

СЫН-ПІКІР

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

(жұмыс түрінің атауы)

Төлеп Исламбек Серікұлы

(оқушының аты-жөні)

7M07113 - «Электротехника және энергетика»

Тақырыбы: Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу

Орындалды:

а) графикалық бөлім _____ парақ

б) түсініктеме _____ бет

Исламбек Төлептің «Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу» тақырыбындағы магистрлік диссертациялық жұмысы қазіргі заманғы энергетика саласындағы өзекті мәселеге арналған. Қауіпсіздік талаптары қатаң, әрі күрделі электр жабдықтарының сенімділігі мен өрт қауіпсіздігін қамтамасыз ету — бүгінгі энергетика жүйелерінің негізгі міндеттерінің бірі болып табылады.

Жұмыста энергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз аймақтарындағы контакт беттерінің температураларын бақылау және болжау мәселесі көтеріліп, осы мақсатта интеллектуалды ИД ТНП типіндегі микропроцессорлық жүйе ұсынылған. Жұмыстың құрылымы жүйелі, мазмұны ғылыми тұрғыдан бай және практикалық маңызға ие. Диссертацияда теориялық негіздемелер, есептік бағалар, нақты құрылымдық шешімдер мен нәтижелер жеткілікті деңгейде қамтылған. Жұмысқа келесі тұрғыда ұсыныстар беруге болады:

1) Жүйеде қолданылған кейбір алгоритмдердің (температураны есептеу формуласы, термобиметал индикаторларының сипаттамалары және т.б.) таңдалу негіздемесі мен әдеби деректермен салыстырмалы талдауы нақтырақ берілсе, жұмыстың әдістемелік бөлігінің мазмұны толығырақ түсер еді.

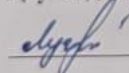
2) Қолданылған датчиктердің сипаттамалары мен өлшеу дәлдігінің шектеулері кенірек талқыланса, болашақта жүйені жетілдіру жолдары нақтырақ көрсетілетін еді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

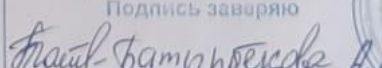
Магистрлік диссертация «өте жақсы» (93%) бағаға орындалған, ал оның авторы Төлеп И.С. 7M07113 - «Электротехника және энергетика» мамандығы бойынша «магистр» академиялық дәрежесін иеленуге лайық деп санаймын.

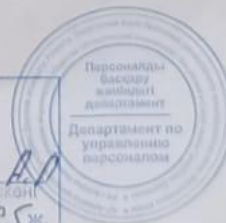
Пікір беруші:

АЭЖБУ, «Электрондық инженерия» кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты,
Қауымдастырылған профессор

 **С.А. Юсупова**

«17» _____ 06 _____ 2025 ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

«17» _____ 06 _____ 2025 ж.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

(жұмыс түрінің атауы)

Төлеп Исламбек Серікұлы

(оқушының аты-жөні)

7M07113 - «Электротехника және энергетика»

Тақырыбы: Синхронды айналатын көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегі

Орындалды:

а) графикалық бөлім _____ парақ

б) түсініктеме _____ бет

Магистрант Төлеп Исламбектің магистрлік диссертациясы қазіргі электр энергетикасындағы аса өзекті мәселелердің бірі — электрқондырғылардың қолжетімсіз беттеріндегі қызып кету процестерін бақылау мен болжауға арналған интеллектуалды жүйе әзірлеуге бағытталған.

Жұмыс барысында магистрант жоғары ғылыми деңгейдегі дербестігі мен техникалық сауаттылығын көрсетті. Ол электрлік контакттік қосылыстардағы жылу процестерін зерттеп, болтық қосылыстардағы қызып кетудің негізгі себептерін талдады, термобиметаллды индикаторлар мен тепловизиялық бақылау әдістерінің артық-кем тұстарын салыстырды. ИД ТНП интеллектуалды температура датчигінің жұмыс принципіін сипаттап, оның беріліс функциясын теориялық және тәжірибелік жолмен тексерді.

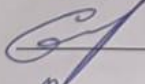
Жұмыстың маңызды жаңалығы — микропроцессорлық құрылғы негізінде интеллектуалды температуралық бақылау жүйесін әзірлеу және оның модельдеу нәтижелері арқылы сенімділігін дәлелдеу. Автор MATLAB/Simulink ортасында асинхронды қозғалтқыш негізінде жылу процестерін модельдеп, қызып кетудің шекті жағдайларын болжау әдістемесін ұсынды.

Жұмыс құрылымы логикалық тұрғыдан сауатты құрылған, мазмұны терең және инженерлік-техникалық тұрғыдан негізделген. Эксперименттік зерттеулер нақты нәтижелермен дәлелденіп, қорытындылар нақты және дәйекті тұжырымдалған.

Диссертациялық жұмыс магистрлік диссертацияларға қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді және мемлекеттік аттестациялық комиссия отырысында қорғауға ұсынылады. Автор — Төлеп Исламбек Серікұлы — 7M07113 — «Электротехника және энергетика» мамандығы бойынша «магистр» академиялық дәрежесін алуға лайықты деп санаймын және жұмысын 95 баллмен, «өте жақсы» деген бағамен бағалаймын.

Ғылыми жетекші:

PhD, қауымдастырылған профессор



Е.А. Сарсенбаев

«17»

06

2025 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеп Исламбек Серікұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 3.8

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

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

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

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

☐ Обоснование:

Дата 18.06.2025

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Төлеп Исламбек Серікұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Электрознергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу

Научный руководитель: Ерлан Сарсенбаев

Коэффициент Подобия 1: 3.8

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 7

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата 18.06.2025

Заведующий кафедрой Энергетики
Сарсенбаев Е.А.


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

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

Автор: Төлеп Исламбек Серікұлы

Тақырыбы: Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу

Жетекшісі: Ерлан Сарсенбаев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1

Дәйексөз (35): 0.2

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 7

Ақ белгілер: 0

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

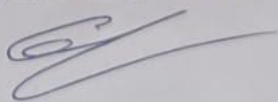
☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

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

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

Негіздеме:

Күні 28.06.2025

Кафедра меңгерушісі Энергетика
Сарсенбаев БА


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ө. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

7M07113 – Электротехника және энергетика

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған

профессор

 Е.А. Сарсенбаев

« 5 » 12 2023 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Төлеп Исламбек Серікұлы

Тақырыбы: «Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу»

Университет Ректорының 2023 жылғы "04" 12 №548-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2025 жылғы "16" 06

Магистрлік диссертацияның қысқаша мазмұны:

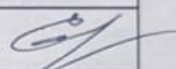
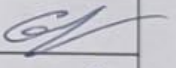
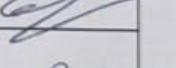
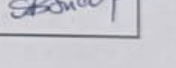
- а) Электроэнергетикалық қондырғылардың диагностикасы мен бақылауына шолу жасау;
- ә) Интеллектуалды жүйенің құрылымын және жұмыс істеу принципін сипаттау;
- б) MATLAB/Simulink негізінде модель құру және нәтижелерін талдау.
- в) Жүйені нақты жағдайда қолдану мүмкіндіктерін ұсыну.

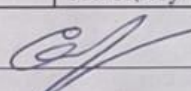
Ұсынылатын негізгі қолданылған әдебиеттер: Инновационный патент РК №29444 от 25.12.2014. Бекбаев А.Б., Жумаев А.К., Шерышев В.П., Сарсенбаев Е.А., Утебаев Р.М., Скандирова Л.Ш. Способ измерения температуры поверхности, находящейся под электрическим напряжением, и устройство для его осуществления. Власов А.Б., Мухин Е.А., Царёв Б.Д. Факторный анализ диагностической модели тепловизионного контроля электрической машины //Вестник МГТУ: труды Мурман. техн. ун-та.– 2013.–Т.16.–№1.– С. 46–51.

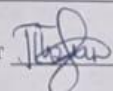
Магистрлік диссертация дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, әзірленетін сұрақтар тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімі	Ескертулер
Бөлім 1. Электрлік контакттік қосылыстар	18.10.2023	жау
Бөлім 2. Болттық контакттік қосылыстардағы жылу процестерін бақылау	11.03.2024	жау
Бөлім 3. ИД ТНП интеллектуалды датчигінің беріліс функциясы	07.10.2024	жау
Бөлім 4. Болттық КҚ артық қызуын болжау	17.03.2025	жау

Тиісті бөлімдері көрсетілген магистерлік диссертацияға кеңесшілер мен норма бақылаушының қолдары

Бөлім	Консультант, (ғылыми дәрежесі)	Уақыт	Қолы
Электрлік контакттік қосылыстар	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауым. -профессор	17.06.2025	
Болттық контакттік қосылыстардағы жылу процестерін бақылау	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауым. -профессор	17.06.2025	
ИД ТНП интеллектуалды датчигінің беріліс функциясы	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауым. -профессор	17.06.2025	
Болттық КҚ артық қызуын болжау	Е.А. Сарсенбаев, PhD, қауым. -профессор	17.06.2025	
Норма бақылаушы	А.О. Бердибеков, техн. ғыл. магистры, аға оқытушы	17.06.2025	

Ғылыми жетекші  Е.А.Сарсенбаев

Тапсырманы орындауға қабылдаған магистрант  И.С.Төлеп

Күні

«13» 01 2023 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

Төлеп Исламбек Серікұлы

Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және
болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М07113 – Электротехника және энергетика

Алматы 2025

АНДАТПА

Бұл жұмыс электр энергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жай-күйін бақылау мен болжаудың зияткерлік жүйесін әзірлеуге бағытталған. Жоғары вольтты және жоғары тоқты электр контактілі қосылыстардың қол жетпейтін жанасу беттерінің температурасын өлшеу процесін интеллектуализациялаудың баламасыздығы көрсетілген. Динамикалық бақылау технологиялары байланыс бөліктерінің істен шығуына әкелуі мүмкін жүктеменің күрт өзгеруін анықтау үшін маңызды болады. Бұл тұрғыда микроконтроллерлері бар ақылды температура датчиктері тиімді шешім болып табылады, әсіресе қол жетпейтін беттердің температурасын өлшеу үшін. Мұндай датчиктер деректерді талдауға және қол жетімді өлшеулер негізінде температураны қайта есептеуге қабілетті, сенімді бақылауды қамтамасыз етеді және төтенше жағдайлардың алдын алады.

