріс қуатын алады (пештің жылытқышы үшін) немесе  $\theta_{i-1}$  температурасы (жүктеу және жылу оқшаулау



үшін),  $\Delta P$  интегралды бұзылыс немесе  $\Delta\theta$ , бақылау әрекетін өзгертетін кіріс қуаты. Шығу мәні -  $\theta_i$  температура [1].



2.3 сур. Басқару объектісі ретінде кедергі пеші элементінің құрылымдық сызбасы

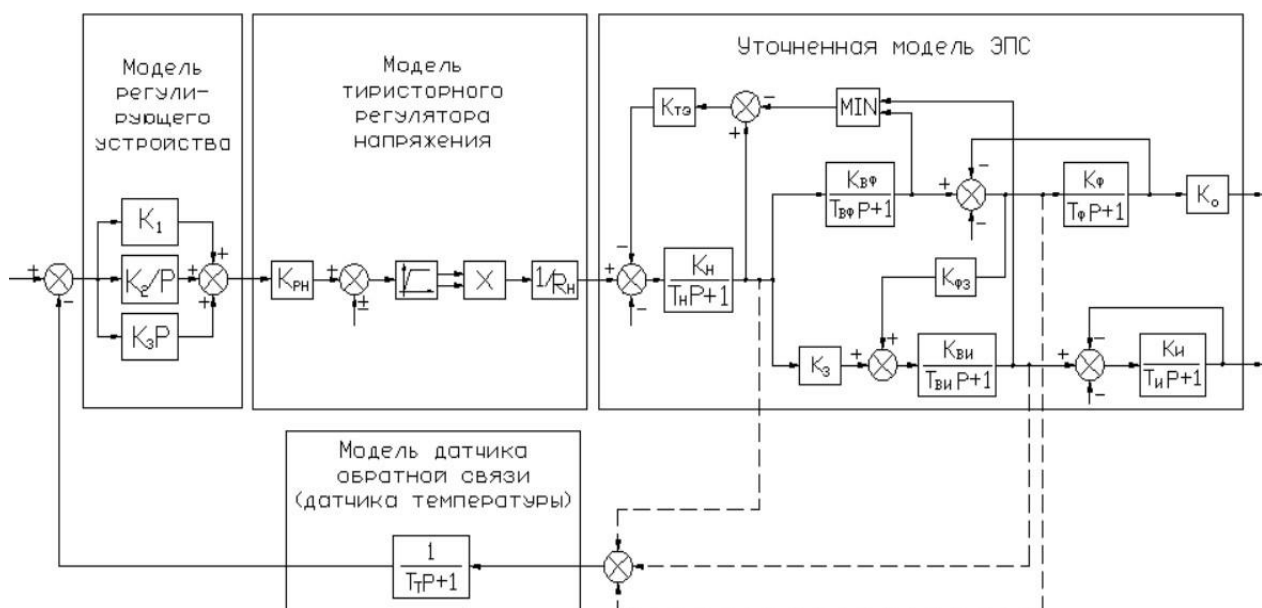
Қарсылама пеш позициясының дамыған моделіне басқару объектісі ретінде келесі болжамдар қолданылған [1]: біз пештің элементінің ішіндегі біртектілікті елемейміз, яғни біз оның орташаланған жылу техникалық параметрлерін пайдаланамыз; қыздырғышты, төсенішті және термотехникалық жіңішке денелерді қарастырамыз. Бұл болжамдар өте шикі болып табылады, бірақ олар пеш элементтерін үлгілерді температуралық бақылау жүйесін одан әрі зерттеуге ыңғайлы пішінде алуға мүмкіндік береді.

Таңдалған пеш элементтерінің әрқайсысы үшін пешті сипаттау үшін жоғарыда сипатталған әдеттегі тәсілді қолданып, реттеуіш құрылымының сызықты емес сипаттамасын және жалпыланған ЭКП үлгісін ескере отырып, 2.4 суреттегі құрылымдық схема түрінде температура контроллерін ұсынуға болады.

Суретте көрсетілгендей. 2.4 сұлбасы мынадай блоктар кіреді: ЭКП, назарға пештің әржақтылығы қабылдайды, электрмен жабдықтау - тиристорлық реттегіш, пропорционалды-интегралды-дифференциалды бақылау заң мен кері байланыс датчигін реттейтін құрылғы (температуралық датчик).

Ұсынылған модельді әмбебап модель ретінде қарастыруға болады, әр түрлі ЭКП және температураны бақылау жүйесінің схемаларын зерттеуге жарамды.

Атап айтқанда, бұл модель пештің жекелеген элементтерінде де, олардың жиынтықтағы да температураға кері әсерін зерттеуге мүмкіндік береді. Кері байланыс жолдарын енгізудің ықтимал жолдары 2.4 суретте көрсетілген сызықтармен көрсетілген.



Сурет 2.4 - Бақылау объектісі ретінде ЭКПтің әртектілігін және реттеу элементтерінің сипаттамаларының бейсызықтығын ескеретін температура реттегішінің құрылымдық сызбасы

Пештің моделі құрамында трансфер функциясы бар инерциальды байланыс  $k_n / (T_n p + 1)$  түрінде ұсынылған жылытқыштар, трансфер функциясы бар  $k_\phi / (T_\phi p + 1)$  инерциялық байланысы бар кері байланыс циклі арқылы анықталған төсем, сондай-ақ трансфер функциясымен  $k_i / (T_i p + 1)$  инерциялық байланыстың кері байланыс жолы ретінде ұсынылған.

Жылытқыш, төселім және өнім арасындағы ауаның бос орындары трансфер  $k_{вф} / (T_{вф} p + 1)$ ,  $k_{ви} / (T_{ви} p + 1)$  функцияларымен инерциялық байланыс түрінде модельде ескеріледі.

Пештің корпусынан қоршаған ортаға жылу беру модельде инерциясыз элементтің көмегімен  $k_o$  беру коэффициенті ескеріледі, оның шығуында пештің корпусының температурасына  $\Theta_k$  пропорционалды мән беріледі.

Қоршаған ортаның температурасы  $\Theta_c$  моделінде ескеріледі, бұл функцияда  $k_\phi / (T_\phi p + 1)$  ретінде қарастырылады.

ЭКП үлгісіне енгізілген элементтердің параметрлері [31, 50] сипатталған немесе тәжірибелер негізінде анықталған жылу туралы заңдар негізінде есептеледі.

Қуатты басқару моделі реттеуші шығуда нақты кернеу әрқашан оң және номиналды құнынан аспауы мүмкін екенін ескере отырып, тиристорлық кернеу реттегіш KRN трансмиссия факторы және сызықты емес элементі түрі «шектеу» бар тізбек элементі 2.4 суретте көрсетілген.

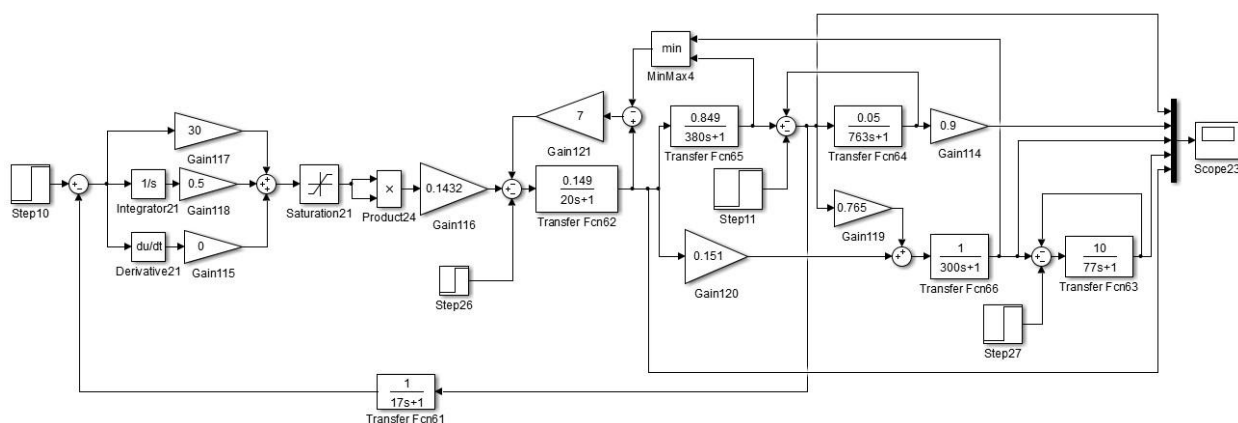
Қуат контроллерінің [50] жалпы қабылданған ұсынысынан айырмашылығы желілік байланыс ретінде қарастырылады, мұнда жүйеде қуат реттегіші жоқ, өйткені пешке енгізілген қуатты реттеу кернеу реттегіші арқылы жүзеге асырылады. Пешке қуат кірісі көбейту қондырғысы арқылы

анықталады, оның шығуында  $U^2$  мәні және  $1/R_H$  беру коэффициенті бар байланыс пайда болады.  $1/R_H$  байланысының шығуында жылытқышқа кіретін  $P = U_H^2 / R_H$  қуатына пропорционалды мән беріледі.

Арнайы микропроцессорлық контроллер түрінде заманауи температура реттегіштерінде жүзеге асырылатын реттелетін құрылғының моделі құрылымдық схемада сәйкесінше трансфер функцияларымен бірге үш параллель қосылыстармен ұсынылған  $k_1$ ,  $k_2/p$  және  $k_3p$ . Жоғары жылдамдықты микропроцессорлық контроллер ақпараттың цифрлық өңдеуіне байланысты инерцияны елемеуге мүмкіндік береді. 2.4-суреттегі блоктық схемадан келіп түскендей, ЭКП қуатын пайдаланатын қуат реттегіші - температураны бақылаудың сапасы мен жүйені зерттеу үшін қолданылатын әдістерге әсер ететін сызықтық емес басқару жүйесі.

ЕСЖ температура реттегішінің құрылымдық диаграмма түріндегі моделі 2.4 суретте температуралық контроллерді талдау және синтездеуге мүмкіндік береді, динамикада да, статикада да пештің ішіндегі температуралардың таралуын есептейді, сондай-ақ температура реттегішінің әртүрлі нұсқаларын салыстырады.

2.4 суретте ұсынылған жүйе сызықтық емес және аналитикалық шешімді алуға мүмкіндік бермейді. Зерттеу үшін автоматтандырылған басқару жүйелерін талдау және синтездеу үшін әзірленген құрылымдық модельдеудің сандық әдістерін қолдану орынды. Қазіргі уақытта Simlink Matlab / Simulink бағдарламалық пакетін өте ыңғайлы деп санауға болады, оның сызықтық және сызықты емес дерлік, шексіз күрделілік жүйелерін талдауға, синтездеуге мүмкіндік беретін стандартты элементтердің үлкен кітапханасы бар [8]. 2.4 суреттегі құрылымдық схемаға сәйкес, Matlab / Simulink ортасында температураны басқару жүйесінің имитациялық моделі жасалды, оның сызбасы 2.5-суретте көрсетілген.

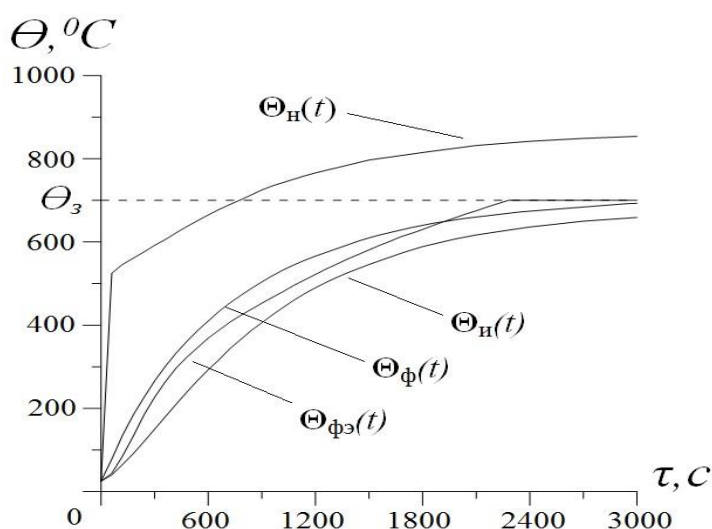


2.5-сурет. Matlab / Simulink ортасында ЭКП температура реттегішінің имитациялық моделі.

2.5-суреттегі модельдеу жүйесі температуралық басқару жүйесін нақты объектідегідей, әртүрлі әсерлерді орнатып, жүйе элементтерінің қалаған

ауқымындағы параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді. Алайда, модельдеу моделінің функционалдылығы нақты жүйеден әлдеқайда кең, өйткені ауқымды экспериментте өлшеуге болмайтын шамаларды есептеуге болады. Сондай-ақ, модельде есептелген шығыс мәндерін салыстыру және эксперименттік жолмен алынған басқару объектісін анықтау үшін имитациялық моделін қолдану ыңғайлы. 2.6 суретте ұсынылған модельдің мүмкіндіктерін суреттейтін уақытша диаграммалары көрсетілген.

Пештің қыздыру кезінде температураның өзгеруін (жылытқыш, мақала және бояу) алынған тәуелділіктерді талдау үшін ыңғайлы болу үшін, сипаттамалар жалпыға бірдей Scovelге шығарылады, бұл пайдаланушыға динамикадағы пештік кеңістіктегі температуралық бөлудің бірыңғай көрінісін алуға мүмкіндік береді ( 2.6 сур).



Сурет. 2.6. Жылытқыштың температурасының динамикалық сипаттамалары, модельдеу үлгісінде алынатын бұйымдар мен төсемелер және эксперименттік жолмен алынатын температураның динамикалық сипаттамасы

Жүйелік элементтердің параметрлерін өзгерткенде, әсер ететін және бұзылатын кезде пештің әртүрлі элементтері үшін  $\Theta(t)$  температуралық өтпелі функцияларын есептеу арқылы, 2.5 суреттің имитациялық моделін пайдалана отырып, ЭКПтің температурасын басқару жүйесін зерттеу ыңғайлы.

2.6 - суреттегі имитациялық модельді пайдалана отырып, жүйені зерттеу әдісін көрсету үшін пешінің температурасын  $\Theta_{\phi}(t)$ , жылытқыштарды  $\Theta_n(t)$ , өнімдер  $\Theta_n(t)$  мен орнатылған температураның  $\Theta_3(t)$  өтпелі функцияларының осциллограммы лайнердің температурасын кері байланыс сигналы  $\Theta_{\phi}(t)$  ретінде қолданғанда беріледі.

Салыстыру үшін берілген параметрлерге төменде берілген пештің эксперименталды түрде алынған қабаттағы температура осциллограммасы берілген  $\Theta_{\phi_3}(t)$ .

2.6 - суретте көрсетілген осциллограммалар ПИД контроллері СНО-3.3.5.3/9 камералық пештің өтпелі процессінің жақын аperiодты сипатына реттелген кезде, 2.5 суреттегі имитациялық моделі есептелді, оның номиналды

қуаты  $P_{\text{ном}} = 7$  кВт, номиналды температура  $\Theta_{\text{ном}} = 900$  °С және жұмыс камерасының көлемі  $V = 37$  л болады. Орнатылған пештің жұмыс температурасы мынаған тең болды:  $\Theta_3 = \Theta_{\text{ном}} = 700$  °С. Пеш элементтері мен уақытша тұрақтылар арасындағы жылу беру коэффициенттері [50] -да сипатталған, жалпы қабылданған әдіске сәйкес есептелген.