АННОТАЦИЯ

Данная работа направлена на разработку интеллектуальной системы мониторинга и прогнозирования состояния недоступных поверхностей электроэнергетических установок. Показана безальтернативность интеллектуализации процесса измерения температуры недоступных контактных поверхностей высоковольтных и высокоточных электроконтактных соединений. Технологии динамического контроля будут важны для выявления резких изменений нагрузки, которые могут привести к отказу контактных частей. В этом смысле интеллектуальные датчики температуры с микроконтроллерами являются эффективным решением, особенно для измерения температуры труднодоступных поверхностей. Такие датчики способны анализировать данные и пересчитывать температуру на основе имеющихся измерений, обеспечивают надежный контроль и предотвращают аварийные ситуации.

ABSTRACT

This work is aimed at developing an intelligent system for monitoring and forecasting the condition of inaccessible surfaces of electric power plants. There is no alternative to the intellectualization of the temperature measurement process of inaccessible contact surfaces of high-voltage and high-precision electrical contact connections. Dynamic monitoring technologies will be important for detecting sudden load changes that can lead to failure of the contact parts. In this sense, intelligent temperature sensors with microcontrollers are an effective solution, especially for measuring the temperature of hard-to-reach surfaces. Such sensors are able to analyze data and recalculate temperature based on available measurements, provide reliable monitoring and prevent emergencies.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1	Электрлік контакттік қосылыстар	9
1.1	Күштік электр қондырғыларындағы контакттердегі жылулық процестер	9
1.2	Өтпелі контакттық кедергі	10
1.3	Болтты контактілі қосылыстар	11
2	Болттық контакттық қосылыстардағы жылу процестерін бақылау	15
2.1	Болттық КҚ артық қызуын диагностикалау құралдары	15
2.2	Термобиметаллды сезімтал элементтер	16
2.3	Контакттық қосылыстардың интеллектуалды температуралық бақылауы	19
2.4	Тепловизорлық бақылау	22
3	ИД ТНП интеллектуалды датчигінің беріліс функциясы	33
3.1	Контакттық қосылысты стерженьді жүйе ретінде ұсыну	33
3.2	Стерженьдегі жылудың таралуының математикалық моделі	35
3.3	Беріліс функциясын шығару	37
3.4	Беріліс функциясын тексеру	39
4	Болттық КҚ артық қызуын болжау	42
4.1	Асинхронды қозғалтқыштың математикалық моделі	42
4.2	Қыздырудың бастапқы кезеңіндегі температураны бақылау	44
4.3	Болтты контакттық қосылыстың қызудың шекті рұқсат етілген температурасына жету уақытының анықтамасы	46
	Қорытынды	48
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	50

КІРІСПЕ

Өзектілігі. Өнеркәсіптік объектілердің энергия тиімділігі мен энергиямен қамтылуын арттыру өрт қауіпсіздігі мәселелерін ерекше өзекті етеді. Өнеркәсіптік кәсіпорындар электр жабдықтарының істен шығуына байланысты қаржылық шығындарға ұшырайды, сондай-ақ электрмен жабдықтауды қалпына келтіруге және негізгі технологиялық схемалардың бұзылуына шығындар жұмсайды.

Статистикалық мәліметтерге сәйкес, электр жабдықтары мен тұрмыстық техниканы орнату және пайдалану ережелерінің бұзылуы салдарынан мыңдаған өрттер орын алып, бұл айтарлықтай материалдық шығындарға әкеледі. Апатты жағдайлардың жиі кездесетін себептерінің бірі – электр қосылыстарының айнымалы тұрақтылығының жоғары болуы.

Қысқа тұйықталған қосылыстардың құрылысы олардың құрылымдық ерекшеліктерімен (қозғалмалы немесе қозғалмайтын) және жұмыс режимімен (контактілердің қысқа тұйықталуы, қосылыстар арқылы өтетін қысқа тұйықталу тогы, қысқа тұйықталу тогының әсері және т.б.) анықталады. Қозғалмайтын контактілер тек бір ғана режимде – қысқа тұйықталу тогы контактілер арқылы өтетін жағдайда ғана жұмыс істей алады.

Болттар мен шиналардың әртүрлі сызықтық ұлғаю коэффициенттері және олардың біркелкі емес қызуы салдарынан болттарда материалдың серпімділік шегінен асып түсетін айтарлықтай механикалық кернеулер пайда болуы мүмкін, бұл қосылыстардың әлсіреуіне, контакт кедергісінің артуына және соның салдарынан қызып кетуге әкеледі. Жұмыс кезінде нашар қосылыстардың салдарынан кабельдер мен сымдардың қағаз немесе резеңке оқшаулағышының тұтануы өртке себеп болуы мүмкін.

Контакт кедергісі арқылы өтетін максималды ток қосылыстардың салыстырмалы түрде аз бөлігінде байқалуы мүмкін, алайда олардың жалпы санының көп болуы бұл режимді электр жабдықтарының ең өрт қауіпті жағдайларының бірі етеді. Бұл жағдайлардан электр жабдықтарының жауапты элементтері үшін температура мониторингі деректері негізінде ғана апаттық қосылыстарды болжауға арналған күрделі әрі қымбат құралдарды қолдану ұсынылатыны жөнінде қорытынды жасауға болады.

Тәжірибеде контактілердің температурасын бақылау үшін жиі термоконтактты басқару қолданылады. Бұл бақылау түрін көптеген энергетикалық объектілерде қолдану қиын, өйткені техникалық қызмет көрсету кезінде барлық қосылыстарға қалыпты ток жүктемесін қамтамасыз ету қажет. Электр жабдықтарының қалыпты жұмысы кезінде қауіпсіздік талаптарына байланысты ішкі қуысқа қол жеткізуге жиі тыйым салынады.

Мақсаты. Жоғары кернеудің әсерінен контакт бетінің температурасы, сондай-ақ термопара арқылы тікелей өлшеу мүмкін емес контакт бетінің температурасы беттің температурасы ретінде интерпретациялануы мүмкін. Контакт бөлігі беткі қабатының температурасын анықтау және оны контакт

бетінің температурасына түрлендіру үшін, яғни жанама өлшеулер жүргізу мақсатында қолжетімді беттің температурасын анықтайтын микропроцессорлық құрылғы – ИД ТНП датчигі әзірленді [2]. Диссертацияның мақсаты – термопараны өлшеу түрлендіргіші ретінде қолданатын интеллектуалды ИД ТНП датчигінің қызып кетуді бақылау және болжау міндеттерін шешудегі қолданылу мүмкіндігін зерттеу.

Ғылыми жаңалығы. «Технокомплект» (Ресей) компаниясы тікелей өлшенетін бетпен жанасатын сандық температура датчигі бар тірі беттің температурасын өлшеуге арналған жаңа аспап әзірледі [1]. Сандық температура датчигі магниттік өріспен байланыстырылған электрлік резонанстық контурлардан тұрады. Бірінші тізбек температура бойынша өлшенетін және түзеткішке қосылған кернеуден төмен. Екінші контур кернеусіз және сорғы-генераторға қосылған. Бастапқы кернеу температура датчигін қосуға пайдаланылады. Осылайша, сандық температура датчигін қосу үшін қуат тұрақты түрде беріледі. Бұл магниттік байланысы бар резонанстық тізбектер арқылы бет температураларын кернеу көмегімен өлшеуге мүмкіндік береді. Температураны бақылаудың контакттік әдісі мен сандық температура датчигін қолдану өлшеудің дәлдігі мен сенімділігін арттырады. Алайда бұл әдістің кемшілігі – контакт бөлігі ашық бетінің температурасын өлшеуді қажет етеді, ал контактілер істен шығуға әкелетін максималды температура тікелей өлшеуге қолжетімсіз жерлерде қалыптасып, ашық беттің температурасынан асып түседі.

Жарияланымдар. Жұмыс тақырыбы бойынша зерттеу жүргізу кезеңінде келесі жарияланымдар жарық көрді:

2024 жылы «International Satbayev Conference» ғылыми-тәжірибелік журналында «Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу» тақырыбында мақала жарияланды.

2025 жылы «International Satbayev Conference» ғылыми-тәжірибелік журналында «Электроэнергетикалық қондырғылардың қолжетімсіз беттерінің жағдайын бақылау және болжау үшін интеллектуалды жүйені әзірлеу» тақырыбында мақала жарияланды.

2025 жылы №2 И.Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің «Technika Yulduzlari» ғылыми-тәжірибелік журналында «Development of an intelligent system for monitoring and predicting the state of inaccessible surfaces of electric power plants» тақырыбында мақала жарияланды.

Нәтижелері. Эксперименттік стендте симметриялық болтты қосылыстың (қосылыс элементтері материалы – болат) бастапқы қызу кезеңінде температура бақыланды. Температураны бақылау кезінде контакт бөлігінің ашық бетінің температурасы өлшеніп, ИД ТНП интеллектуалды датчигінің деректері негізінде микроконтроллерде есептелген формула арқылы контакт бетінің температурасы қайта есептелді. Осы мәліметтерге сүйене отырып, контакттың қызып кеткені анықталды.

1 Электрлік контактілік қосылыстар

1.1 Күштік электр қондырғыларындағы контактітердегі жылулық процестер

Электр жабдықтарының негізгі өткізгіштері кез келген электр қондырғысында, әсіресе контактілік қосылыстарда қызып кетуі мүмкін. Бұл жағдай өрт қауіпсіздігі, жабдықтың қауіпсіздігі және қызмет көрсетуші персоналдың қауіпсіздігі тұрғысынан ерекше назар аударуды қажет етеді [3].

1.1-кестеде контактілік қосылыстардың, ток өткізгіш сымдардың және қуат кабельдерінің рұқсат етілген ең жоғары қызу температуралары көрсетілген.