2.6 - суретте көрсетілген тәуелділіктерді талдаудан бастап, 2.5 - суретте есептелген пештің қызу қисықтары  $\Theta_{\text{ф}}(t)$  экспериментальдімен  $\Theta_{\text{фэ}}(t)$  сәйкес келеді, яғни пештегі процестерді анық түрде көрсетеді.

Пештің жекелеген элементтерінің температуралық тәуелділіктерінің арасындағы сәйкессіздік дамыған модельдің артықшылықтарын анық көрсетеді, бұл тұрақты күйде де, динамикада да температура таралуын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл қорытынды [51] -да келтірілген зерттеу нәтижелерімен келісіледі.

Бұл модель (2.6 сурет) бірқатар маңызды мәселелерді шешуге мүмкіндік береді, мысалы: температура датчигінің орналасуын анықтау; реттегіштегі мәннен асатын қуатты таңдау; ЭКПтің басқару жүйесін орнату және ықтимал наразылықтарды жасау.

### **2.3. Жылыту элементтерінің температурасын шектейтін ЭКП температуралық реттегіші**

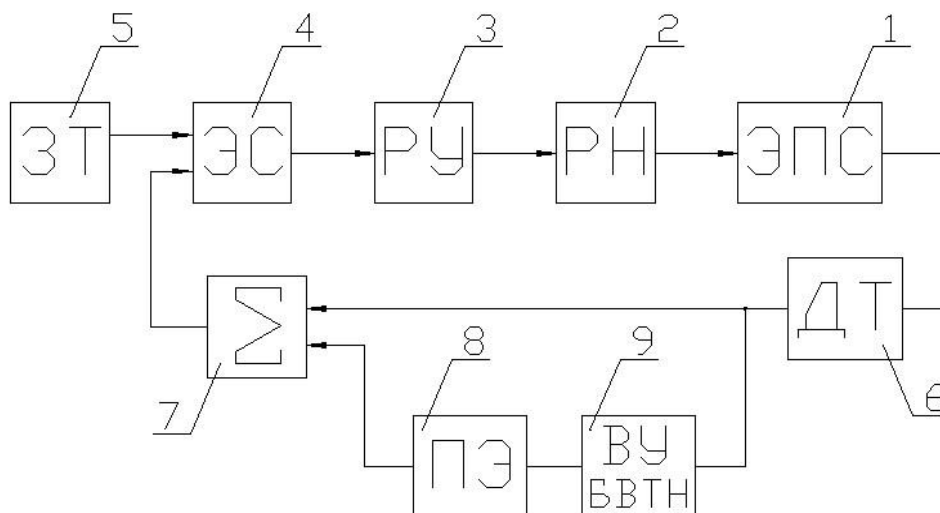
Электр кедергісі пештерінің жылытқыштарының жұмысы әдетте өте қатаң температура жағдайларында, жиі жасалатын материал үшін рұқсат етілген ең жоғары температурада болады [51, 52]. Стандартты температура реттегіштерінде пештің қыздырғыш элементтерінде температура бақылауы жоқ. Бұл олардың қызып кетуіне және қызмет ету мерзімінің айтарлықтай төмендеуіне алып келеді. Осыған байланысты жұмыста қыздыру элементтерінің температурасын шектейтін реттегіш ұсынылды. ЭКП-ның әртүрлілігін ескеретін, жоғарыда әзірленген модельді қолдану (2.2-суретті қараңыз) жылытқыштардың температурасын жылу өңдеу процесіне және олардың қолданылу ұзақтығына әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Қыздыру элементтерінің температурасын шектеудің және олардың ЭКП басқару жүйелеріндегі қызмет ету мерзімін ұзартудың бірі - қыздыру элементтерінің температурасын шектеу үшін арнаны енгізу. Осыған байланысты қыздыру элементтерінің температурасын шектейтін температура реттегіші әзірленді. 2.7 суретте- қыздыру элементтерінің температурасын шектеуі ұсынылған контроллердің функционалдық диаграммасы.

Төменде келтірілген модель 2.7-суретте келтірілген модельге енгізіледі: 7-ші элемент, 8 -шекті элемент және есептегіш құрылғы - жылытқыштың температурасын есептеу бірлігі- 9.

Ұсынылған контроллер төменде жұмыс істейді.

Температура 5 мәнінің көмегімен басқарылатын температураның орнатылған мәні  $\Theta_3$  (қолмен немесе автоматты түрде) қалыптасады. Бұл сигнал 3 4 салыстыру элементіне ауысады, онда ол температура сенсоры арқылы 6

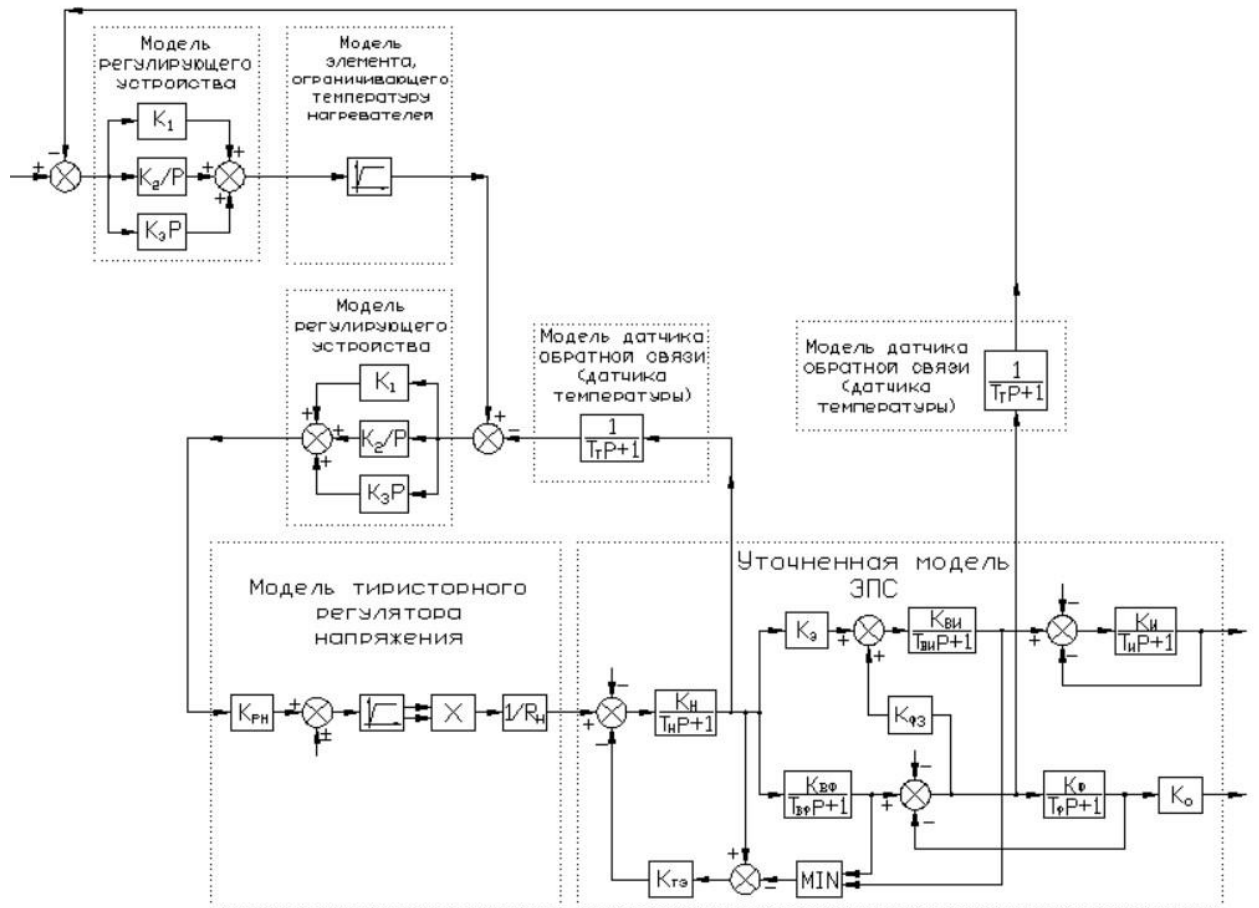
бақылау элементінен 1 (электрлік кедергі пешінің қыздырғыштары) өлшенген температураға пропорционалды сигналмен салыстырылады. Реттеуші құрылғы 3,  $\Delta$  мәніне және оның ауытқу белгісіне байланысты, басқару элементіне тікелей әсер ететін жетектің (2 кернеу реттегіші) реттеуші әсерін қалыптастырады.



Сурет 2.7 - Жылыту элементтерінің температурасын шектейтін температура реттегішінің функционалдык диаграммасы

Прототипі салыстырғанда, ұсынылған құрылғы қыздыру элементтерінің температурасын шектейді. Бұл сәйкестендіргіш 7 элементтің көмегімен салыстыру элементіне 4 ток сенсорынан қосымша кері байланыс ұсыну арқылы қамтамасыз етіледі. Бұл кері байланыс функциясы пештің қыздыру элементтеріндегі температура рұқсат етілген мәннен асқан кезде ғана жұмыс істейді. Температура рұқсат етілген мәндерге түсетін кезде, кері байланыс 8-ші элементтен ажыратылады. Осы техникалық шешімге сәйкес, № 138554 пайдалы моделіне РФ патенті алынған [82].

2.7-суретте ұсынылған жүйе бірнеше нұсқаға ие болуы мүмкін. 2.8 суретте ЭКП температуралық реттегішінің блоктық схемасы көрсетілген, онда қыздырғыш элементтердің температурасы бойынша теріс кері байланыс қосымша арнасы енгізілген. Бұл тәсіл ЭКП қыздыру элементтерінің температурасын рұқсат етілген мәннен асатын жағдайда автоматты түрде түзетуге мүмкіндік береді.

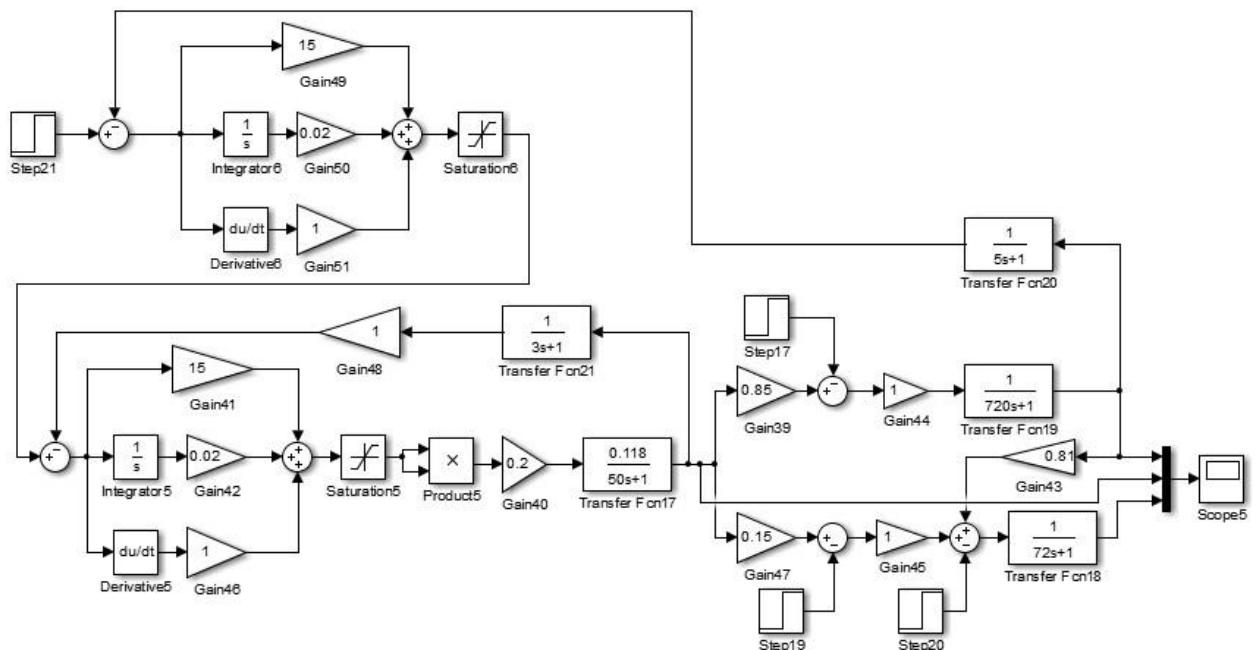


Сурет 2.8 - Жылытқыш элементтердің температурасын шектеу арқылы ЭКП температура реттегішінің құрылымдық схемасы

2.8-суретте көрсетілген жүйе сызықты емес және аналитикалық шешім алуға мүмкіндік бермейді. Зерттеу үшін автоматтандырылған басқару жүйелерін талдау және синтездеу үшін әзірленген құрылымдық модельдеудің сандық әдістерін қолдану орынды. Simulink Matlab / Simulink қосымшасын қазіргі уақытта ең ыңғайлы деп есептеуге болады [8].

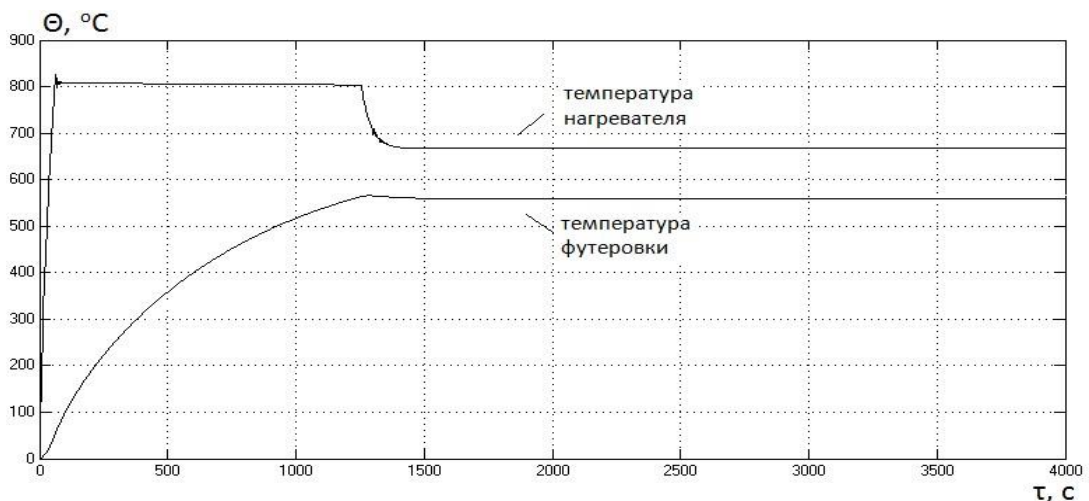
2.8 суреттегі құрылымдық схемаға сәйкес, Matlab / Simulink ортасында температурадан басқару жүйесінің имитациялық моделі жасалды, оның сызбасы 2.9-суретте көрсетілген.