1.1 - кесте – Рұқсат етілетін ең жоғары қызу температурасы

Мыс және мыс қорытпаларынан жасалған контактілер	
Жабыны жоқ	75 градус Цельсий
Қалайы жабыны бар	90 градус Цельсий
Болтты контактілі қосылыстар	
Жабыны жоқ	90 градус Цельсий
Қалайы жабыны бар	105 градус Цельсий
Күштік кабельдердің ток өткізгіш өзекшелері	
Полиэтиленнен	70 градус Цельсий
Вулканизацияланатын полиэтиленнен	90 градус Цельсий
Резеңкеден	65 градус Цельсий

Қызып кетудің негізгі себептерінің бірі – өтпелі кедергінің жоғарылауы. Контакттың әлсіреуі, тотығуы немесе коррозиясы салдарынан "ыстық нүктелер" пайда болуы мүмкін. Мұндай аймақтарға көбінесе тұрақты және ажыратылмайтын байланыс қосылыстары, өткізгіштегі қысқыштар, электр коммутациялық құрылғылардағы негізгі ток өткізетін контактілер, коммутаторлармен шиналардың бұрандалы қосылыстары жатады.

Сенімсіз қосылыстар күрделі апаттарға әкелуі мүмкін. Мысалы, төмен вольтты электр беру желісінің бір бөлігі шинаның коммутатордың негізгі ұшымен нашар бұрандалы қосылуының салдарынан толықтай жанып кетуі мүмкін.

Қозғалмайтын қосылыстың жергілікті қызуы бүкіл өткізгіштің қызып кетуіне, фазалық оқшаулаудың зақымдануына, ал соңында фазалар арасындағы қысқа тұйықталуға (ИС) әкелуі мүмкін.

Негізгі тізбектегі контактітердің қызып кетуі тек оқшаулаудың ескіруіне ғана емес, сонымен қатар жылу өткізгіштік әсерінен коммутациялық құрылғының негізгі контактілеріне жылудың берілуіне алып келеді. Температура қазіргі құрылғылардың шектеулі кеңістікте орналасқан

байланыс жүйесіне әсер етеді. Бұл элементтердің ішіндегі ең осалы – қызып кетуден бірінші істен шығатын бөліктері.

Бұған қоса, коммутациялық құрылғылардың қорғаныс функциялары жиі тек негізгі тізбектегі токты реттеумен шектеледі және осы параметр негізінде қызудан қорғаныс жүзеге асады. Бірақ кейбір жағдайларда мұндай қорғаныс жеткіліксіз болуы мүмкін [4].

Мысалы, негізгі шинаның жүктемесі номинал мәнінің 70%-ынан аспауы тиіс, алайда қосылыс бос болған күннің өзінде бұл ток жергілікті қызып кетуге себеп болуы мүмкін. Егер бұл түйін қорғаныс автоматымен қатар орналасса, жылу шина арқылы оның негізгі контактілеріне беріледі.

Мұндай қызып кетуді әдеттегі ауа датчиктері арқылы анықтау мүмкін емес, себебі электрондық қорғаныс құрылғылары ток параметрлерін сол арқылы бақылайды.

Жергілікті қызып кету көбінесе ұзақ уақытқа созылып, уақыт өте келе жабдықтың істен шығуына, сондай-ақ апаттың көршілес камералар мен жабдықтарға таралуына алып келуі мүмкін.

1.2 Өтпелі контакттық кедергі

Электрлік тізбектер мен құрылғылардың басым көпшілігінде көптеген байланыс қосылыстары бар және олар маңызды элементтер болып табылады. Электр жабдықтары мен сымдарының үздіксіз жұмысы электр контактілерінің техникалық күйіне жиі байланысты. Контакт – бұл электр тізбегінің бөлігі болып табылатын екі бөлек өткізгішті электрлік және механикалық түрде біріктіретін құрылымдық құрылғы. Өткізгіштердің түйіскен жерінде токты бір бөліктен екінші бөлікке өткізетін электрлік қосылыс жүзеге асады.

Қосылыс сапалы болуы үшін өткізгіштердің тек бетінің жабысуы жеткіліксіз, өйткені нақты байланыс бүкіл бетте емес, тек бірнеше нүктеде ғана жүзеге асады. Бұл контакт элементтерінің бетінің тегіс еместігімен байланысты – тіпті мұқият жылтыратқанның өзінде, микроскопиялық бұдырлар мен ойыстар сақталып қалады. Мұны электронды микроскоппен түсірілген фотосуреттер арқылы дәлелдеуге болады.

Электрлік қосылыс – бұл токтың электр тізбегінде өтуін қамтамасыз ететін денелер арасындағы байланыс. Бұл денелер қосылыстың буындары немесе бөліктері деп те аталады.

Екі контакттік бөлікті қосқанда, жұмыс бетінің бір бөлігімен анықталатын шартты байланыс аймағы пайда болады. Ток бір контактіден екіншісіне өтетін нақты байланыс беті – шартты байланыс аймағының бөлігі.

Нақты (тиімді) байланыс беті жалпы контакттік бетке қарағанда бірнеше есе аз. Тиімді байланыс бетінің аз болуы токтың өтуіне кедергі келтіреді. Контакт арқылы өтетін токқа қарсы тұру – бұл контакттік кедергі деп аталады. Бұл кедергі сол өлшем мен пішіндегі тұтас өткізгіштің

кедергісінен әрқашан үлкен болады. Контакт кедергісі ток өтетін кезде белсенді кедергінің күрт артуына әкеледі. Оның шамасы көптеген эксперименттер нәтижесінде алынған формуламен анықталады.

Контакт тұрақтылығы бет өлшеміне емес, ең алдымен қысым беріктігіне (контакттік қысымға) байланысты. Контакттік қысым – бұл бір контакт бетінен екіншісіне түсетін күш. Қысым артқан сайын байланыс нүктелері көбейеді. Тіпті төмен қысымда да пластикалық деформация жүріп, шығыңқы нүктелер жаншылады, ал қысым өскен сайын жаңа байланыс нүктелері пайда болады. Сол себепті өткізгіштерді біріктіру үшін әртүрлі әдістер қолданылады:

- бұрандалы механикалық қосылыс (әртүрлі қысқыштар пайдаланылады);

- пружиналық муфта – серпімді қысым арқылы (жазық серіппелі қысқыштары бар шеткі блоктар);

- дәнекерлеу, пісіру, престеу.

Егер екі өткізгіш байланыста болса, байланыс нүктелері мен тиімді байланыс бетінің жалпы ауданы қысымға және материалдың беріктігіне (сығымға төзімділік шегі) байланысты.

Контакт кедергісі неғұрлым төмен болса, ток өтетін тиімді бет соғұрлым үлкен болады. Бірақ контакт қысымын шектен тыс арттыру ұсынылмайды, өйткені төмен қысымда кедергі жылдам азайғанымен, жоғары қысымда ол айтарлықтай өзгермейді.

Сондықтан қысым жеткілікті жоғары болуы керек, бірақ металлда пластикалық деформация тудырмайтындай, себебі бұл сынуға әкелуі мүмкін.

Контакт қасиеттері уақыт өте өзгереді. Тек жаңа, мұқият өңделген және тазартылған контакт жеткілікті қысымда минималды кедергіге ие болады.

Пайдалану барысында контактке сыртқы және ішкі факторлардың әсерінен оның кедергісі артады. Контакт соншалықты нашарлауы мүмкін, тіпті апатқа себеп болады.

Контакттік кедергі көбінесе температураға тәуелді. Ток жүрген кезде қосылыс қызады. Температураның жоғарылауы – контакт кедергісінің артуына себеп болады. Алайда контакт материалының нақты кедергісінің артуы температураның әсерінен жылдамырақ, себебі қызған кезде өткізгіштік азаяды.

1.3 Болтты контакттілі қосылыстар

Тікбұрышты профиль шина өлшемдерімен анықталатын болаттан жасалған. Контактты беттердің қыспа күшін қамтамасыз ету үшін үлкен бір болттың орнына бірнеше шағын болттарды қолданған дұрыс, себебі бұл жағдайда түйісу нүктелері көбірек болады (1.1 – сурет). Соның нәтижесінде қосылыстың контакттық кедергісі азайып, ток контакттық бетке біркелкі

таралады. Электр құрылғыларына арналған жазық қысқыштар ГОСТ 21242-75 стандартына сәйкес жасалады.



1.1 – сурет - Болтты контактілі қосылыстың мысалы

Электр тогы өткен кезде түйіспелер қызады және кеңейеді. Қызу мен кеңею, әсіресе қысқа тұйықталу кезінде байқалады. Қоспадағы кеңею әрқашан біркелкі болмайды, себебі оның бөліктерінің сызықтық кеңею коэффициенттері әртүрлі.

Мыс және алюминий шиналарындағы болттар қолайсыз жағдайда жұмыс істейді, себебі болат болттардың сызықтық кеңею коэффициенті мыс немесе алюминий шиналарға қарағанда төмен: сонымен қатар, қысқа тұйықталу жағдайында болттар шиналарға қарағанда әрдайым азырақ қызады.

Қысқа тұйықталу режимінде болттарға қосымша күштер әсер етеді, олар болттың созылу беріктігіне әсер етіп, температура төмендегенде қосылыстың қайтымсыз деформациясы мен ажырауына алып келеді. Шинаның орамасы неғұрлым қалың болса, болттарға түсетін механикалық жүктеме соғұрлым жоғары болады. Бұл кернеулерді Бельвиль серіппелерінің көмегімен азайтуға болады.

Электротехникалық мақсаттар үшін табакша тәрізді серіппелер ГОСТ 17279-71 стандартына сәйкес екі түрге бөлініп шығарылады: W – шиналардың түйіспелеріндегі контакттық қысымды сақтау үшін қолданылатын серіппелер; К – электр жабдықтарының шығыс сымдарына қосылған кабель орамдарының қысымын сақтау үшін арналған серіппелер, оларда жинақтау шиналарымен жанасу беті азайған.

Бір немесе төрт болтпен қосылған элементтердің қабаттасу (жабу) ұзындығы шинаның енінен 1,5–2 есе көп, ал екі болтпен қосылғанда автобустың енінен 1,5–2 есе артық болуы керек.

Контакт тігісіндегі контакттық кедергіні азайту контакт беттерін өңдеумен, қысымды арттырумен және қаттылықты төмендетумен байланысты.

Болттар қосылыста токтың меншікті тығыздығы мен болттар үшін рұқсат етілетін созылу күштеріне сәйкес контакт беттеріндегі нақты қысымға (МПа) байланысты таңдалады. Контакт материалдарына байланысты контакттардағы нақты қысым мәндері 1.2 – кестеде келтірілген.

1.2 - кесте – Контактілі қосылыстардағы ұсынылатын меншікті қысым

Материал	Меншікті қысым, МПа
Қалайыланған мыс	0,5 – 10,0
Мыс, жез, қоламен	0,6– 12,0
Алюминий	25,0
Қалайыланған болат	10,0 – 15,0
Қалайыланбаған болат	60,0

Болттардың ұзындығы қосылымдарды жинап, тартқаннан кейін кем дегенде екі бұрандалы орам бос қалатындай етіп таңдалады. Контакттылы қосылымдардың болттары кілтпен бекітіліп, анықтамалық кестелерде көрсетілген бұрау моментін қамтамасыз етеді.

Бельвиль серіппелері бар болттар екі кезеңде тартылады. Алдымен болт тарелкалы серіппе толық сығылғанға дейін тартылады, содан кейін МВ және М12 болттары үшін бұранданы кері бағытта 1/4 бұру арқылы, ал қалған болттар үшін 1/6 бұру арқылы босатылады.

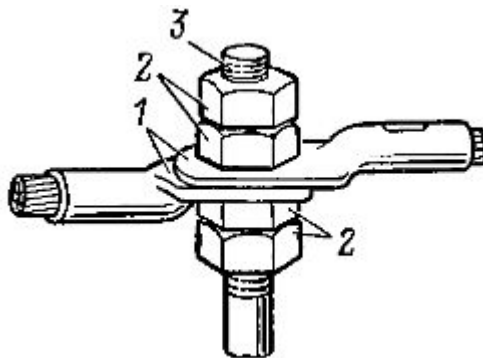
Жалпақ өткізгіштерді мыс немесе алюминий қорытпасынан жасалған жалпақ қысқыштарға қосу болат болттармен (ГОСТ 7798-70), жаңғақтармен (ГОСТ 5915-70) және шайбалармен (ГОСТ 11371-78) жүзеге асырылады. Алюминий қысқыштар үшін контакт қысымын тұрақтандырғыштар пайдаланылады: тарелкалы серіппелер немесе мыс пен алюминий қорытпаларының сызықтық кеңею коэффициенті $(18-21) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Тарелкалы серіппелермен қосылғанда алюминий шығу тесігі жағынан үлкейтілген шайба, ал мыс қақпақ жағына – кәдімгі шайба қойылады. Бельвиль серіппелерінде лакнут қолданылмайды.

Егер тарелкалы серіппелер немесе қажетті түсті металдардан жасалған болттар мен жаңғақтар болмаса, қосылым ұзартылған шайба арқылы орындалады, бірақ бұл жағдайда ауыстыру кедергісі мен қызу температурасы белгіленген шектерде болуы керек.

Қосқанда жазық өткізгіштің екі жағынан қақпақтар киіледі, бұл минималды контакт пен токтың біркелкі таралуын қамтамасыз етеді. Егер терминалға екіден көп қақпақ қосу қажет болса немесе олардың тесіктері терминал тесігімен сәйкес келмесе, өтпелі бөлшектер пайдаланылады. Наконечниктер өтпелі бөлікке симметриялы түрде қосылады.

250 А дейінгі токтар үшін алюминий жалпақ өткізгіштер мыс өткізгіштер сияқты қосылады, ал 250–400 А токтар үшін үлкейтілген жаңғақтар қолданылады. Екі қақпақты түйреуіш терминалға қосу симметриялы түрде жүзеге асырылады (1.2-сурет), ал екіден артық қақпақ қосылғанда өтпелі бөлшек пайдаланылады. 400 А-дан асатын токтар үшін мыс-алюминий қақпақтар немесе шина ұштарын тарту (орамдау) әдісі пайдаланылады.



1 — ұштықтар, 2 — гайкалар, 3 — штырлі шығыс

1.2 – сурет - Симметриялы электрқосқыштың мысалы – екі ұштықтың штырлі шығыспен қосылуы

1.2 – суретте көрсетілген болтты қосылымды электрлік қосылыстың термосимметриялық жүйесі ретінде қарастыруға болады, өйткені көлденең қосылыстың электрлік кедергісінен бөлінетін жылу екі қосылған бөлікке біркелкі таралады.

2 Болттық контакттық қосылыстардағы жылу процестерін бақылау

2.1 Болттық КҚ артық қызуын диагностикалау құралдары

Қазіргі уақытта электрқондырғылардың температурасын бақылауға арналған көптеген диагностикалық құралдар мен әдістер әзірленген [6]. Қолданыстағы әдістерге толық шолу берілген [7]. Ең кең таралғандарының бірі – электр жабдықтарын жылукамера арқылы бақылау [8].

Жылукамералар – бұл пассивті оптоэлектрондық құрылғылар. Олар көрінбейтін сәулеленуді электр сигналына түрлендіреді, ол күшейтіліп, автоматты түрде өңделіп, объектінің жылу өрісінің көрінетін бейнесіне айналады, бұл визуалды және сандық бағалау үшін қажет.

Инфрақызыл сәулелену арнайы линзалар жүйесі арқылы шоғырланып, инфрақызыл спектрдің белгілі бір толқын ұзындығына сезімтал фотодетекторға түседі. Түскен сәулелену электрондық схемамен тіркеліп, күшейтілген фотоқабылдағыштың электрлік қасиеттерін өзгертеді.

Барлық жылукамералар екі элементтен тұрады – сенсорлық матрица және линза. Қазіргі жылукамералар екі нұсқада болады – салқындатылатын матрицамен (стационарлық) және салқындатылмайтын матрицамен (портативті).

Фотоқабылдағыштар матрицасы – бұл жылулық сәулеленуге сезімтал элементтер жиынтығы. Жылукамераның көрсеткіштерін дәл оқу үшін матрицаның термосезімтал элементтерінің температурасы тұрақты болуы керек. Матрицаны термостаттау үшін көлемді салқындату жүйелері қолданылады, сондықтан жоғары дәлдіктегі құрылғылар тұрақты болады. Олар жоғары дәлдікке ие және үлкен қателіктер мен олқылықтарды болдырмау қажет нысандарда, мысалы әскери кемелерде немесе ғылыми-зерттеу орталықтарында қолданылады.

Портативті жылукамераларда оқшауланбаған матрица пайдаланылады. Бұл құрылғының салмағы мен өлшемін ғана емес, сонымен қатар оның сезімталдығын да едәуір төмендетеді. Портативті жылукамераны қолданудың артықшылығы – бір құрылғымен бірнеше электр құрылғыларын тексеруге болады.

Бұл әдістің бір кемшілігі – құрылғы корпусының ішіндегі байланыс торабының нақты термодинамикалық температурасын бағалау мүмкін еместігі. Басқару блогы корпусының сыртқы бетінің температурасы радиатордың нақты температурасынан әлдеқайда төмен болуы мүмкін. Бұл байланыс түйісуінің температурасына да қатысты, оның ең жоғары мәні тікелей контакт бетінде болады.

Сонымен қатар, портативті жылукамераны пайдалану кезінде үздіксіз мониторинг жүргізу қиын, өйткені өлшеулерді тек арнайы маман жүргізе алады, ал ол бір құрылғының температурасын тәулік бойы бақылай алмайды.

Портативті жылукамералардың бағасы өте жоғары. Құрылғының жалпы құнының 45%-ын матрица, ал тағы 45%-ын линза құрайды. Дәстүрлі шыны 8–12 мкм толқын ұзындығындағы инфрақызыл сәулеленуге сезімтал емес (матрицасыз жылукамералар осы диапазонда жұмыс істейді). Сондықтан жылукамера линзаларын жасау үшін қымбат материал – таза германий пайдаланылады.

Жылу бейнесін бақылау – бұл элементтерді бір-бірінен ажыратуға, сондай-ақ электр жабдықтарының техникалық жағдайына жалпы баға беруге мүмкіндік беретін кешенді әдіс. Бұл көптеген ақауларды ерте кезеңде анықтауға, сондай-ақ оларды болдырмау үшін оңтайлы пайдалану шектерін белгілеуге мүмкіндік береді.

Алайда, жоғары диагностикалық дәлдікке, әдістемелік қамтамасыз етуге және қызып кетуді анықтаудың басқа да артықшылықтарына қарамастан, жылукамералармен бақылаудың өз шектеулері бар.

Мұндай мониторинг түрін көптеген энергия нысандарында пайдалану қиын, себебі техникалық қызмет көрсету кезінде барлық компрессорлық станцияларда қалыпты ток жүктемесін қамтамасыз ету қажет. Электр жабдығын қалыпты пайдалану кезінде оның ішкі қуыстарына, соның ішінде қауіпсіздік мақсатында да, қол жеткізуге тыйым салынады.

Байланыс датчиктері төмен құнына байланысты кеңінен қолданылады, бірақ CS жағдайын диагностикалау үшін оларды деректерді жинау және өңдеу құрылғыларына қосу үшін арнайы сызбалар қажет [7]. Бұл құралдарды электр жүйелерінде қолдану үшін электр оқшаулауын, бұл құрылғыларды контакттарға бекіту жүйелерін, сондай-ақ оларды панельдерге қосу үшін арнайы сымдар желісін қамтамасыз ету қажет. Мұндай сым желісінің өзі қысқа тұйықталудың ықтимал көзі болуы мүмкін, өйткені көптеген қосымша өткізгіштер разряд пайда болуы мүмкін аймаққа кіреді, бұл жабдықтың өрт қауіпсіздігіне теріс әсер етуі мүмкін.

2.2 Термобиметаллды сезімтал элементтер

Электрқондырғылардың температурасын реттеудің әртүрлі әдістері мен тәсілдеріне қарамастан, олар техникалық себептерге байланысты іс жүзінде қолданылмайды. Бүгінгі таңда ең кең таралған әдістер — барлық компрессорлық станцияларда оқшаулаудың қарайып кетуін және күйіп кетуін анықтау мақсатында визуалды тексеру, сондай-ақ электрқондырғыларға қызмет көрсету кезінде қолдан жүргізілетін тығыздаудың болуы.