Зерттеу пештің температура өзгеруін және жылытқыштардың температурасын есептеу арқылы 2.9 суреттегі имитациялық моделінде жүргізіледі. Бұл модельді зерттеу нәтижелері 3-тарауда келтірілген.

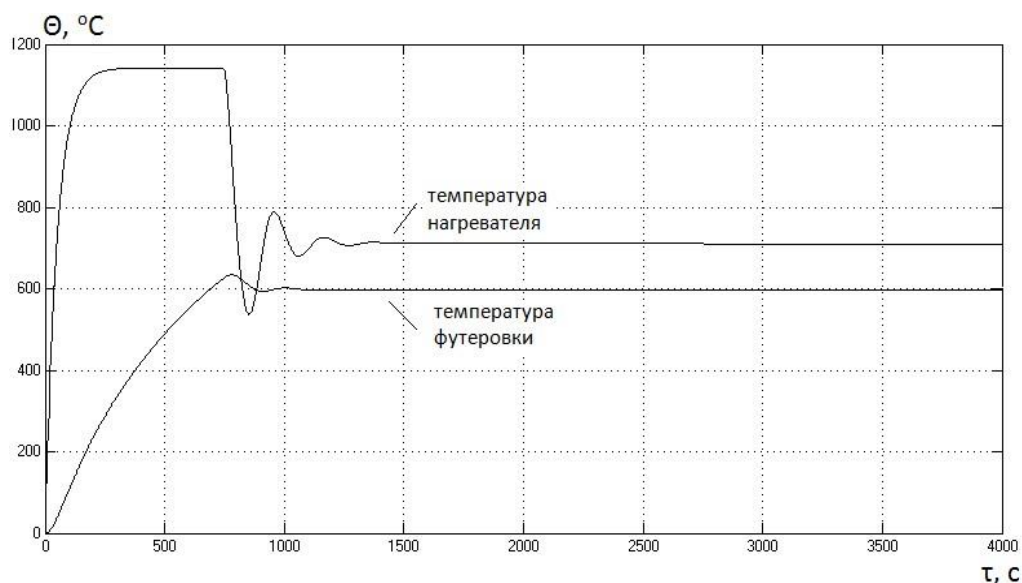


2.9 суретте - Matlab / Simulink ортасында жылу элементтерін температуралық шектеу арқылы ЭКП үшін температура реттегішінің имитациялық моделі

2.10 - суретте қыздырғыштың температурасы мен қабатының температурасына кері байланыспен ұсынылған екі сұлба моделінің жұмысын суреттейтін уақыт диаграммалары көрсетілген (2.10а сурет) а) және жалғыз циклдік модель, тек бір ғана кері байланыстыру температурасы (сурет 2.10 б). Пештің қыздыру кезінде температураның өзгеруін (жылытқыш, бұйым және бояу) алынған тәуелділіктерді талдауға ыңғайлы болу үшін, жалпы виртуалды осциллографтың көлемі, ол пештің кеңістігінде динамикадағы температура таралуының бірыңғай бейнесін алуға мүмкіндік береді (сур. 2.10).





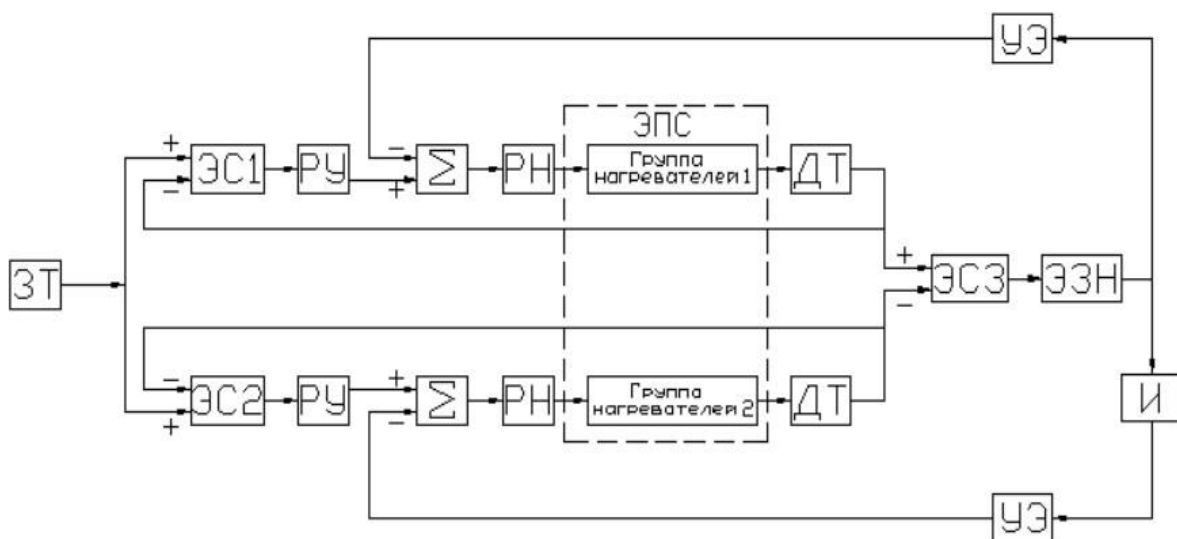


Сурет 2.10 - (а, б) Екі кері байланыс түйісетін модельдеу үлгісінде алынған жылытқыштың температурасын, бұйымдары мен төсемін динамикалық сипаттамалары: а) және бір кері байланыс б)

#### 2.4 Пештің жылу аймағындағы температура айырмашылығын өтеу арқылы ЭКП температуралық реттегіші

2.1-тармақта қыздыру кезінде пештің жұмыс камерасында жылудың біркелкі болуын қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты керамикалық бұйымдарды термиялық өңдеуге арналған көп аймақты ЭКП мерзімді басқару жүйесін құру мәселесі анықталды [69, 70, 72, 83]. Жылыту процесінде әртүрлі жылу аймағының температуралық айырмасын азайту үшін температура айырмашылығына байланысты жылу аймағына кіретін қуатты автоматты түрде түзетуді енгізу ұсынылады.

Пештік аймақтарды бақылауды ұйымдастыруға мұндай көзқарас олардың арасындағы температура айырмасын азайтуға мүмкіндік береді және осылайша пештің жұмыс кеңістігінде температураны бөлудің біркелкілігін арттырады. Екі жылу аймағы бар ЭКП температурасындағы айырмашылықты өтеу үшін жылу кезінде басқару жүйесі жасалды, оның функционалдық диаграммасы 2.11-суретте көрсетілген.



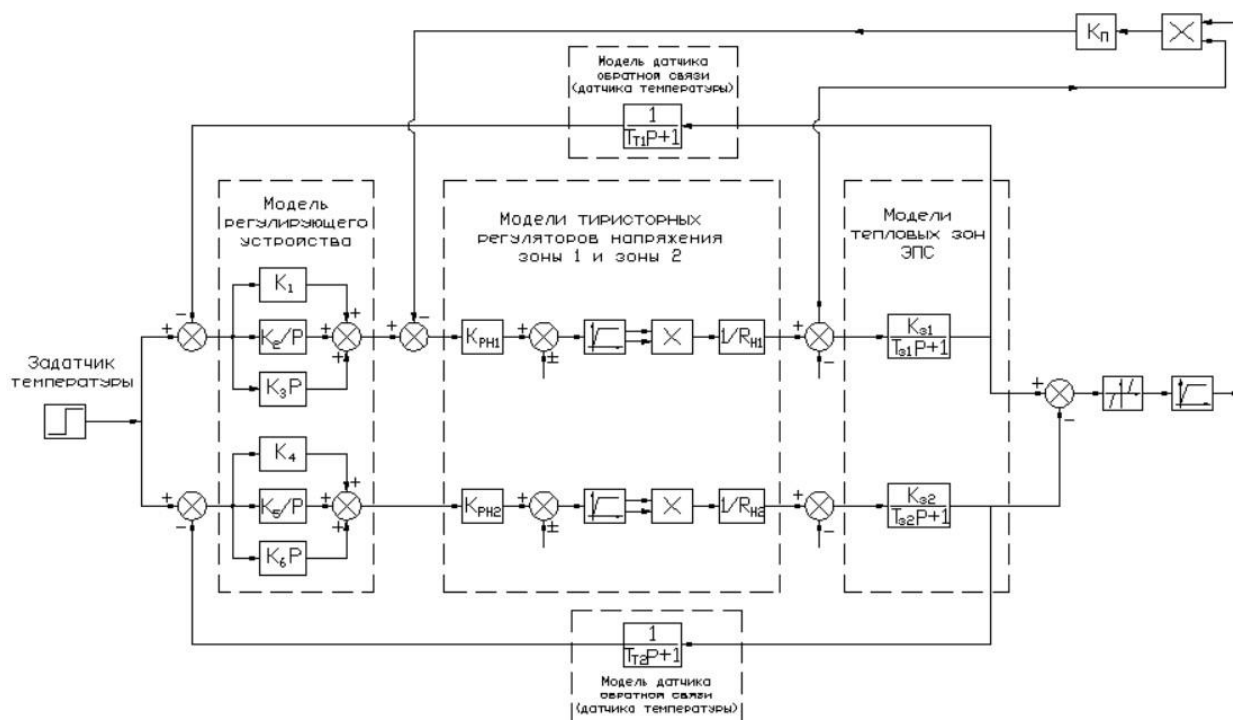
Сурет. 2.11 - Термиялық аймақтардағы қуат өтемімен ЭКП температуралық реттегішінің функционалдык диаграммасы

Пештің жылу аймағындағы температурада айырмашылық бар болса, ЭСЗ салыстыру элементінің шығуында қателік сигналы шығарылады, ол қосалқы заттардың шегерілетін кірістеріне келіп, температураның төмендеуіне ие қыздырғышқа енгізілген қуат пен температураның жоғарылауы бар жылу аймағының жылытқышына енгізілген қуаттың төмендеуіне әкеледі. Осылайша, температура теңестіру пештің аудандарында берілетін болады. Реттегіштік жүйенің параметрлерін бақылау арналарының белгілі комбинацияларына сәйкес жағымсыз болып табылуы, теңестіру процесінде температура ауытқуы болуы мүмкін. Тепе-теңдік құнының айналасындағы температура ауытқуын болдырмау үшін, ЭЗН өлі диапазоны бар элемент бақылау жүйесіне енгізілуі мүмкін, ол дұрыс қабылдағыштардың температурасына байланысты кемшіліктерді қабылдайтын түзеткіш сигналдарды өшіреді.

Осы тізбектің шешімі бойынша № 147522 пайдалы моделіне патент алынды [83].

ЭКПте температураның айырмашылығын екіден асатын жылу аймақтары санына теңестіру кезінде референттік жылу қисық сызығы бар жылу аймағын таңдап, қалған жылу аймақтарының жылу қисықтарын жұппен салыстыру керек. Пештің жылу аймақтардың әрқайсысы үшін бақылау объектісі ретінде пештің сипаттамасы жоғарыда талқыланды, дәстүрлі тәсіл (2.2) пайдалана отырып, температура реттегіші суретте 2.12 блок-схемасы түрінде жылу процесінде жылу өтемақы аймақтарда температура айырмашылықпен ұсынылуы мүмкін. Суретте көрсетілген. 2.12 жүйе сызықты емес және аналитикалық шешімді алуға мүмкіндік бермейді. Зерттеу үшін автоматтандырылған басқару жүйелерін талдау және синтездеу үшін әзірленген құрылымдық модельдеудің сандық әдістерін қолдану орынды. Қазіргі уақытта стандартты элементтердің үлкен кітапханасы бар және сызықтық және сызықты емес дерлік шексіз күрделілік жүйелерін талдау және

синтездеуге мүмкіндік беретін Simulink Simlink / Simulink бағдарламалық пакеті [8].

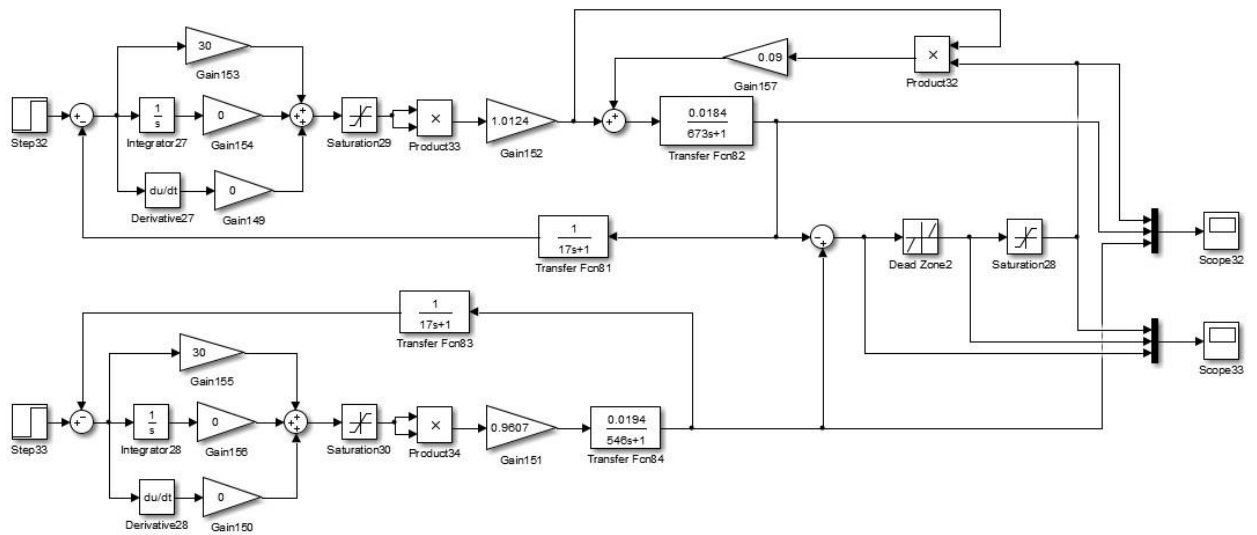


Сурет 2.12 - Жылулық аймақтардағы электр қуатын өтеу арқылы ЭКП температуралық реттегішінің құрылымдық диаграммасы

Matlab/Simulink ортасында термиялық аймақтардағы энергияны компенсациялаумен ЭКПтің басқару жүйесін зерттеу үшін, екі аймақтық пештердің температуралық реттегіш имитациялық моделі әзірленді, онда қуат температура қисығына ие аймақ қыздырғышына қосылды. Имитациялық модельдің схемасы 2.13-суретте көрсетілген. 2.13-суреттегі диаграммадағы блоктарды белгілеу Simulink пакетінде жинақталған үлгілерде пайдаланылатын транскрипцияда сақталады, ол қарастырылып отырған жүйені зерттеуді қажет ететін кезде оны қайта жасау үшін тиісті бағдарлама пакетіне ие зерттеушіге мүмкіндік береді.

2.13-суреттегі модельдеу үлгісі температуралық басқару жүйесін нақты нысандардағыдай етіп, әртүрлі әсерлерді орнатып, жүйе элементтерінің қалаған ауқымындағы параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді.

Дегенмен, модельдеу моделінің функционалдылығы нақты жүйеден әлдеқайда кеңірек, себебі ол басқару объектісінің параметрлерін және кіріс әсерлерін кеңірек ауқымда өзгертуге мүмкіндік береді.