Визуалды тексеру [14] — компрессорлық станциялардың (КС) тозуын анықтаудағы негізгі әдіс, бірақ ақаулар уақытында анықталмаған жағдайда, ол олардың апаттық кезеңге өтуімен сипатталады. Қолмен орнатылатын компрессорлық станциялар [7] жұмысшы персоналдан жоғары біліктілікті талап етпейді. Бір КС-ға шаққандағы еңбек шығыны жоғары емес, алайда

мұндай қосылымдар электрқондырғыларға қызмет көрсетудің 30%-ына дейін жетуі мүмкін.

Бір базалық станция үшін елеулі өтпелі кедергілердің пайда болу ықтималдығы төмен, сондықтан барлық базалық станцияларға қызмет көрсету тиімсіз болып көрінеді және бұл әрекетті электр техникалық персонал көбінесе елемейді. Мұндай жағдай апатқа әкелуі мүмкін.

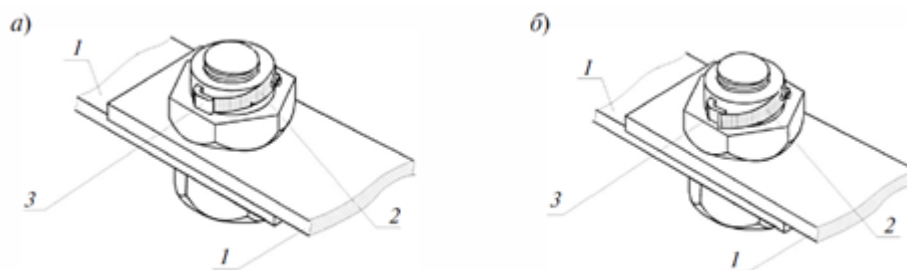
Қолда бар КС диагностикасы құралдары мен әдістерін талдау нәтижелері бойынша жоғарыда аталған кемшіліктерді жоятын термометалдық сезімтал элементтерге негізделген техникалық шешім ұсынылды.

Термиялық биметалдар — бұл әртүрлі сызықтық жылулық ұлғаю коэффициенттері (ЖҰК) бар екі түрлі материалдан жасалған пластиналарды дәнекерлеу немесе қыздыру арқылы біріктіру арқылы алынатын элементтер. Температура өзгерген кезде белсенді (ЖҰК жоғары) және пассивті (ЖҰК төмен) қабаттардың жылулық кеңею айырмашылығы материалдың пассивті қабат жағына қарай иілуіне алып келеді.

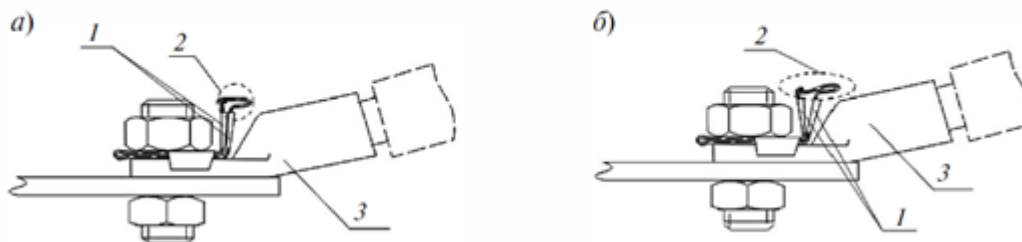
Осылайша, қыздырылған кезде механикалық жұмыс атқара алатын күш пайда болады. Қарапайымдылығы, сенімділігі және төмен құны термобиметалдық элементтердің әртүрлі құрылғыларда, соның ішінде температура өзгерісіне байланысты қозғалатын индикатор типтерінде кеңінен қолданылуын қамтамасыз етеді. Бұл қасиеттер компрессорлық станциялардың апаттық күйін визуалды диагностикалау құралдарын — контакттың қызып кету индикаторларын жасау кезінде пайдаланылды [15, 16].

Индикатордың термобиметалдық сезімтал элементі КС-пен жылуалмасу есебінен қызады (индикатор арқылы электр тогы өтпейді) және электрқондырғыларды тексеру кезінде апаттық жағдайды көрсететін күйге өтеді.

[15, 16] жұмыста индикатордың екі нұсқасы ұсынылады: КС-тің жаңғағына біріктірілген индикатор [15] (2.1 – сурет) және ток өткізгіш ұштықпен жабдықталған индикатор (2.2 – сурет) [16].



2.1 – сурет - Гайкамен біріктірілген индикатор



2.2 – сурет - Ток өткізгіш ұштықпен біріктірілген индикатор

Индикатор электр жабдықтарының жұмыс шинасындағы диагностикалық КС-ға орнатылады. Пайдалану процесінде термобиметалдық пластина, яғни индикатордың жұмыс жағдайын көрсететін элемент, визуалды тексеру арқылы анықталады және КС қанағаттанарлық күйде болса, техникалық қызмет көрсетуді қажет етпейді.

Алайда, КС-ны одан әрі пайдалану барысында контакт қысымының әлсіреуі мен сәйкес қызып кетуі орын алғанда, шинадағы тоқтық контактіден 1 индикатор 2 деформацияланады, нәтижесінде пластинаның ұшы 3 тіреуішке қарай ауысып, апаттық күй ретінде тіркеледі.

Индикатордың жұмысқа қабілеттілігін дәлелдеу үшін термобиметалдық сезімтал элементтің температура тербелісі шамасын есептеу қажет. Өз кезегінде, жылулық деформациялар КС температурасына және сезімтал элементтердің геометриялық параметрлеріне, сондай-ақ ГОСТ 10533–86 [17] бойынша термобиметалдың сипаттамасына байланысты анықталады.

КС жаңғағымен бірге индикатор сезімтал элементінің температуралық ығысуын анықтау үшін биметалдық пластина — радиусы R болатын жалпақ бұрандалы серіппенің бір жабық шеті бар бөлігі ретінде қарастырылады. Біркелкі қыздыру кезіндегі термобиметалдың иілуі [18, 19] келтірілген формуламен сипатталады.

Есептік бағалау бойынша, температура 40–60 °C-қа дейін қызған кезде, М12–М20 бұрандалы қосылымдар үшін КС жаңғағына біріктірілген индикаторлардың термобиметалдық пластинасының ауытқуы 5–7 мм құрайды. Бұл мәндер сезімтал элементтің апаттық күйге өтуі үшін жеткілікті және бұл прототиптерді сынау кезінде практика жүзінде расталды.

Алайда, кішігірім бұрандалы қосылымдар үшін мұндай конструкциядағы индикаторлар іске қосу температурасына өте дәл сәйкес келуі керек.

Сондықтан индикатор конструкциясы кабельдік ілмекпен біріктірілді, бұл барлық стандартты бұрандалы қосылымдар үшін (М4-тен бастап) жұмыс және апаттық күйлерді визуалды түрде ажыратуды қамтамасыз етеді. Бұл нұсқада индикатор екі термобиметалдық индикаторлық пластинадан тұратын

және кабельдік ілмекке бекітілген қақпақтың бір бөлігі болып табылады (2.2-сурет).

Бұл нұсқада жұмыс режимінде (2.2 – сурет, а), КС рұқсат етілген деңгейден асқанға дейін, термобиметалдық индикаторлық пластиналар 1 ілмек 2 арқылы өтеді. Визуалды тексеру кезінде индикатордың қалыпты күйі тіркеледі, бұл КС-тің қанағаттанарлық күйін сипаттайды және жөндеуді қажет етпейді.

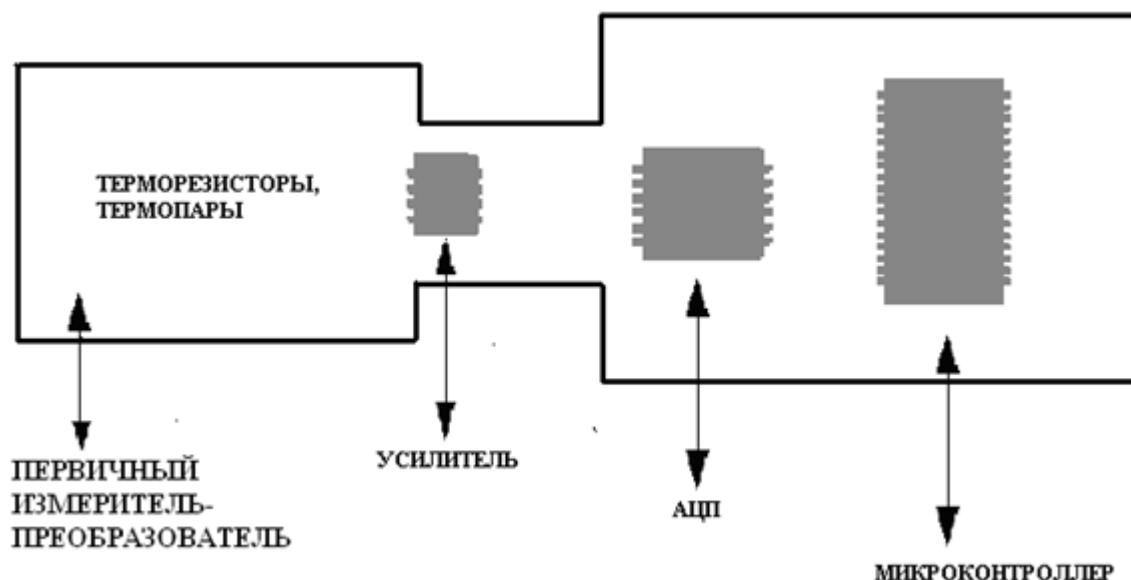
Рұқсат етілген температурадан асқанда, токөткізгіш ұшымен бірге орнатылған қысқыш 3 және индикаторлық пластиналар 1 деформацияланады және енді ілмекпен әрекеттеспейді. Электр жабдығы өшірілгенде (және КС салқындағанда), пластиналар 1 орнына бекітіледі, ал ілмек 2 ажыратылған күйде болады. Бұл жағдай визуалды тексеру кезінде апаттық ретінде тіркеледі.

Бұл жағдайда сезімтал биметалдық элементтің біркелкі қызуы туралы болжам дұрыс емес және қоршаған ортаның температурасының әсерін ескеру қажет. Осыған байланысты, биметалдық сезімтал элементтердің біркелкі емес қызуын табиғи конвекцияны ескере отырып, соңғы элементтер әдісімен сандық модельдеу жүргізілді.