Сурет 2.13- Simulink Matlab ортасында ЭКП температура реттегішінің модельдеу моделі

Ұсынылатын басқару жүйесі жүзеге асырылады және процесте қажетті жылу процесінде жылу аймақтары арасында талап етілетін температуралық айырмашылықты қамтамасыз етеді. Жоғарыда көрсетілген модельдеу үлгісі қыздыру кезінде жылу аймақтары арасындағы температура айырмасын өтеу үшін қажетті қосымша қуат мөлшерін анықтауға арналған зерттеулерді жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл мән, тиристор кернеуінің реттеушісін жобалау мен таңдауда қуат реттегішінің қажетті резервін есептеуге мүмкіндік береді.

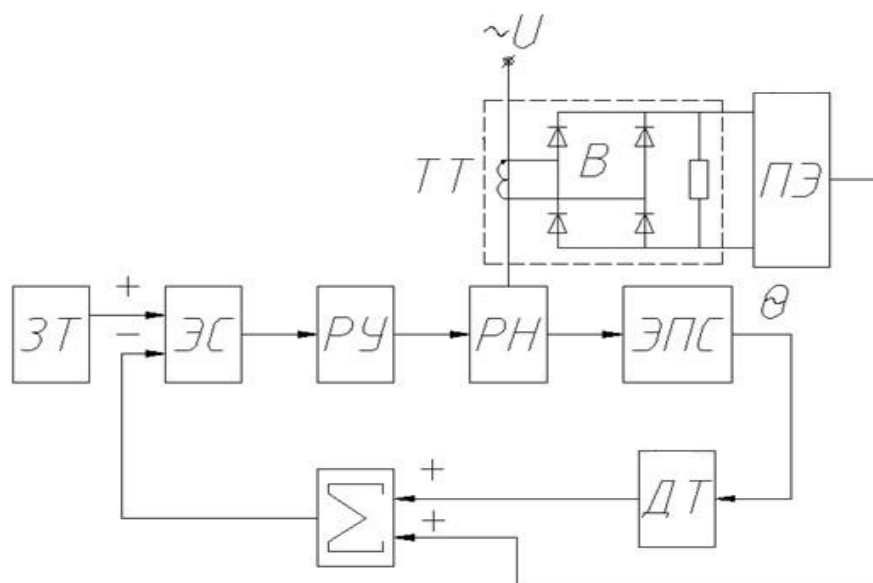
## 2.5 Жылытқыштардың ток шектеуімен электр пеші температурасының реттегішінің кедергісі

Күкірт өнімдерін термиялық өңдеуге арналған бірнеше ЭКП 1400°C жоғары жылытқыштар молибден десилицидіден қолданылады. 1.3-тармақта ЭҚЖ үшін басқару жүйелерін дамытуға байланысты негізгі проблема атап өтілді. Молибден десилицидті жылытқыштардың басқару жүйесіндегі ағымдық соққыны төмендетудің бірі пешті қыздыру кезінде жылытқыштардағы токты шектейтін ағымдағы тоқтауды пайдалану болып табылады. Бірқатар мамандандырылған атқарушы органдарда - айнымалы ток кернеулерінің тиристорлық реттегіштері, ауыспалы жүктеме тогын қолайлы мәндерге шектейтін сызықтық емес теріс ток кері байланыс (ток өшіру) енгізіледі. Сонымен қатар, сапасы мен бақылау дәлдігін сақтай отырып фазалық бақылау әдісі импульстік тиристорлық электр реттегішін пайдаланғанда пештер үшін импульс (эстафета) бақылау пайдаланылатын, ағымдағы кесу енгізу құнын ғана төмендетуге болады. Алайда зерттеулер релелік температура реттегіштерінде ток өшіруді енгізу мүмкін еместігін көрсетті. Стандартты температура реттегішінде ағымдық бақылаудың жоқтығы тиристордың және реттегіштің белгіленген қуатын арттыруға әкеледі [1].

Осылайша, теріс ток кері байланысын енгізу үшін сыртқы кірістердің стандартты бағдарламаланатын температуралық реттегіштерінде болмауы оларды «суық» пешті қосқан кезде жылытқыш токтың мониторингін қажет ететін жоғары температура пештеріне қолдануды шектейді. Стандартты бағдарламаланатын температура реттегіштерінің мүмкіндіктерін кеңейту үшін температураның кері байланыс арнасына ток кері байланыс енгізу ұсынылады [63, 67, 68, 75, 79, 80].

2.14-суретте жаңартылған температура реттегішінің функционалдык диаграммасы көрсетілген. Бұл құрылғы жоғарыда сипатталған өнеркәсіптік контроллерден ерекшеленеді, өйткені электр тогы мен РН кернеу реттегішінің қуат кірісі арасында ток сенсоры ТТ орнатылған. Ағымдық сенсор ток трансформаторлары түрінде, қайталама орамалармен, оның шығыс элементінің кірісіне қосылатын түзеткішке қосылған болуы мүмкін. Ағымдық сенсор арқылы анықталған ағымдағы сигнал РЕ элементінің шекті элементі арқылы температура сенсоры ДТ арқылы анықталған температура сигналымен бірге қосқышқа  $\Sigma$  беріледі. Жиынтық ток және температура сигналы ЭСесептегіш құрылғысына беріледі.

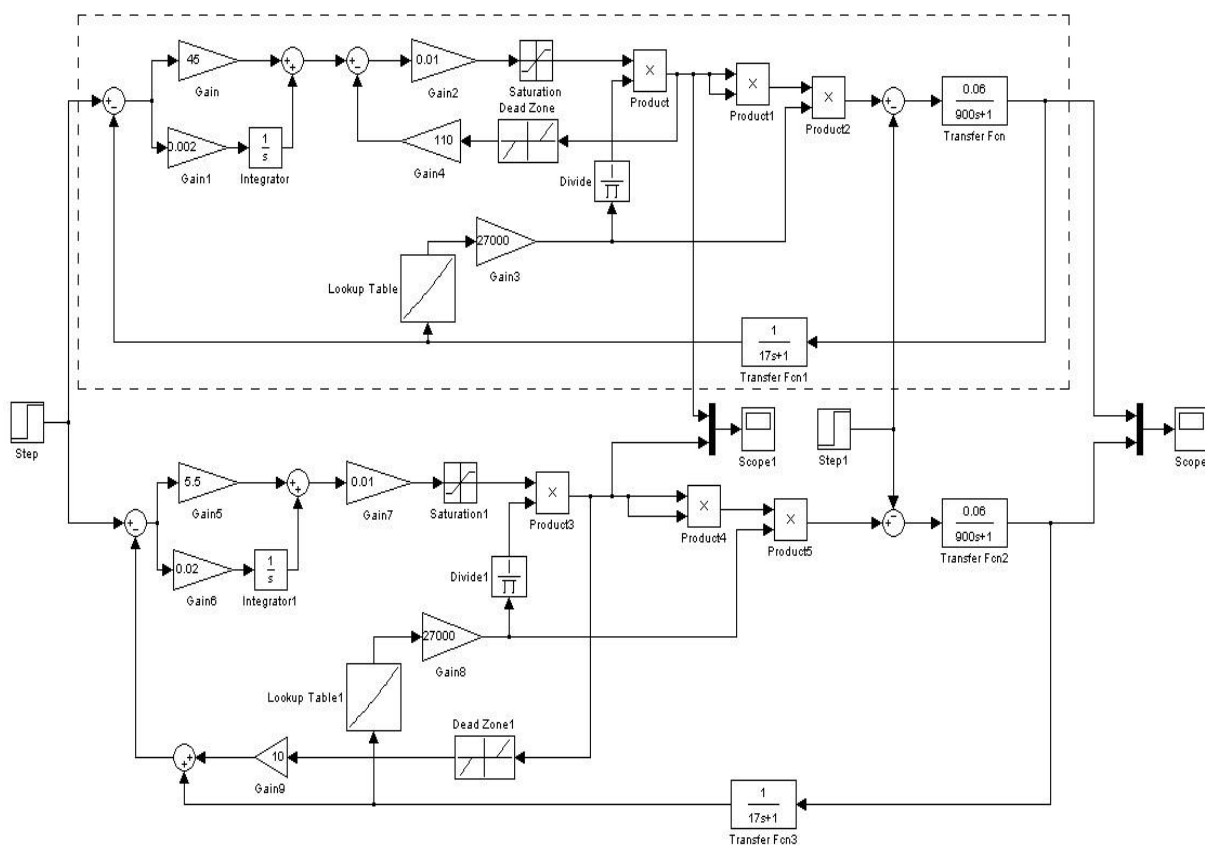
Температуралық кері байланыс арнасына қосымша ток кері байланысын енгізумен электрлік кедергі пешінің әзірленген температура реттегіші молибден десицидідінен жылытқыштардың «тегіс» іске қосылуын қамтамасыз етеді.



Сурет 2.14 - Электрлік кедергі пешінің әзірленген температуралық реттегішінің функционалдык диаграммасы

Техникалық шешімге сәйкес № 98602 пайдалы модельге патент алынды [88]. Дамыған басқару жүйесін зерттеу үшін Simulink Matlab ортасындағы температура реттегішінің моделі жасалды (2.15-сурет). Осы модельді құрастыру кезінде ЭКП-тің дәстүрлі жеңілдетілген моделі пайдаланылды (2.1).

Температура реттегіштерін ток шектеуімен тергеу үшін ыңғайлы болу үшін Simulink Matlab қосымшалар пакетінде (2-15 сурет) іске асырылған, ол «ағымдағы» үзілісті ұйымдастырудың екі әдісін қамтиды. 2.15-суреттегі штрихталған сызығы ішкі ток тізбегі бар температура реттегішінің сызбасын көрсетеді (дәстүрлі схема конструкциясы). Ұсынылған схемалық шешім дәстүрлі схемадан төмен орналасқан схемаға сәйкес келеді. Салыстырудың ыңғайлылығы үшін екі модель Step блогынан бірдей сигнал алады және шығыс сигналдарының графикалық көрінісі үшін жалпы виртуалды осциллографтар Scope және Scope1 қолданылады. Бұл әдіс дәстүрлі реттеушіні және ұсынылған реттеушіні салыстыру нәтижелерін бейнелеуге мүмкіндік береді (3.4 бөлім). 2.15-суретте келтірілген температура реттегіштері температура функциясы ретінде жылытқыштың қарсылығын өзгертуге жауапты Lookup Table (Simulink Matlab) блогын қамтиды. Температуралық кері байланыс арнасына қосымша ток кері байланысын енгізумен электрлік кедергі пешінің әзірленген температура реттегіші молибден десилицидіден жылытқыштардың «тегіс» іске қосылуын қамтамасыз етеді. Нәтижеленген имитациялық моделінің жылытқыштар ағынын шектеу әдісіне байланысты жылытқыштарға арналған ағымдағы токтың лақтырылуын бағалауға мүмкіндік береді.

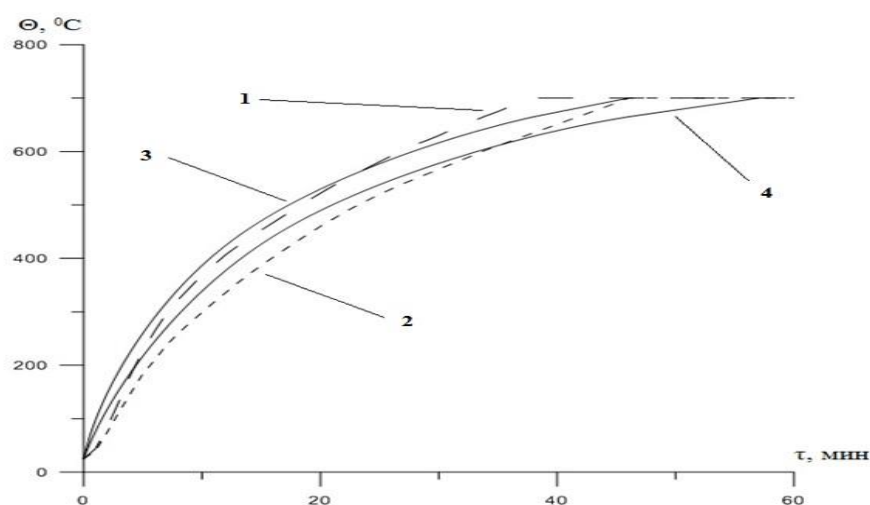


Сурет 2.15 - Simulink Matlab ортасында іске асырылған температура реттегіштерінің моделі: 1 - реттегіште ток өшірілумен; 2 - қосымша ток кері байланыспен

### 3 ЭЛЕКТРЛІК КЕДЕРГІ ПЕШТЕРДІҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН ІСКЕ АСЫРУ ҮШІН КЕРАМИКАЛЫҚ БҰЙЫМДАРДЫ ТЕРМОӨНДЕУ

#### 3.1 Эксперименттік зерттеулер негізінде электрлік кедергі пештің тазартылған модельдеу моделін жасау

Эксперимент нәтижелеріне сүйене отырып, пешті зарядсыздандыру үшін «қисық жылу» (қисық 1, сурет 4.1) және жүктемесі бар пештер (қисықтар 2, сурет 4.2) жасалды.



4.2-сурет - Пешпен қыздырудың эксперименттік сипаттамалары.

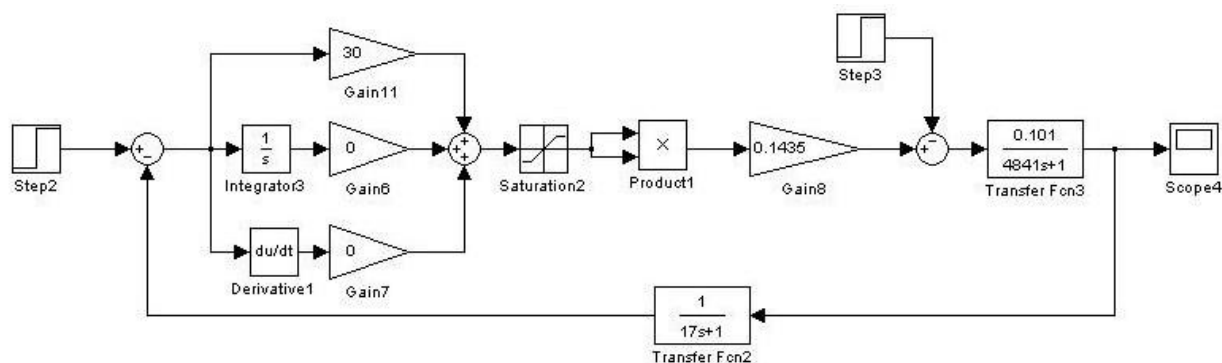
Пештің белгіленген температурада жүктемесіз уақыты  $\tau_{э.х.}$  2280с, ал жүктемемен пештер  $\tau_{э.з.}$  - 2760 с.

4.2 суреттегідей, пештің эксперименттік «жылу қисықтары» есептелген экспоненциалды қисыққа жақын (қисықтар 3 және 4). Тәжірибелік қисықтардың экспоненттік тәуелділіктен ең көп ауытқуы 8% -дан аспайды. Демек, ЭКП-дің (2.1) өрнегімен анықталатын желілік аперидотық байланыс түрінде ұсынылуы қолайлы.