Нәтижесінде, [6, 20] жұмыстары негізінде, авторлар ұсынған конструкцияда КС қызып кету индикаторларын қолдану ұсынылады. Бұл электрқондырғыларды пайдалану ережелерін бұзудан туындаған өрттерден келетін материалдық шығындарды азайтуға, сондай-ақ электр жабдықтарына техникалық қызмет көрсетуге жұмсалатын еңбек шығынын едәуір қысқартуға мүмкіндік береді.

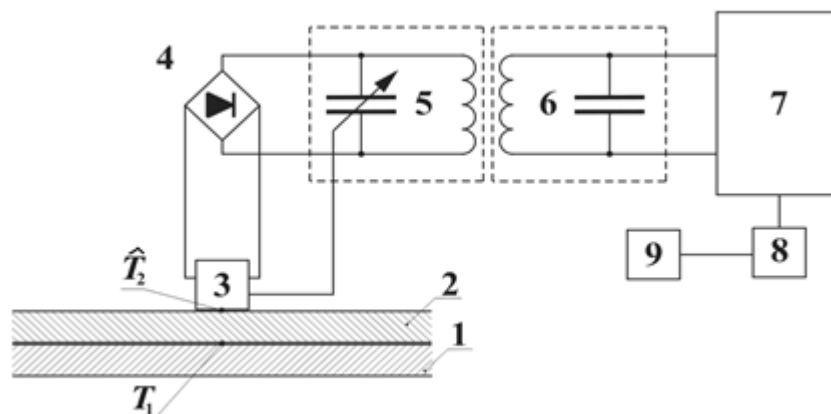
2.3 Контакттық қосылыстардың интеллектуалды температуралық бақылауы

Қазіргі уақытта сандық жүйелер сенсорлардың шығыс деректерін өңдеуде микропроцессорлық техниканың арзандауына байланысты AVR немесе PIC18 сериялы 8-биттік микроконтроллерлерге негізделген [21]. Кез келген интеллектуалды датчикті өлшеу схемасына аналог-сандық түрлендіргішті (АЦП) қосу және микроконтроллерді бағдарламалау арқылы қолдануға болады [22]. Интеллектуалды датчиктің негізгі компоненттері (сезімтал элемент, құралдық күшейткіш, АЦП және микроконтроллер) 2.3 – суретте көрсетілген.



2.3 – сурет - Интеллектуалды температура датчиктерінің негізгі элементтері [23]

Жоғары кернеулі ажыратылатын контактілі қосылыстары бар жинақы тарату құрылғыларының температураны бақылау үшін микропроцессорлық құрылғысы ұсынылған [1]. Бұл құрылғы кернеу астында тұрған симметриялық термиялық байланысқан контактінің ашық бетіндегі өлшенген температураны тікелей өлшеуге қиын ішкі контакт бетінің температурасына түрлендіру әдісін жасау негізі бола алады (2.4 – сурет).

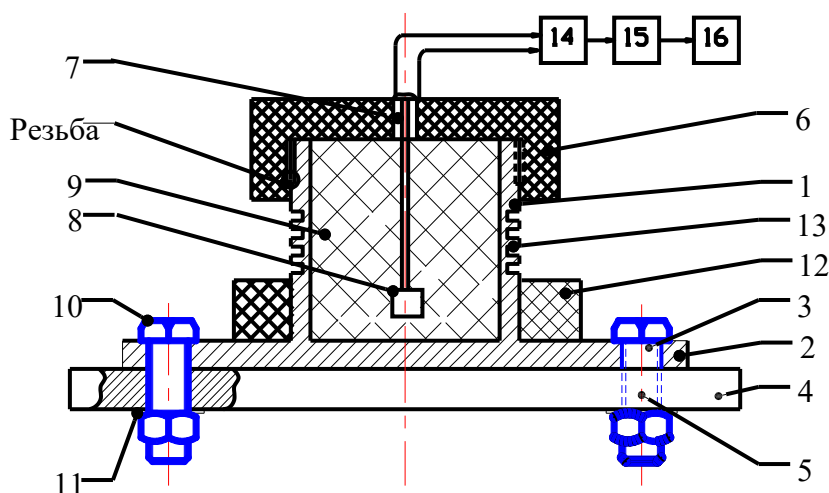


1,2- контакт-детальдер; 3- температура датчигі; 4- түзеткіш; 5,6- резонанстық магниттік байланысқан тербелмелі контурлар; 7- айдау генераторы; 8 - АЦТ; 9- микроконтроллер

2.4 – сурет - Жоғары кернеулі ажыратылатын контакттық қосылыстардың контакт бетінің температурасын бақылайтын микропроцессорлық құрылғы

Температура датчигін қоректендіру үшін 5-тербелмелі контурда пайда болатын кернеу қолданылады. Ол үшін контур тізбегіне түзеткіш 4 және кернеу тұрақтандырғышы қосылады. Энергия генератор 7 және контур 6 арқылы беріледі. Контурлардың резонанстық жиілікке келтірілуі температура датчигіне энергияны тиімді жеткізуге мүмкіндік береді. Контурлардың өлшемдері мен олардың өзара орналасуы, бір жағынан, екінші контурды жоғары кернеуден электрлік оқшаулауын қамтамасыз етуі керек, ал екінші жағынан – температура датчигін қоректендіру үшін жеткілікті байланыс коэффициентін қамтамасыз етуі тиіс.

Кернеу астында тұрған шинаның бетіндегі температураны өлшеу үшін қарапайым құрылғы жасалды, ол 2.5 – суретте көрсетілген [2].



2.5 – сурет - Электр кернеуінде тұрған беттің температурасын өлшейтін құрылғы (интеллектуалды термокедергі)

2.5 – суретте 1-металл корпус түріндегі шыныдан жасалған құрылғы көрсетілген, оның төменгі бөлігі негізгі диаметрден 2 есе үлкен және 4-шинаға бекіту үшін арналған 3-бекіту тесігі бар. 5-бұрғыланған тесіктер арқылы орнатылады. 3-корпус үстінен фторопластан жасалған ішкі бұрандалы 6-қақпақпен жабылады, бұл бұранда стаканның жоғарғы бөлігінде кесіледі. 6-қақпақта жылу кедергісінің өткізгіштері өтетін 7-тесіктер бар. 1-корпус парафинмен 9 құйылады, ол төгілмейтін түрде қатайған. 7-қақпақ тесіктері сіңдірілген құраммен жабылған (көрсетілмеген). 10-болт құрылғыны 4-шинаға бекіту және 1-корпустың төменгі бөлігін шинамен тығыз жанастыру үшін қолданылады. Бұрандалы қосылыстар 11-шайбалармен нығайтылған. Корпустың төменгі жағындағы шыны және 8-жылу кедергісі орналасқан бөлігі цилиндрлік 12-жылу оқшаулау қабатымен сыртқы ортадан оқшауланған. Қалған бүйірлік беттері – қоршаған ортамен жылуалмасуды жақсарту үшін тікбұрышты саңылаулармен жабдықталған. 8-жылу кедергісінің стакан қабырғалары мен түбінен белгілі бір қашықтықта

орналасуы парафиннің қажетті диэлектрлік беріктігін қамтамасыз етеді. Жылу кедергісінің қысқыштары түзеткіш күшейткіш 14-тің кірісіне жалғанған. Күшейткіштің шығысы АЦП 15 кірісіне, ал АЦП шығысы микроконтроллер 16 кірісіне жалғанады.

Металл шыны 1 (2.5 – сурет), оның осінде 8-термиялық кедергісі парафинмен 9 толтырылған, алдын ала кернеуден ажыратылған 4-шинаға орнатылады. Корпус 10-вандалға төзімді болттармен қысылып, жылу оқшаулағышпен қоршаған ортадан ішінара оқшауланады. Бүйірлік беттің жылуды таратуы 13-ауданы арқылы өтеледі. 7-жылу өткізгіштерінің шығу жолы герметикалық тығыздалады. 14-қалыптастырушы күшейткіш арқылы жылу кедергісі сымдары АЦП 15-ке, ал ол микроконтроллер 16-ға жалғанады. 4-шина электр желісіне жалғанған.

Электр тогы 4-шина арқылы өткен кезде, жақсы жылу өткізгіштікке ие металл 2 арқылы жылу 1-корпусқа өтеді, кейіннен оның қабырғалары арқылы қоршаған орта мен парафинге таралады. Қалыңдығы δ парафин қабаты арқылы (диэлектриктің электр беріктігі 25 кВ/мм деп көрсетілген) жылу 8-термисторға өтеді. Бұл элементтен электр тогы өткен кезде кернеу түсуі байқалады (ток көзі көрсетілмеген), оның мәні температураға пропорционалды.

2.1 - кесте – Материалдардың электрлік беріктігі

Материал	Епр, кВ/мм
Парафин	25
Плексиглас	18
Полистирол	30
Полиэтилен	40
Слюда	100
Әйнек	25
Фарфор электротехникалық	20

Термиялық кедергінің қысқыштары 14-түзеткіш күшейткішке, содан кейін 15-АЦП және 16-микроконтроллерге жалғанады, онда кернеу астындағы бет температурасы арнайы формула бойынша есептеліп, сәйкес код қалыптастырылады.

2.4 Тепловизорлық бақылау

Физикалық объектінің жылу картасын түсіруге және көрсетуге арналған құрылғылар тепловизорлар деп аталады. Жылу таратқыштарды (радиаторларды) жасау теориясы кейбір заттардың (материалдардың) 0,75-тен 1000 мкм-ге дейінгі электромагниттік сәулеленудің әсерінен электрлік қасиеттерін өзгерту қабілетіне негізделген (ИК – спектрлік диапазон). 1800

жылы ағылшын ғалымы В. Гершель инфрақызыл сәулеленуді температурасы абсолюттік нөлден жоғары кез келген материалдық объект тарататынын анықтады.

Радиатордың негізгі элементтері. Қарапайым радиатор инфрақызыл сәулеленуді қабылдағыштан (IRR), объектіге бағытталған сезімтал элементтен және объектінің жылу картасын (термограмма) талдауға қолайлы формада көрсетуге арналған өңдеу (күшейту) құрылғысынан тұрады.