ЭКП моделін құрудағы басты қиындық паспорттық деректерден уақыттың тұрақты мәнін анықтау болып табылады.

Пештің уақытының тұрақты мәнін анықтау үшін Matlab / Simulink ортасындағы «жылыну қисығын» модельдеу әдісі пайдаланылды.

Сурет 4.3 модельдеу моделінің схемасын көрсетеді, онда ЭКП бірінші ретті сызықтық инерциялық байланыс ретінде ұсынылады. Осы модельдің көмегімен тапсырманы кезеңді өзгерту үшін өтпелі функция есептелді.



Сур.4.3. Simulink Matlab ортасында ЭКП үлгісі

«Жылыну қисығы» модельдеуі берілім  $k_{\text{п}}$  уақытын анықтау үшін азайтады және тұрақты пеш  $T_{\text{п}}$  коэффициенті мәндерінде көрсетілген мәндер жылыту температурасы мен уақыт моделіне алынған сол эксперименттік температура мәндері  $\theta_{\text{э}}$  мен жылыту уақытының  $\tau_{\text{э}}$  сәйкестігінен бастап анықталады.

«Қызудың қисық» модельдеуі  $k_{\text{п}}$  трансформация коэффициентінің мәндерін анықтауға және тазартылған мәндері температураның экспериментальды мәндеріне сәйкес анықталған пештің  $T_{\text{п}}$ , уақытша тұрақтылығын анықтауға азаяды модульдік температура мен жылыту уақытымен қыздыру уақыты.

Беру коэффициентінің  $k_{\text{п}}$  мәндері және  $T_{\text{п}}$  уақыттың тұрақты мәндері өрнектермен есептелді. [1]:

$$k_{\text{п}} = \frac{1}{\alpha}; \quad (4.1)$$

$$T_{\text{п}} = \frac{cm}{\alpha} \quad (4.2)$$

Мұнда  $\alpha$ - жылу беру коэффициенті;  $c$  - пештің жылу сыйымдылық коэффициенті;  $m$  - өнімнің шартты массасы, қаптама және жылытқыштар. Жылу жіберудің маңыздылығын анықтау өте қиын міндет. Бұл пештің жылу техникасы параметрлерінің сызықтық емес өзгеруіне байланысты. Осыған байланысты энергия теңгеріміне негізделген пештің тасымалдау коэффициентін анықтауды ұсынамыз:

$$cm \frac{d\theta}{dt} + \alpha\theta = P \pm \Delta P \quad (4.3)$$

Мұнда  $P$  - пештің қуат көзі;

- сыртқы және ішкі бұзылулардан туындаған қуат шығыны.

Тұрақты күйде  $\frac{d\theta}{dt} = 0$ . Сондықтан пештің өткізу коэффициентінің мәні тұрақты күйдің температурасын пешке қуат көзінің қатынасы ретінде анықталуы мүмкін:



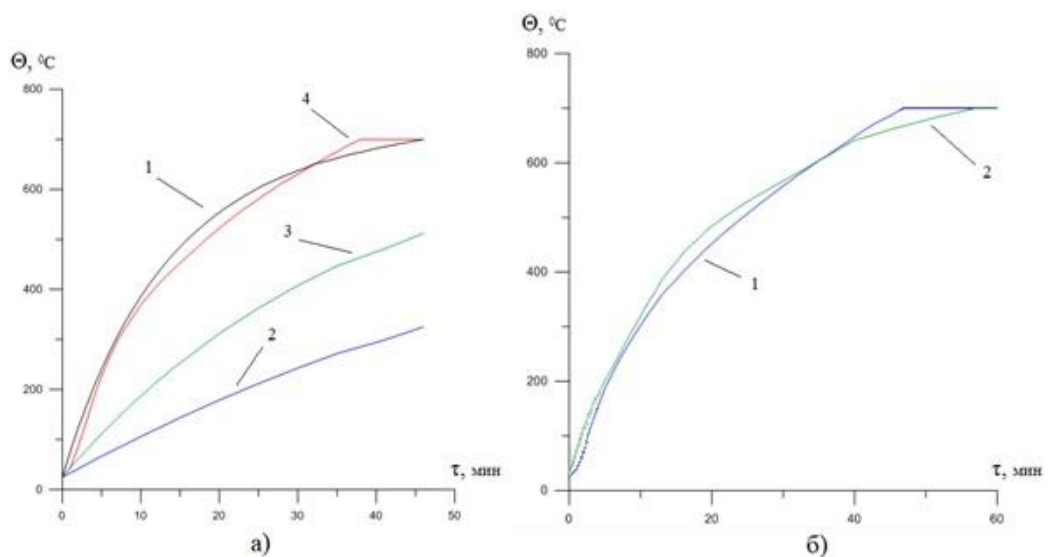
$$K_{п} = \frac{\theta}{P} \quad (4.4)$$

СНО-3.3.5.3.5 / 9 пеші үшін  $K_{п.р}$  мен  $T_{п.р}$  паспорт деректері бойынша параметрлерін анықтаймыз. Пештің салмағы 170 кг. Жылу қуаты 282 Дж / (кг · 0С). Сондықтан,

$$K_{п.р.} = \frac{700}{6930} = 0,101 \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right];$$

$$T_{п.р.} = \text{cm}K_{п.р.} = 282 \times 170 \times 0,101 = 4841 \text{ [с]}.$$

Модельдеудің нәтижесі - 4.3 суретте қабылданған уақыт  $\theta$  ( $\tau$ ) (қисық 2, сур.4.4а) температуралық ауытқулардың осцилограммасы.



Сурет 4.4 - Эксперименттік және догруза жылыту пештің сипаттамаларын үлгіленуі (сур.4.4 А) және жүктелген (сурет 4.4 Б)

Талдау көрсеткендей, есептік «жылу қисықтары» (қисық 2, сур.4.4а) эксперименталдыдан ерекшеленеді (қисық 1, сурет 4.4а). Эксперименталды және есептелген қисықтардың арасындағы айырмашылықтардың басты себебі пештің жалпы массасын анықтау кезінде пештің жеке элементтерінің орташа температурасының айырмашылығы ескерілмеген.

Параметрлердің классикалық анықтауының негізгі кемшілігі - жалпы массаның мәндерін пайдалану. Пеште әр түрлі элементтерде (қопсытқыш, жылытқыш, жылу оқшаулау) әртүрлі температураға дейін қызғандығына байланысты пештің уақытша тұрақтылығын анықтаудағы жалпы массаның мәндерін елеулі қателіктерге әкеледі. Элементтің температурасын  $\theta$  пештің тұрақты температурасына қатынасын  $\theta_i$  ескере отырып, ЭКП-ты ұқсас температуралық мәндермен элементтерге сөндіру ұсынылады және пештің массасының қосындысы ретінде  $m_i$  ұсынылады:

$$m_{\text{прив.}} = \sum m_i \times \left(\frac{\theta_i}{\theta}\right) \quad (4.5)$$

Эксперимент барысында пешті қыздыру жүктемесіз жүзеге асты. Пештің жалпы салмағынан жылытқыштың салмағы 2% -дан аспайды, сондықтан осы параметрді есептеу кезінде ескерілмеуі мүмкін. Осыған байланысты, пештің массасы элементтерге бөлінген кезде көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштік мәселесін шешу қажет. Пештің азайтылған массасын есептеудің дәлдігі элементтің ішіндегі бір орташа температурасы бар элементтер санына байланысты. (4.5) формулаға сәйкес, пештің массасы 80 кг құрайды. Осылайша, пештің уақытша тұрақтысы ретінде анықталады:

$$T_{\text{п.р.}} = cm_{\text{прив.}} K_{\text{п.р.}} \quad (4.6)$$

$$T_{\text{п.р.}} = 2278 \text{ с деп есептеледі.}$$

Модельдеудің нәтижесі - 4.3 суретте қабылданған уақыт аралығындағы температура осциллограммы (қисық 3, сур.4.4а).

Талдау көрсеткендей, есептік «жылу қисықтары» (қисық 3, сур.4.4а) эксперименттік қисықтан айтарлықтай ерекшеленеді (қисық 1, сур.4.4а).

Салмағы 80 кг болатын дененің жылу уақытын есептеңіз, қуаттылығы 6930 Вт болатын 282 Дж / (кг · 0С) жылу қуаты.

$$\tau = \frac{cm(t - t_{\text{окр}})}{P} \quad (4.7)$$

$$\tau = \frac{282 \times 80 \times (700 - 25)}{6930} = 2197 \text{ [с].}$$

где  $\tau$  – время нагрева;

$t_{\text{окр}}$  - қоршаған ортаның температурасы;  $t$  – қыздыру температурасы.

Осылайша, ұсынылған әдіспен есептелген пештің уақытша тұрақтылығы негізінен пештің режимге шығу уақыты болып табылады. Демек, пештердің әртүрлі кластары үшін уақытша тұрақты эксперименталды түрде анықталуы керек.

Бірқатар зерттеулерден кейін, пештің 911 с уақыттық тұрақты мәні бар СНО-3.3.5.3.5 / 9 пештің «қызу қисық» дәлдігін көрсетеді (қисық 4, сур.4.4а).

Осыған байланысты жүйені орнату кезінде пештің уақытша тұрақты мәнін  $T_{\text{п.р.}}$  (4.6) есептеген пештің уақытша тұрақты коэффициентінен 0.4 тең деп есептеуге болады.

$$T_{\text{экв}} = 0,4 \times cm_{\text{прив.}} K_{\text{П}} \quad (4.8) \quad T_{\text{п.р.}}$$

Осы қатынастарды тексеру үшін СНО-3.3.5.3.5 / 9 пешін зарядтауға арналған қосымша эксперименттер жүргізуге шешім қабылданды. Жүк ретінде 7 кг жалпы массасы бар кірпіштер таңдалды. Орнатудың орташа жылу сыйымдылығы өзгерген жоқ, себебі зарядтың жылу қуаты ЭКП жылу окшаулауының жылу сыйымдылығына сәйкес келеді. СНО-3.3.3.3 / 9 пештің заряды бар эксперименттік «қызу қисықтары» күріш көрсетілген. 4.4б (қисық 1).

Пешті зарядпен модельдеу кезінде, массаның массасы өзгерді. Ол жүктеменің салмағына (7 кг) дейін көтерілді, себебі жүктеме пештегі температураға дейін қызады.

Осылайша, СНО-3.3.5.3.5 / 9 пештің жалпы массасы 8% -ға артты. Эксперименталды сипаттама (қисық 1, сурет.4.4б) көрсеткендей, пешті зарядтауға арналған уақыт 46 минут, яғни 20% -ға өсті.

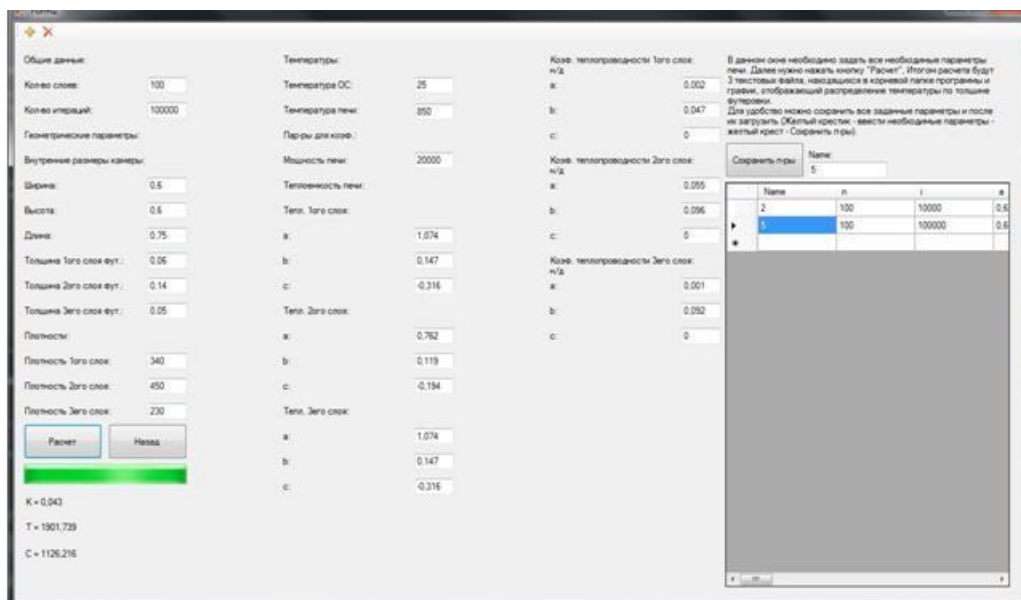
Жоғарыда келтірілген процедураға сәйкес есептелген пештің «қызу қисықтары» (қисық 2, сурет.4.4б) (пеш шығу режимінен уақытқа дейін уақытша тұрақты 0.4) эксперименттікке сәйкес келеді. Осыған байланысты уақытша тұрақтылықты өрнек (4.8) арқылы анықтау дұрыс деп санауға болады. Талдау көрсеткендей, пештің уақытша тұрақты коэффициентіне түзету коэффициентінің мәні 0,4-ге тең, тұтқырлығы бар барлық жалпы өнеркәсіптік кедергі пештері үшін сақталады.

Жүргізілген зерттеулер барысында:

Біртекті емес басқару элементі болып табылатын электрлік кедергі пешінің бірінші сатылы сызықтық инерциялық байланыс түрінде ұсынуы пештің уақытша тұрақты мәнінің дизайны үшін 0,4 түзету коэффициентін қолданғанда жарамды.

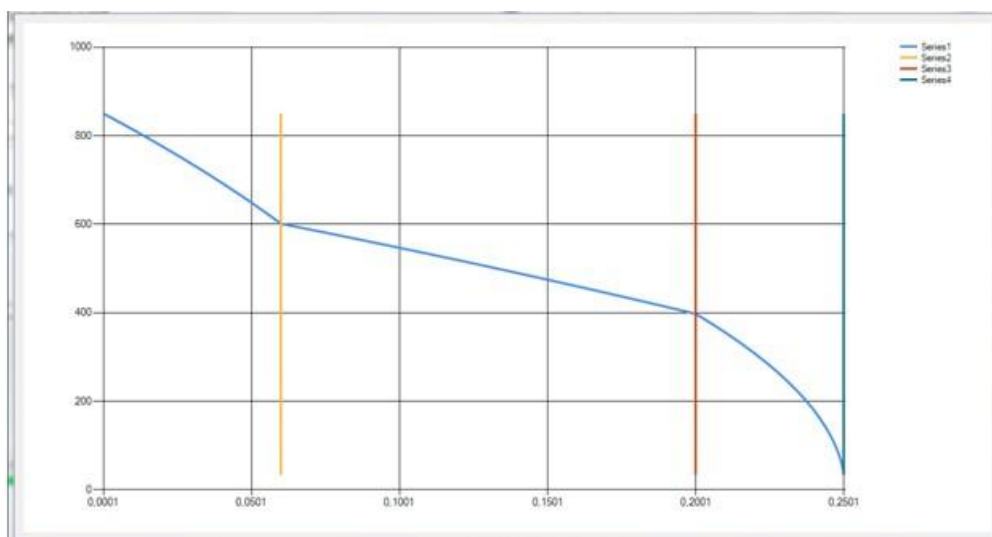
Паспорттық деректер және пештің уақытша тұрақты мәндерінің түзетілген мәндері негізінде есептелетін температура реттегішін жобалау кезеңінде реттеуге болады.

Пештің уақытша тұрақтылығын дұрыс есептеу үшін барлық пеш элементтерінің массасын температураға дейін төмендету және пештің уақытының тұрақты коэффициенті 0,4 тең екенін ескеру қажет.



4.7-сурет. «Transfer function calculation» бағдарламасында ЭКП трансфер функциясының параметрлерін есептеудің мысалы.

Бағдарламаны есептеу нәтижесі  $K_{II}$  және  $T_{II}$  уақытша тұрақты берілу коэффициентін анықтау, сондай-ақ температураның өзгеруінің графикалық тәуелділігі қабаттың қалыңдығына (4.8 сурет) сәйкес келеді. 4.8 суретте тік сызықтар жылу оқшаулайтын және отқа төзімді қабаттардың шекараларын көрсетеді.



Сурет 4.8 – Футеровка қалыңдығы бойынша температураны үлестіру графигі

Есептеу нәтижесінде бағдарлама үш мәтіндік файлдарды жасайды:

1. «Жалпы деректер.txt» - мәтіндік файлға келесі ақпаратты сақталады: аударым коэффициенті, ЭКП тұрақты уақыт, жылу ағыны, ұқсас температуралық ЭКП құндылықтармен элементтердің массасы, берілген пеш массасы.

2. «Азайтылған қабаттар.txt» - бұл мәтіндік файл ЭКП элементтерінің азайтылған массасын ұқсас температуралық мәндермен сақтайды.

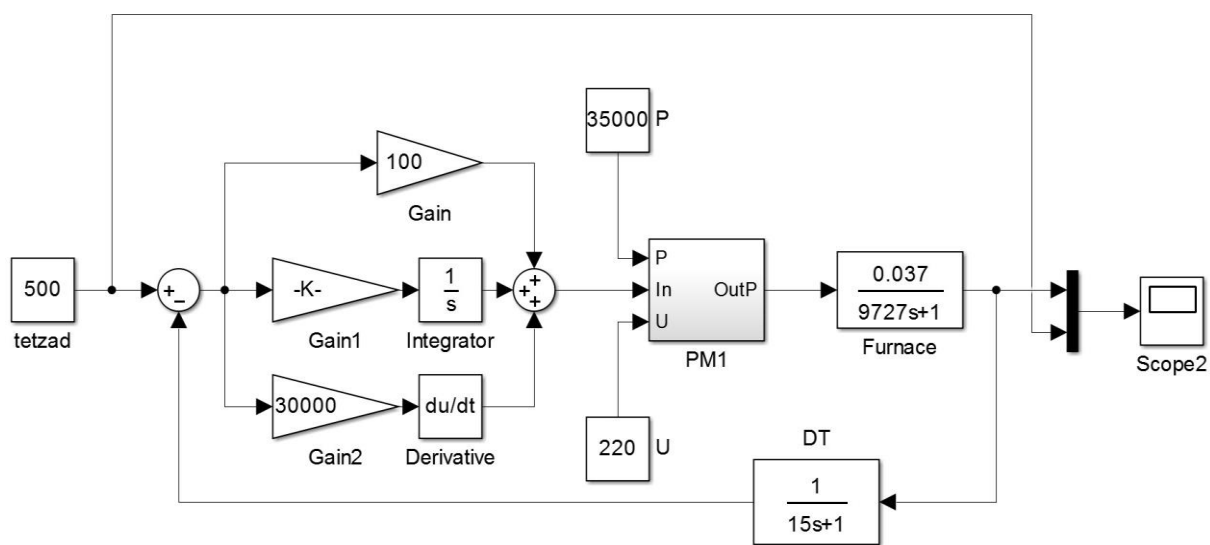
3. «Температура -қабаттар.txt» - бұл файл әрбір ЭКП элементінің орташа температурасын қамтиды.

ЭКП үшін жүргізілген Rotorea КМ 240/13 бағдарламалық жасақтамасын есептеу нәтижесінде біз мыналарды аламыз:

$$m_{\text{прив.}} = 300,9 \text{ кг}, \quad \square \quad c_{\text{прив.}} = 892,4 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)},$$

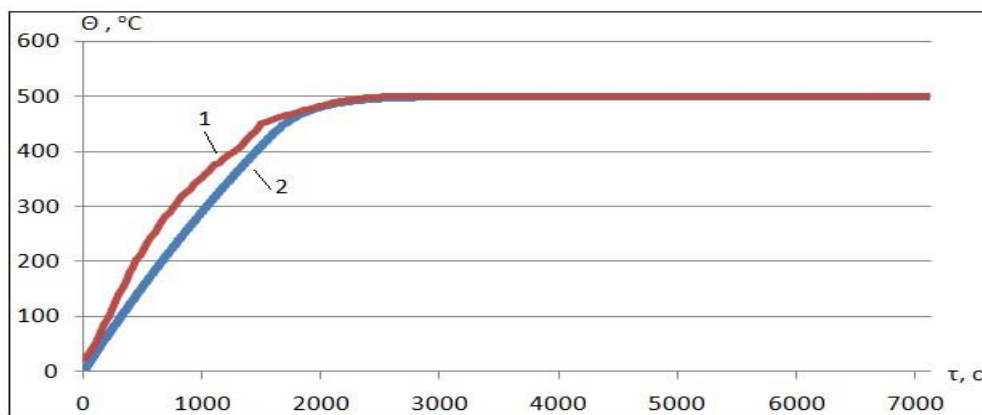
$$p. = 3930 \text{ с.}$$

Алынған мәндер модельге 4.9-суретте келтірілген.



4.9-сурет - Simulink Matlab ортасында ЭКП моделі

Модельдеудің нәтижесі - 4.9 суретте қабылданған уақыттың  $\theta$  ( $\tau$ ) (4.10 сурет) температурасының осциллограммасы.



4.10-сурет - EPS Rotorea КМ 240/13 тәжірибелік (қисық 1) және имитациялық (қисық 2) қыздыру сипаттамалары

### 4.3 ЭКП температуралық режимдерін эксперименттік түрде зерттеу

ЭКП жылу жағдайларын басқару мәселелерін әрі қарай талдау үшін температуралық тәуелділіктерді алып тастау қажет.

Осы мақсатта АЕТУС бөлімінде Rotorea КМ 240/13 термиялық түрлендіргіштерге арналған екі кірістері бар «S» үлгісіндегі термопара түрі және «Uni Trend UT325» температуралық өлшеуіші бар ЭКП камерасы таңдалды. Қаптама пеш үш қабатты:

- 1) Бірінші қабат - жылу оқшаулайтын кірпіш 25 nf1-76, ең жоғарғы жұмыс температурасы 1370 ° С
- 2) Екінші қабат - максималды жұмыс температурасы 1260° С болатын Sibral 130/25 материалы
- 3) Үшінші қабат максималды жұмыс температурасы 950 ° С болатын жылу оқшаулайтын пластина 1000/50.

Қыздырғыш элементтер - керамикалық түтіктерге орналастырылған Kanthal A1 материалынан шыққан спираль, ол өз кезегінде отқа төзімді бетон блоктарының бағаналарына орналастырылады. Пештің қуысында спираль тікелей отқа төзімді бетон блоктарына орналастырылады және SiC плитасымен жабылады. Барлық болат элементтері (тоғ баспайтын болаттан жасалған элементтерді қоспағанда) қорғаныш жабынға ие. Қаптаманың термиялық тұрақтылығы - 250 ° С.

Пештің артқы қабырғасы ауа диаметрі 30 мм болатын желдету құбырымен жабдықталған. Есік пен ЭКП корпусының арасындағы байланыс орнында жабық тығыздауыш бар.

Rotorea КМ 240/13 электр кедергі пешінің техникалық сипаттамалары 4.2-кестеде келтірілген.

Эксперимент кезінде мынадай қызу қисықтары алынды:

1. Эталондық температура датчигіне арналған жылу қисық сызығы, 4.11-сурет;

2. Қызудың қисық сызықтары, 4.12-сурет;

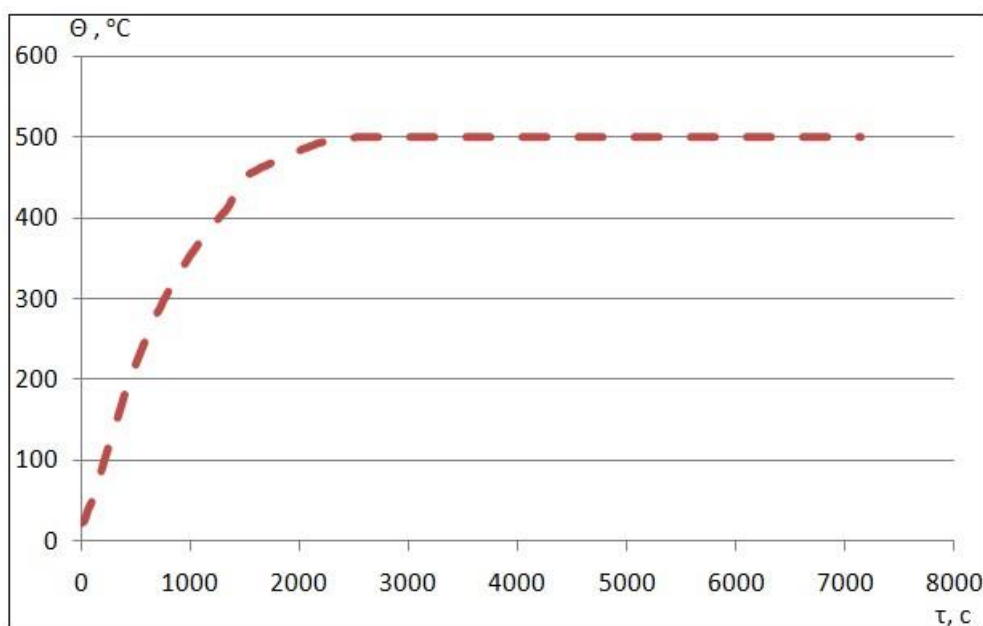
3. Пештің корпусының жылу қисықтары, 4.13-сурет;

4. Дүңгіршектің жылу қисық сызығы, 4.14-сурет;

5. жылытқыштар үшін жылу қисықтары, 4.15-сурет.

Эталондық сенсор қабырға деңгейінен 200 мм қашықтықта жылытқыш элементтері жоқ пештің артқы қабырғасында орналасқан.

Осы датчиктің көмегімен алынған көрсеткіштер (4.11 суретті қараңыз) сілтеме оқылым ретінде қабылданады, тб. көбінесе ЭКП камерасындағы термопара осылайша орналасқан.



4.11-сурет. Эталондық температура сенсорының жылу қисық сызығы

4.11-суретте көрсетілген сипаттаманы алып тастау үшін температура датчигі ретінде «S» түріндегі термиялық конвертер қолданылады. Бұл термопара 1600 ° C-ге дейін жоғары температура өлшеуге қолайлы, жұмысының жоғары тұрақтылығына ие, бірақ термопарғыштар арасында ең төмен сезімталдықтың біріне ие. «S» термопарасы металлургия өнеркәсібінде болаты дайындау немесе өңдеу кезінде температураны бақылау үшін кеңінен қолданылады.

Бұл термопарк келесі сипаттамаларға ие:

- оң электрод материалы: платин-родий;
- Теріс электродтың материалдары: платина;
- Өлшеу ауқымы: 0 ... 1600 ° C;
- ауытқу шегі:  $\pm 1,5$  ° C.

Әрі қарай өлшеу үшін микропроцессорлік, Uni Trend 325 фирмасының «K» термопарасы бар цифрлық температура өлшегіші қолданылатын болады. Хромельдің және алюмельдің жоғары құрамына байланысты осы түрдегі термопара тотығуға төзімді басқа да асыл металдардан әлдеқайда жақсы екенін атап өткен жөн.

Осы термопардың сипаттамалары және температуралық өлшеуіш сипаттамалары төменде берілген.

Термопара сипаттамалары:

- оң электродты материал: хром;
- Теріс электродтың материалы: алюмель
- Өлшеу диапазоны: -200 ... 1300 ° C; Ауытқу шегі:  $\pm 2.5$  ° C.

Температура көрсеткішінің сипаттамасы:

- Өлшеу диапазоны: -200...1375°C;
- Термопараны өлшеу дәлдігі  $\circ$  K, J, T, E:  $0.2\% \pm 0.6^\circ\text{C}$ ;  $\circ$  R, S:  $0.2\% \pm 2^\circ\text{C}$ ; N:  $0.2\% \pm 1.5^\circ\text{C}$ ;

- Жадта 100 мәнге дейін болуы мүмкін.

Бұл температура көрсеткіші үш температуралық мәнге дейін көрсете алады:

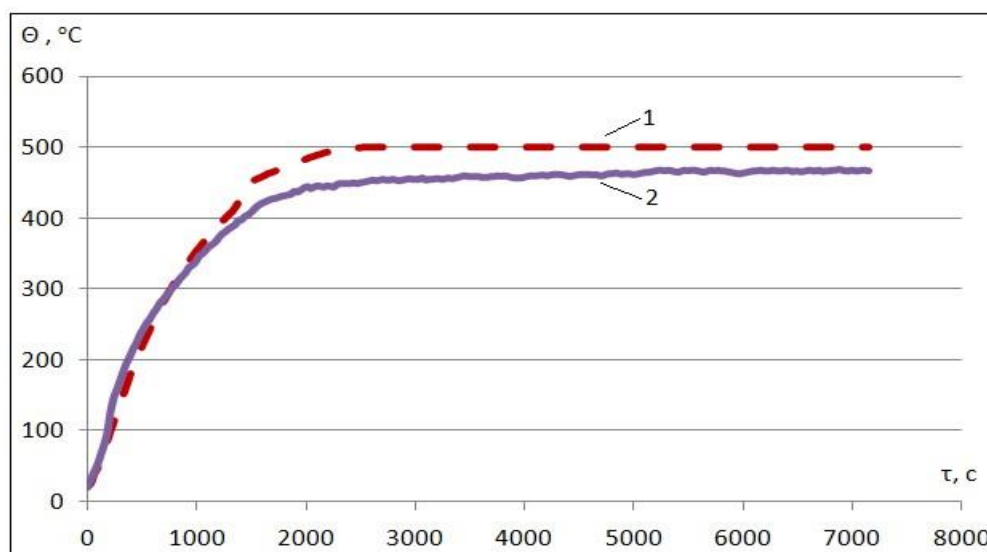
- 1) бірінші кірістің температурасы;
- 2) екінші кірістің температурасы;
- 3) бірінші және екінші кірістердің температуралық айырмасы.

Температураны үш формада алуға болады: Цельсий, Фаренгейт және Кельвин. Сондай-ақ, бұл температураны өлшеуіш USB-порты арқылы дербес компьютерге қосылуы мүмкін, ол кейін барлық ақпаратты оңай талдауға арналған форматта жазады.