Термограмма алу тәсіліне қарай тепловизорлар сканерлерге және радиаторларға бөлінеді. Жылулық сканерлерде бір ғана сезімтал элемент болады, оған сканерлеу жүйесі объектінің элементтерінен инфрақызыл сәулеленуді (IRR) берілген алгоритм бойынша бағыттайды да, алынған сигналдардың мәндерінен матрица жасайды. Тепловизиялық сканердің сезімтал элементі әртүрлі технологиямен жасалуы мүмкін. Радиаторларда көптеген сезімтал элементтер бір негізде – матрицада (160x120, 320x240 немесе 640x480) орналасады. Әрбір элемент объектінің беткі ауданына түскен ИК-сигналдың мөлшеріне байланысты шығыс сигналының деңгейін қалыптастырады. Матрицалардың сезімтал элементтері әртүрлі технологияларды пайдаланып жасалуы мүмкін.

Инфрақызыл қабылдағыштар. Сезімтал элемент түріне байланысты ИК-қабылдағыштар келесі түрлерге бөлінеді:

- болометрлік;
- пироэлектрлік;
- термоэлектрлік;
- фотондық.

Қазіргі заманғы тепловизиялық құрылғыларда болометрлік және фотондық ИК-детекторлар қолданылады. Болометр – бұл жылу ағынының әсерінен қарсылығы өзгертін резистор. Болометрлік матрицалар қарапайым болометрлерден тұрады. Кеңінен қолданылатын болометрлік матрицалар ванадий оксиді мен аморфты кремний негізінде жасалады. Мұндай матрицалар салқындатуды қажет етпейді. Бұл матрицалардың спектралдық сезімталдығы 1-ден 14 мкм-ге дейінгі диапазонда бірдей.

Болометрлік матрицалар параметрлердің біртектілігіне және кәдімгі микроболометрлік элементтердің сипаттамаларына ие, бірақ оларда сипаттамалардың сызықтық еместігі, шу деңгейінің жоғары болуы және фотондық детекторлармен салыстырғанда төмен детекция қабілеті байқалады. Микроболометрлік матрица негізіндегі жылу камераларының кескін сапасын едәуір жақсарту үшін арнайы алгоритмдер қажет: калибрлеу, центрлеу, жинақтау, матрицадағы ақаулы элементтерді ауыстыру, шуды өтеу және контрастты арттыру. Сонымен қатар, өздігінен пайда болатын жылулық сәулеленуді өтеу және өлшенген мәндерді өңдеу үшін арнайы құралдар қажет.

Болометрлердің уақыттық тұрақтылығы 10^{-1} –ден 3^{-3} секундқа дейінгі аралықта өзгереді (аморфты кремний негізіндегі матрицаларда – төмен, ванадий оксиді негізіндегілерде – жоғары). Сондықтан микроболометрлік

матрица негізіндегі радиатордың өлшеу қасиеттері нақты өндірушінің бағдарламалық және аппараттық шешімдеріне тікелей байланысты. Микроболометрлік матрицалардың сезімталдық шегі $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ құрайды. Кейбір өндірушілер бұл сезімталдық деңгейін оны анықтау әдісінің дұрыстығымен түсіндіреді.

Салқындатуды қажет етпейтін микроболометрлік матрицалардың негізгі артықшылығы – салқындатқыштың болмауы және қолдану аясындағы спектралдық сезімталдығының біркелкілігі. Фотоэлектрлік эффект негізіндегі, коммерциялық тұрғыдан қызығушылық тудыратын рецепторлар негізінен индий сурьмасы (InSb), кадмий-сынап-теллур (HgCdTe), HgTeCa және PbSe негізінде өндіріледі. Рецепторлар InSb және PbSe үшін 3–5 мкм диапазонында, ал HgTeCa рецепторлары үшін 8–14 мкм диапазонында жұмыс істейді. Индий сурьмасы коммерциялық тепловизорларда жиі қолданылады. Мұндай қабылдағыштарды жұмыс кезінде шамамен 70 K температураға дейін салқындату қажет. Қазіргі таңда 320x240 пиксельді элементтері бар салқындатылатын матрицалар шығарылады.

Фотоэлектрлік эффект негізіндегі қабылдағыштардың басты кемшілігі – оларды төмен температураға дейін (әдетте сұйық азотты пайдалану арқылы) салқындату қажеттілігі, бұл оларды қашықтағы аймақтарда пайдалануға белгілі бір шектеулер қояды. Мұндай қабылдағыштардың спектралдық сезімталдығы болометрлік деңгейден 1–2 есе жоғары болғанымен, оларда ең жоғары сезілетін сезімталдық шегі тар спектрмен шектеледі. Фотоэффектке негізделген қабылдағыштардың уақыт тұрақтылығы 10^{-15} -тен 10^{-6} секундқа дейінгі аралықта, сондықтан олар қозғалатын объектілердің термографиясы үшін қолайлы.

Сезімталдығы төмен болғанына қарамастан, салқындатусыз жұмыс істейтін микроболометрлік матрицалар жылу көру жүйелерінде кеңінен қолданылады.

Қоршаған ортаның жылу көру жүйесіне әсері. Тепловизор адам қызметінің барлық салаларында объектінің температура ауытқуларын анықтауға мүмкіндік беретін құрылғы ретінде қолданылады. Жылу экстракторлары (тепловизорлар) ең кең таралған қолдану аясын мына салаларда тапты: энергетика, мұнай және газ, электрмен жабдықтау, машина жасау, металлургия, құрал-жабдық өндірісі, құрылыс, тау-кен және тамақ өнеркәсібі, медицина және қауіпсіздік.

Алайда объективті сандық деректер алу үшін өлшеулер нақты нұсқаулықтарға сәйкес, объектінің ерекшеліктері мен түсіру жағдайларын ескере отырып жүргізілуі тиіс. Атап айтқанда, су буы (H_2O), көмірқышқыл газы (CO_2) және атмосфералық озон (O_3) оптикалық сәулеленуді айтарлықтай жұтады (бәсеңдетеді), әрі қабылданатын сигналдың әлсіреуінің сандық тәуелділігі әрбір тепловизор үшін жеке болады.

Сонымен қатар, атмосфералық ауа да инфрақызыл сәулеленуді едәуір жұтады, бірақ оның "мөлдір" деп аталатын терезелері бар, яғни бұл

диапазондарда жұту қабілеті өте төмен. Бұл мөлдірлік терезелер келесі толқын ұзындықтарында орналасқан:

- 0,4–1,0 мкм,
- 1,2–1,3 мкм,
- 1,5–1,8 мкм,
- 2,1–2,5 мкм,
- 3–5 мкм,
- 8–13 мкм.

Соңғы екі диапазон ең кең практикалық қолданыс тапқан. Әртүрлі спектралдық сезімталдыққа, көру бұрышына, айқындығына және оптикалық жүйеге ие жылу қабылдағыштар әртүрлі тапсырмаларды шешу үшін, объектінің қасиеттерін және бақылау жағдайларын ескере отырып қолданылады.

Жылу көру техникасында 3–5,5 мкм диапазоны қысқа, ал 7–14 мкм диапазоны ұзын толқындар деп саналады. Бұл толқын ұзындықтары диапазоны қоршаған орта температурасында көпшілік физикалық объектілердің жылулық сәулеленуіне сәйкес келеді. Осы 7–14 мкм диапазонында қауіпсіздік және бақылау саласындағы жылу көру жүйелері ең тиімді жұмыс істейді.

Алайда, жарықтануы жоғары және мөлдірлігі жоғары нысандардың термографиясын жүргізу кезінде бұл диапазонда жылу өрістерін өлшеуде едәуір қателіктер болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда 3–5 мкм диапазонында жұмыс істейтін ИҚ-өлшеу аспаптарының 8–14 мкм диапазонында жұмыс істейтін құралдармен салыстырғанда артықшылықтары бар.

3–5 мкм қысқа толқынды диапазондағы өлшеулер қоршаған ортаға, температураның өзгеруіне және сәуле шығаруы төмен объектілерге аз сезімтал болады, өйткені бұл диапазонда дифференциалды сезімталдық 8–12 мкм диапазонымен салыстырғанда 2,2 есе жоғары. Бұл көптеген температуралық диапазондарға қатысты.

Сонымен қатар, қысқа толқынды диапазонда жұмыс істейтін құралдарды таңдау кезінде көмірқышқыл газының жылулық сәулеленуді өте күшті сіңіретінін ескеру қажет. Осы диапазонда 3–5 мкм диапазонындағы терезені қатты сәуле шығаратын және қызып тұрған денелерді анықтау үшін қолдану тиімді (мысалы, көмірқышқыл газының жолағы немесе жану өнімдері шыққан кезде).

Радиатордың негізгі техникалық сипаттамалары. Радиаторлар ауқымы өте әртүрлі және қарқынды дамуда. Қазіргі уақытта жылу жабдықтарын электрмен жабдықтау тұрғысынан тексеру, жылу желілеріндегі жылу ағып кетуін анықтау, газдың ағып кетуі мен мұнай төгілулерін іздеу, ғимараттардың қоршау конструкцияларының жылу қорғау деңгейін диагностикалау, машиналар мен механизмдердің корпустарындағы ақауларды анықтау, медициналық мақсаттар, зерттеу және басқа салаларда қолданылады.

ТМД елдерінде жылуалмастырғыштардың қолдану саласы кеңейіп келеді. Қазіргі таңда әлемдік нарықта жылу түсіру өнімдерінің қатары едәуір кеңейді. Әртүрлі салада қолдануға арналған жылу камералары пайда болды. ТМД нарығында келесі өндірушілердің жылу камералары кеңінен қолданылады:

- FLIR Systems (Швеция);
- TESTO AG (Германия);
- IRISYS, InfraRed Integrated Systems Ltd. (Ұлыбритания);
- LAND, Land Instruments International (Ұлыбритания);
- NEC Avio Infrared Technologies Co. Ltd. (Жапония–АҚШ);
- SATIR SAT Infrared Technology Co. LTD (Гуанчжоу, матрицалар ULIS Франция).

Айта кету керек, инфрақызыл сәулеленуге сезімтал интегралдық элементтерді (микроболометрлер) өндіру жоғары технология мен ғылыми зерттеуді қажет ететіндіктен, мұндай элементтерді өндіру және жаңасын әзірлеуге қабілетті компаниялар саны аз.