Әрі қарайғы талдауды жеңілдету үшін қисық сызықтары бар қисықтардың қалған бөлігімен бірге жылулық қисық сызық көрсетіледі.

Жылыту температурасының қисық сызығын алу үшін пештің төсеніші (4.12-сурет), температура датчигі пештің артқы қабырғасында арнайы тесікте орналасқан.

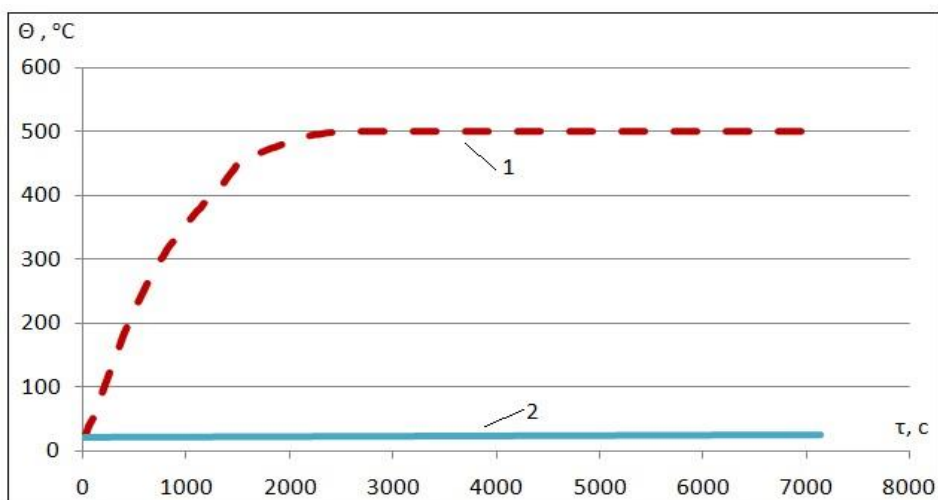
4.12-суретте көрсетілгендей, қаптаманың бетіндегі температура эталондық сенсормен белгіленген температурадан ерекшеленеді, бұл әртүрлі термофизикалық қасиеттермен анықталады, пештің геометриялық сипаттамалары, жылу элементтерінің орналасуы мен құрылысы және соның салдарынан сәулеленудің әртүрлі бағыттары немесе конвективтік токтар бағыты (төмен температуралық пештер үшін) арқылы.



Сурет 4.12- Қызудың қисық сызығы. (қисық 1 - эталондық сенсордың қызу қисық сызығы, қисық 2 - төсеудің қызу қисық сызығы)

4.13 суретте пештің корпусындағы жылу қисықтарын жою үшін температура датчигі пештің бүйір қабырғасында орналасқан.

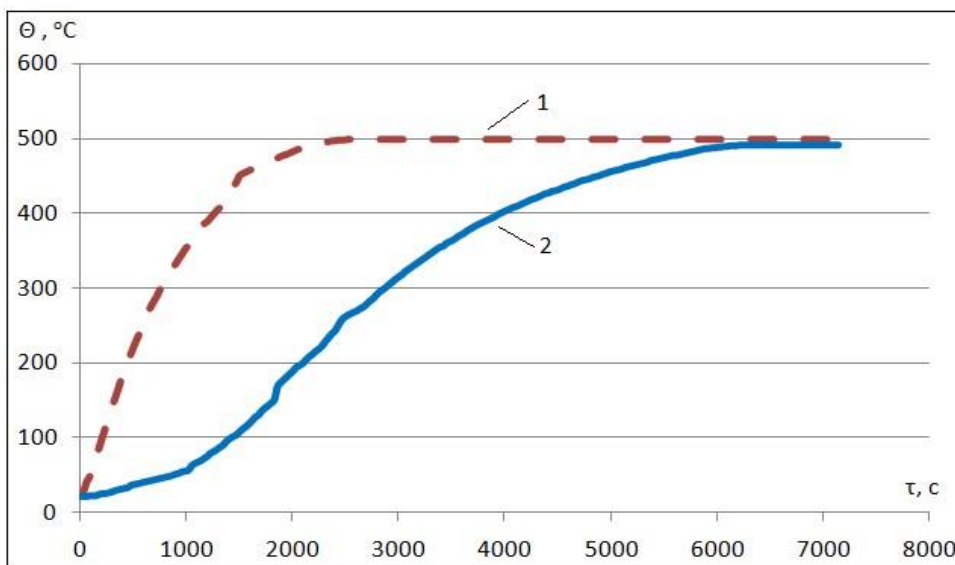




Сурет. 4.13 - Пештің корпусының жылу қисықтары. (қисық 1 - эталондық сенсордың қызу қисық сызығы, қисық 2 - төсеудің қызу қисық сызығы)

Қаптаманың үлкен термиялық инерциясы болғандықтан, пештің корпусының бетіндегі температура уақыт өте келе өзгермейді. Сонымен қатар, пештің корпусының температурасы ылғалдылыққа, бөлмедегі конвекциялық ағымдарға, ЭЖП орналасуына және қоршаған ортаның объектілеріне әсер етеді.

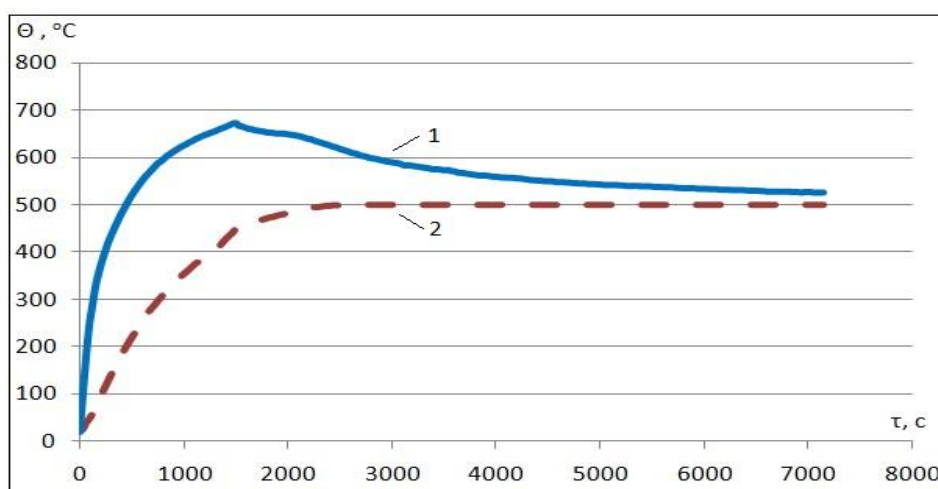
4.14-суретте көрсетілген кескінді қисықсыздандыру үшін температура сенсоры тікелей дайындаманың ортасына орналастырылған. Бұл жағдайда қаптама бүйірлік жылытқыштардан бірдей қашықтықта орналасқан отқа төзімді шөмішті кірпіштің құрылысы болып табылады.



Сурет 4.14 - Дайындаманың қызу қисық сызығы (қисық 1 - эталондық сенсордың қызу қисық сызығы, қисық 2 - дайындаманың қызу қисық сызығы)

4.14-суретте көрсетілгендей, алдын ала дайындаудың қызу қисық сызығы жылу қисық сызығынан қатты ерекшеленеді. Айта кету керек, бұл температура арасындағы айырмашылық төсем мен материалдарға байланысты. Алдыңғы жағдайларда болғандай, дайындаманың температурасы қоршаған ортаның факторларына байланысты. Жоғарыда айтылғандарға қоса кететін жайт, дайындау бөлігінің температурасы пештің кеңістігінде орналасуына және оның дайындамасының пішініне байланысты екенін ескеру керек.

Жылыту элементтерін қыздыру қисықтарын алу үшін (4.15-сурет), температура сенсоры қыздырылған элементтердің тікелей жақын орналасқан. Бұл жағдайда, басқа жағдайларда, сенсор температурасы өлшенген элементпен физикалық байланыста болмайды.



4.15-сурет. Жылыту элементтеріне арналған жылу қисықтары. (қисық 1 - эталондық бергіштің қызу қисық сызығы, қисық 2 - қыздыру элементтерінің қызу қисық сызығы)

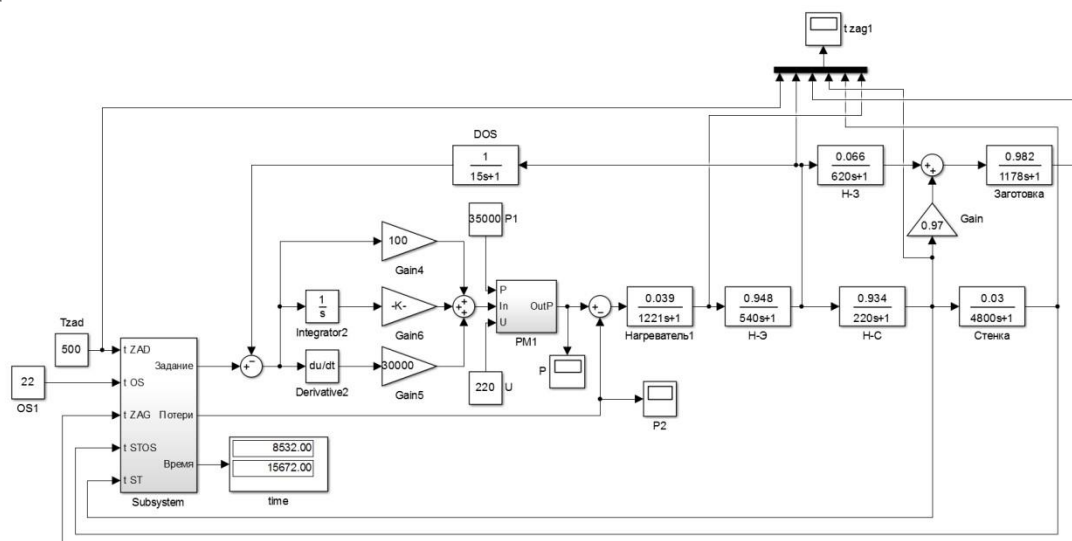
4-суретте көрсетілген қисық сызықты талдау қыздырғыш элементтердің салыстырмалы түрде төменгі термиялық инерцияға ие екендігінің дәлелі болып табылады, демек, ең жоғарғы температураға дереу жетеді.

Жоғарыда көрсетілген барлық жылу қисықтарын талдап, электрлік кедергі пеші реттеу тұрғысынан күрделі объект болып табылады. Көптеген сыртқы және ішкі факторлар температура реттегішінің баптауын және күйін келтіруді қиындатады. Бұл, өз кезегінде, жоғарыда көрсетілген барлық проблемаларды барынша қанағаттандыра алатын электрлік кедергі пештің тазартылған моделін жасау қажеттілігіне әкеледі.

#### 4.4 Эксперименттік зерттеулерден ЭКП әртектілігін есептеу

Электрлік кедергі пешінің моделі жасалды, ол ЭКП-тің басқару объектісі ретінде әртүрлі және реттейтін элементтердің сипаттамаларының бейсызықтығын ескереді. 4.16 суретте ЭКП температура тұрақтандырғышының

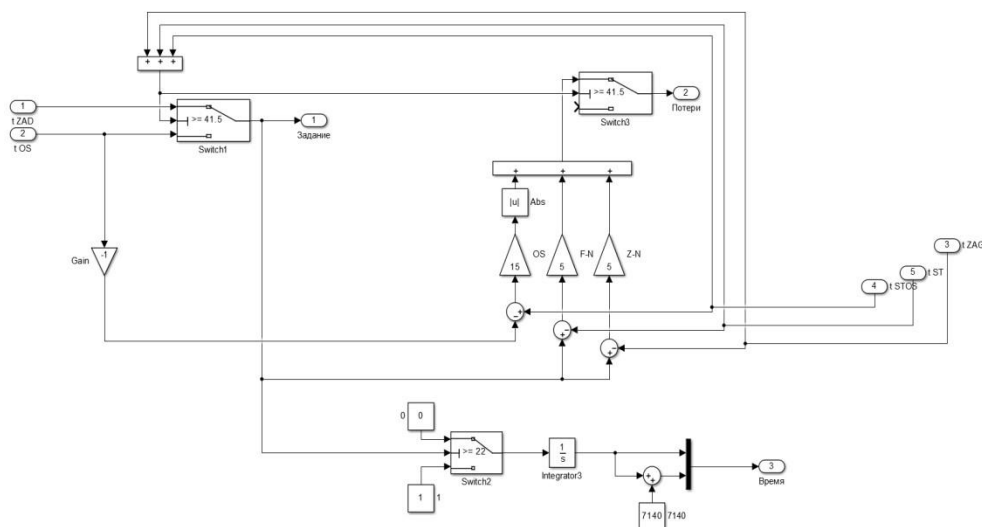
моделі оның әр түрлілігін ескере отырып Matlab /Simulink ортасында ұсынылды.



4.16-сурет. Matlab / Simulink ортасында ЭКП температура тұрақтандырғышының имитациялық моделі

Электрлік қарсыласу пеші басқару тұрғысынан қыздырғышты, линияны, жылытылатын бұйымды (торды) және жылу берудің әртүрлі параметрлерімен сипатталатын термиялық түрлендіргішті және жылу беру процестерімен бір-бірімен байланыстырады.

4.16-суретте көрсетілген модельде, 4.17-суретте көрсетілген «subsystem» шағын жүйесі осы қатынастарды ескереді.



4.17-сурет. EPS жекелеген элементтері арасындағы бухгалтерлік байланыстар блогы

Модельдеу моделінің ерекшелігі (4.17-сурет) қоршаған ортаның температурасын ескеру болып табылады. Осы мақсат үшін модель ЭКПтің барлық элементтерін қоршаған ортаның температурасына «жылытады».

Жылытуға жұмсалған уақыт ЭКП «time» блогының бірінші жолында көрсетіледі.

4-16 суретте көрсетілген модельді пайдалану үшін қажетті коэффициенттер келесідей есептеледі:

«Tzad», «OS1», «P1», «U» блоктары, тиісінше, тірек температурасы, қоршаған орта температурасы, ЭКПтің қуаты және кернеудің кернеуі енгізіледі.

Қыздырғыш элементтерді беру функцияларын есептеуден бұрын келесі параметрлерді анықтау керек: қыздыру элементтерінің ең жоғарғы температурасы  $\theta_{\text{макс.темп}} = 1360^{\circ}\text{C}$ , жылытқыштардың массасы  $m = 232$  кг, жылытқыштардың жылу қуаты  $c = 451$  Дж/(кг·°C).

Дайындау үшін: дайындаманың массасы  $m = 25$  кг, Дайындаманың жылу сыйымдылығы  $c = 135$  Дж/(кг·°C).

Қаптама үшін: қаптама массасы  $m = 301$  кг, дайындаманың жылу сыйымдылығы  $c = 892$  Дж/(кг·°C) (Бұл мәндер бағдарламада есептеледі).

Жылытқыш элементтері, пештерді төсеу және бөренелер үшін беру факторлары:

$$k_{\text{H}} = \frac{\theta_{\text{макс.темп}}}{P} = \frac{1360}{35000} = 0,039;$$

Эксперименттік қисықтарды пайдалана отырып, пештің төсемін беру коэффициентін анықтау үшін тұрақты күйдегі температура мәндерін анықтаймыз:

$$k_{\text{Ф}} = \frac{\theta_{\text{внеш.стенки}}}{\theta_{\text{внутр.стенки}}} = \frac{24}{467} = 0,03.$$

Сол сияқты, дайындамаға арналған тасымалдау коэффициентін де анықтаймыз:

$$k_{\text{З}} = \frac{\theta_{\text{загот.}}}{\theta_{\text{эталон}}} = \frac{491}{500} = 0,982.$$

Қыздыру элементтеріне, қаптамаға және дайындамаларға арналған уақытша тұрақтылар 4.8 формуласы бойынша есептеледі:

$$T_{\text{H}} = 0,4 * c * m * k_{\text{H}} = 0,4 * 451 * 180 * 0,039 = 1266 \text{ с};$$

$$T_{\text{Ф}} = 0,4 * c * m * k_{\text{Ф}} = 0,4 * 892 * 301 * 0,03 = 3221 \text{ с};$$

$$T_{\text{З}} = 0,4 * c * m * k_{\text{З}} = 0,4 * 25 * 135 * 0,982 = 1326 \text{ с}.$$

Ауаны беру коэффициенті - тұтастай алғанда эталондық сенсор мен қыздыру элементтері арасындағы алшақтықтан тұратын кешенді жүйе - эксперименттік жылу қисықтары арқылы анықталуы мүмкін:

$$k_{\text{H-э}} = \frac{\theta_{\text{эталон}}}{\theta_{\text{нагреват}}} = \frac{500}{527} = 0,948.$$

Сол сияқты, тірек датчик пен қабырғаның ішкі қабырғасы арасындағы ауаның арасындағы айырмашылықты анықтау коэффициенті анықталады:

$$k_{э-с} = \frac{\theta_{стенка}}{\theta_{эталон}} = \frac{468}{500} = 0,936.$$

Эталондық датчик пен дайындама арасындағы ауаның арасындағы айырмашылықты беру коэффициенті:  $k_{э-з} = 1 - k_{э-с} = 1 - 0,936 = 0,066$ .

Бұл бос орындар үшін тұрақты уақыт - 540 (жылытқыш-стандартты қашықтық үшін), 220 (алшақтық үшін - ішкі қабырға) және 620 (бос орын үшін сілтеме бос).

Кері байланыс сенсоры үшін беріліс коэффициенті 1, ал уақытты тұрақты 5-тен 80-ге дейін қабылдай алады.

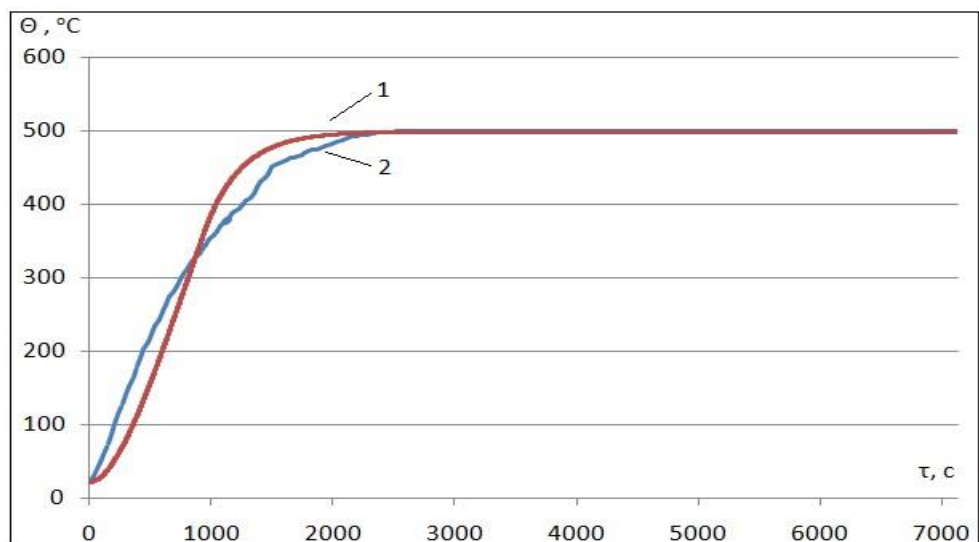
«Gain» блогының мәні былай анықталады:  $1 - k_{\phi} = 1 - 0,03 = 0,97$ .

«Subsystem» ішкі жүйесі үшін коэффициенттері келесідегідей анықталады: «Switch1» және «Switch3» блоктары үшін мәнді тұрақты температуралық дайындау ішкі және сыртқы қабырғалар сомасы ретінде анықталады. Бұл фактор ЭКП температурасын қоршаған ортаны қыздыру уақытына жауап береді. «Switch2» коэффициенті қоршаған ортаның температурасына тең. «OC» блогы үшін коэффициент 7-ден 20-ға дейін қабылданады. «F-N» және «Z-N» блоктары үшін коэффициенттер 0-ден 10-ға дейін қабылданады.

«7140» блогы үшін коэффициенттер эксперимент уақытына тең қабылданады.

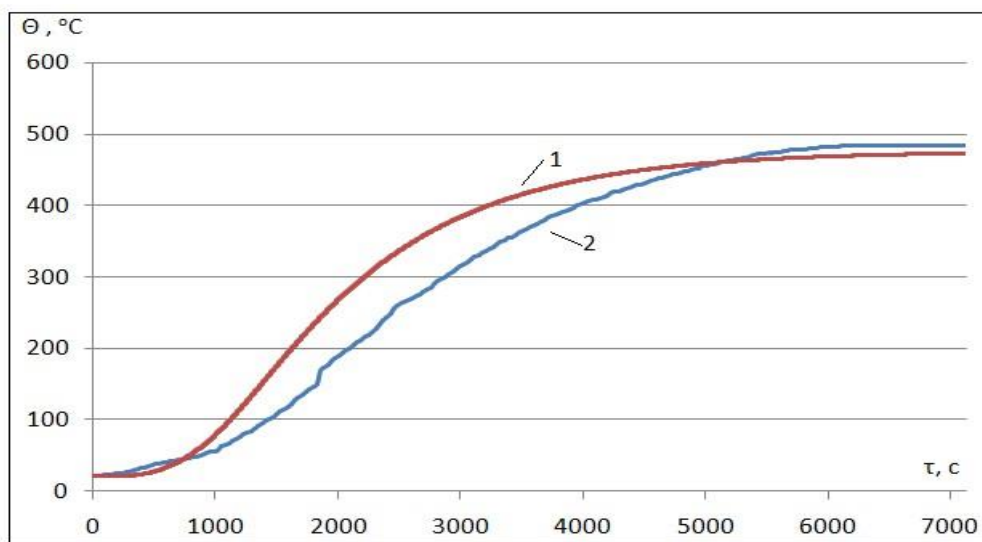
Модельдеу нәтижесінде мынадай қызу қисықтары алынды:  
эталондық температура датчигі үшін жылу қисықтары;  
қабырғаның ішкі қабырғасының жылу қисықтары;  
қыздыру элементтеріне арналған жылу қисықтары;  
дайындама үшін жылу қисықтары.

4.18-суретте эталондық температура датчигінің имитациялық және эксперименттік жылу қисықтары көрсетілген. Эталондық сенсордың жылу қисық сызығы (4.18-сурет), сондай-ақ 4.3 сур., эксперименттік жылу қисық сызығын дәл көрсетеді. Бұл температура датчигінің ЭКПтің басқа элементтерінің ең аз әсеріне байланысты. Осыған байланысты ЭКПтің ішіндегі температура таралуын арттыру үшін дәлдік пен рұқсатты арттыруды қажет етпейтін технологиялық процестер үшін.



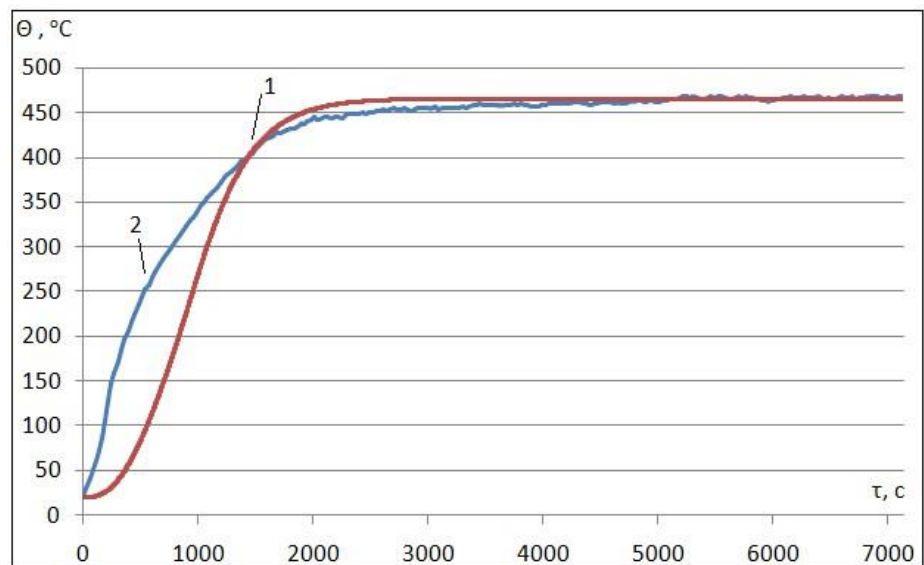
4.18-сурет. Эталондық температура сенсорының қызу қисық сызығы (қисық 1 - эксперименттік жылу қисық, қисық 2 - жылу қисық сызығы)

4.19-суретте иллюминаның икемді және эксперименттік қисық сызықтары көрсетілген.



4.19-сурет. Дайындаманың қызу қисық сызығы (қисық 1 - эксперименттік жылу қисық, қисық 2 - жылу қисық сызығы)

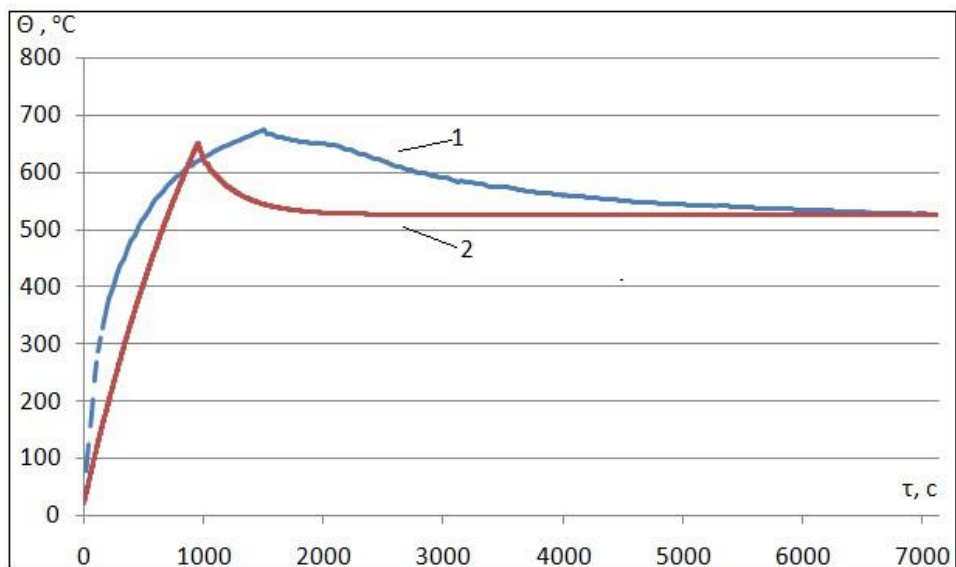
4.19-суретте көрсетілгендей, модельде алынған қызу қисықтары эксперименттік жылу қисық сызығының табиғатын нақты көрсетеді. 4-20 суретте көрсетілгендей, асфальттаудың ішкі бетін қыздыруға арналған симуляциялық және эксперименттік қисықтар көрсетілген.



Сур.4.20. флайнер (- эксперименттік жылыту қисық, қисық 2 - қисық 1 симуляциялық жылыту қисық)

Ішкі бетінде қисық температура алдыңғы жағдайларда ретінде, ол үшін гильзаларды ішкі бетіне модель үшін алынған жылу қисық өте ұқыпты өтпелі сипатын көрсетеді атап өтуге болады.

Ең қызықты жылыту элементтерін жылыту қисық электр кедергісі пешінің (сур.4.21) модельдеу болып табылады.



4.21 -сурет. Жылыту элементтеріне арналған жылу қисықтары. (1 - қисық эксперименттік жылыту қисығы, қисық 2 - симуляциялық жылыту қисығы)

ЭКП қыздыру элементтерінің жылу қисықтарының талдауына қарап, қыздыру элементі пештің басқа элементтеріне көп әсерін тигізгеніне

байланысты алдыңғы жағдайлардағыдай қисық үлгілеуде дәл сондай дәлдікке ие болмады.



## ҚОРЫТЫНДЫ

ЭКП температурасын бақылау жүйесі әзірленді, бұл оның жеке ішкі элементтерінің температурасын бақылауға және шектеуге мүмкіндік береді.

Температураны шектеу арнасын енгізу арқылы, қыздыру элементтерінің температурасын шектеу арқылы ЭКП температуралық бақылау үлгісі ұсынылады.

Жылыту процесінде жылу аймақтарында температура айырмашылықтарды елемеуге пеш жұмыс кеңістігінде температура біркелкі бөлу арттыруға мүмкіндік беретін көпзоналы ЭКП температура тұрақтандырғышының моделі әзірленді. Бұл модель тиристор кернеуінің реттеушісін жобалау және таңдау кезінде қуат реттегішінің қажетті резервін есептеуге мүмкіндік береді. Жылыту кезінде жылу аймақтары арасындағы температураның айырмашылығын өтейтін көптеген аймақтық ЭКПтің мерзімді әрекетіне арналған температура тұрақтандырғышының белгіленген сыйымдылығын таңдау әдісі ұсынылған. Жылу аймақтар арасындағы температуралық айырмашылықты өтеу үшін қажетті қосымша қуатты есептеу үшін тәуелділік анықталды. Полиномиалды түрде ұсынылған. ЭКП жылу аймақтары үшін адаптивті басқару жүйесін пайдалану мүмкіндігі мен орындылығы көрсетілген, параметрлік бейімделу процесі дамыған полиномиялар негізінде автоматты түрде жүзеге асырылады. Адаптивті жүйе температура айырмасын технологиялық процесте анықталған рұқсат етілген мәнге дейін азайтады және тұрақты күйдің 5% -нан аспайды.

Ол, температураға сәйкес кері байланыс арнасында қосымша ағымдағы кері байланыс енгізумен электр кедергісі пешін арналған температура контроллері «жұмсақ» старт-ап жылытқыштарды молибден дисилициді қамтамасыз етеді деп көрсетілген. Дайындаған реттегішті қосымша ток арнасымен қолдану жылытқыштардағы түсіру токтарын азайтуға мүмкіндік береді: «ток өшіру» реттегіштің ішкі схемасында салыстырғанда 30% -ға; кернеу деңгейін ауыстырып қосқанда 70% -ға.