Микроболометрлік матрицаларды әртүрлі технологиялармен өндіру келесі компаниялармен қамтамасыз етіледі:

- DRS Technologies – ванадий тотығы негізінде (АҚШ);
- FLIR Systems – ванадий тотығы және индий антимониді негізінде (АҚШ–Швеция);
- Raytheon – ванадий тотығы және аморфты кремний негізінде (АҚШ);
- ULIS – аморфты кремний негізінде (Франция);
- BAE Systems – ванадий тотығы негізінде (Ұлыбритания).

Жылу камерасын пайдаланудың тиімділігі оның нақты техникалық сипаттамаларға сәйкес келетін үлгісін немесе модификациясын таңдауға байланысты. Дәстүрлі түрде радиаторлардың сипаттамалары үш топқа бөлінеді: техникалық, қызметтік және конструктивтік.

Конструктивтік сипаттамалар. Конструктивтік ерекшеліктерге кез келген радиатор түріне міндетті болып табылатын сипаттамалар жатады:

1) Матрица / детектор түрі – жылдамдық пен сезімталдықты анықтайды;

2) Матрица өлшемі – элементарлық болометрлер саны мен IFOV көрсеткішін жанама түрде сипаттайды

3) Горизонталь және вертикаль бойынша көрінетін оптикалық өріс (FOV – field of view) – радиатордың объектіге қатысты орналасуына байланысты алынған жылу кескініне сәйкес келетін объектінің нақты өлшемдерін есептеуге мүмкіндік береді;

4) Фокус арақашықтығы – нақты термограмма алу үшін объектіге дейінгі минималды арақашықтықты көрсетеді (стандарт – 0,1 немесе 0,3 м);

5) Кеңістіктік ажыратымдылық – температураны бір пиксель бойынша өлшеуде ешқандай орташа мән қолданбай, «бір пиксельге» сәйкес келетін нысан бетін сипаттайды (пиксель көретін денелік бұрыш). Бұл параметр радиатордың алыстан ұсақ объектілерді ажырату қабілетін сипаттайды және

инфрақызыл камера матрицасындағы әрбір элементтің көру өрісі ретінде қарастырылады. Матрица өлшемі мен оптикалық өріске (FOV) байланысты IFOV тәуелділігі төмендегі 2.2-кестеде көрсетілген;

6) Матрицаны салқындату – салқындатылатын матрицалар жоғары температуралық сезімталдыққа ие, бірақ оларды мерзімді түрде сұйық азотпен толтырып отыру қажет, ал салқындатылмайтын түрлері жұмысқа тез дайын күйде болады;

7) Температураны өлшеу диапазоны, °C – жұмыс диапазоны объектінің ең жоғары температурасынан кем дегенде 25% артық болуы тиіс. Жоғарғы шегі кемінде 200 °C болуы керек. Бұл параметр электроқұралдарды басқаруда маңызды рөл атқарады;

8) Температуралық сезімталдық шегі – матрицаның (детектордың) ішкі шуы сипатталады және объект мен оның фоны арасындағы минималды температура айырмасын анықтайды. +30 °C кезінде кемінде 0,1 °C болуы қажет. Көптеген құрылғылар осы талапқа сай келеді;

9) Температураны өлшеу қатесі – радиатордың интегралды сипаттамасы болып табылады және сигналды өңдеу әдісіне байланысты. Көптеген изоляцияланбаған матрицалары бар радиаторларда $\pm 2\%$ шегінде;

10) Кадр жаңарту жиілігі, кадр/сек – бұл радиатордың секундына түсіретін бейнелер санын сипаттайтын маңызды сипаттама. Қазіргі заманғы радиаторлар 9 Гц немесе 50 (60) Гц екі жиіліктің бірін пайдаланады. Түсірілетін объектінің жылулық сипаттамаларына байланысты 9 Гц «баяу» немесе 50 Гц «жылдам» режимі таңдалады. Жылдам жаңарту динамикалық жылулық үдерістерді, сондай-ақ автокөлікпен немесе тікұшақпен түсіру кезінде қажет болады;

11) Объектив түрін тану – кейбір камералар қысқа, ұзын немесе стандартты объективтерді автоматты түрде тану мүмкіндігіне ие; Фокус режимі – қолмен немесе автоматты. Қолмен фокус реттеуі бар камераларды қолдану ұсынылады, себебі бұл моторлы фокустан жылдамырақ, біркелкі әрі сенімді жұмыс істейді, сондай-ақ камераның қуат тұтынуын азайтады. Мұндай жүйелер кәсіби фототехникада кеңінен қолданылады;

12) Сыртқы факторларды автокомпенсациялау – сыртқы факторлар өлшеу нәтижесіне қателіктер енгізуі мүмкін, сондықтан жылу шығару деңгейін қолмен түзету қиын. Радиатордың жұмыс тиімділігіне қоршаған орта температурасы, ылғалдылық және объектінің сәуле шығаруы әсер етеді. Қазіргі радиаторлар автоматты түрде қоршаған орта температурасын қалпына келтіру, объектінің сәулелену қабілетін 0,20–1,00 диапазонында (қадам 0,01) орнату және ылғалдылықты компенсациялау жүйесімен жабдықталған. (Өсіресе 8–14 мкм диапазонында ылғалдылық маңызды рөл атқарады);

13) Бағыттау жүйесі – объектіні таңдауды және басқаруды жеңілдетеді. Көптеген жылу камералары бұл мақсатта 1 мВт / 635 нм, қызыл түсті, 2-сыныпты AlGaInP жартылай өткізгіш диодты лазерді қолданады (төмен

куатты жүйе), сондықтан лазер сәулесіне кездейсоқ қараған кезде тікелей қауіп төндірмейді.

2.2 - кесте – IFOV-тың матрица өлшемдері мен көру өрісімен (FOV) байланысы

Матрица FVO, градус	160x120	320 x 240	640 x 480
20 x15	2,18мрад	1,09 мрад	0,54 мрад
24 x 18	2,6 мрад	1,3 мрад	0,65 мрад
32 x 24	3,4 мрад	1,7 мрад	0,87 мрад

Қызметтік сипаттамалар. Радиаторды пайдалану ыңғайлылығы мен қарапайымдылығын қамтамасыз ететін дәстүрлі негізгі қызметтік функциялар фирмалық бағдарламалық жасақтама арқылы іске асырылады. Бұл бағдарламалық жасақтама тікелей жылукамераның жадысына орнатылады немесе қосымша магниттік не оптикалық тасымалдағышта беріледі. Төменде өлшеу кезінде пайдаланушыға ұсынылатын кейбір қызмет түрлері көрсетілген, атап айтқанда:

- изотермиялық функция – аралық, максимум, минимум;
- желілік профиль функциясы;
- температураның эталондық мәні;
- шық нүктесі мен жылуоқшаулау бұзылуының сигнализациясы;
- аймақтағы ең жоғарғы температура;
- бөлмедегі ең төменгі температура;
- аймақтағы орташа температура;
- екі өзгермелі өлшеу нүктесі;
- ең жоғары және ең төменгі температураларды автоматты түрде іздеу;
- екі нүкте арасындағы температура айырмасы;
- таңдалған палитрада ИҚ кескінін қарау;
- толық реттелетін ИҚ-аймақпен «Сурет ішінде сурет» режимі;
- температура диапазонынан жоғары және төмен ИҚ және бейне кескінді біріктіру режимі.

Айта кету керек, әртүрлі деректерге сәйкес ТМД елдерінде жылукамера нарығының 70–80%-дан астамы FLIR Systems компаниясының өнімдеріне тиесілі. Бұл компания әртүрлі серияларға жататын көптеген модельдерді шығарады. Атап айтқанда, келесі жылу радиаторы модельдері кеңінен танымал:

- InfraCAM радиаторы;
- Т сериялы жылуалмастырғыштар;
- Е сериялы жылытқыштар;
- В сериялы жылуалмастырғыштар;
- Р сериялы радиаторлар;
- А сериялы жылытқыштар;

- GasFindIR радиаторы;
- Ғылыми-зерттеу жылытқыштары;
- FLIR i5 радиаторы.

Т сериялы жылуалмастырғыштар зауыттарда, фабрикаларда және басқа да өндірістік нысандарда ақауларды анықтау құралы ретінде пайдаланылады. CIS сериялы жылу генераторлары келесі үлгілерде шығарылады: FLIR T200, FLIR T250, FLIR T360, FLIR T400.

Е сериялы жылытқыштарды компания инфрақызыл термография саласындағы маман ретінде емес, температураны бақылау, жабдық ақауларын анықтау, апаттардың және өндірістік үзілістердің алдын алу міндеті жүктелген техникалық мамандарға арналған күнделікті қолдануға ыңғайлы жылытқыштар ретінде сатады. ТМД нарығында келесі Е сериялы жылытқыш түрлері бар: ThermaCAM E45, ThermaCAM E300, ThermaCAM E320.

В сериялы жылукамералар зақымдарды анықтауға, оқшаулауды қалпына келтіріп жөндеуге, желдету және ауа баптау жүйелерін нақты құжаттауға мүмкіндік береді. Камералар ақауды нақты көрсетіп, жөндеудің дұрыстығын растауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл құрылғылар құрылыс мамандарының қызмет аясын кеңейтіп, клиенттерге жоғары деңгейдегі қызмет көрсетуге мүмкіндік береді. ТМД елдерінде кеңінен ұсынылатын В сериялы жылуалмастырғыштар: FLIR B200, FLIR B250, FLIR B360, FLIR B400, FLIR B20, FLIR B4, FLIR B2, FLIR BCAM, FLIR BCAMSD.

Р сериялы жылукамералар – қазіргі таңда нарықтағы ең жетілдірілген және дәл инфрақызыл камералар. FLIR-дің Р сериялы инфрақызыл камералары – кәсіби жылулықты өлшейтін мамандарға арналған заманауи құрал. Бұл серия – инфрақызыл технологияның артықшылықтарын білетін және өз жұмысында ИҚ-камераларды қолдануға сенетін пайдаланушылар үшін тамаша шешім. ТМД нарығында ұсынылатын Р сериялы жылытқыш үлгілері: ThermaCAM P620, ThermaCAM P640, ThermaCAM P65, ThermaCAM P45, ThermaCAM P65HS, ThermaCAM P25LE, ThermaCAM P640HD.

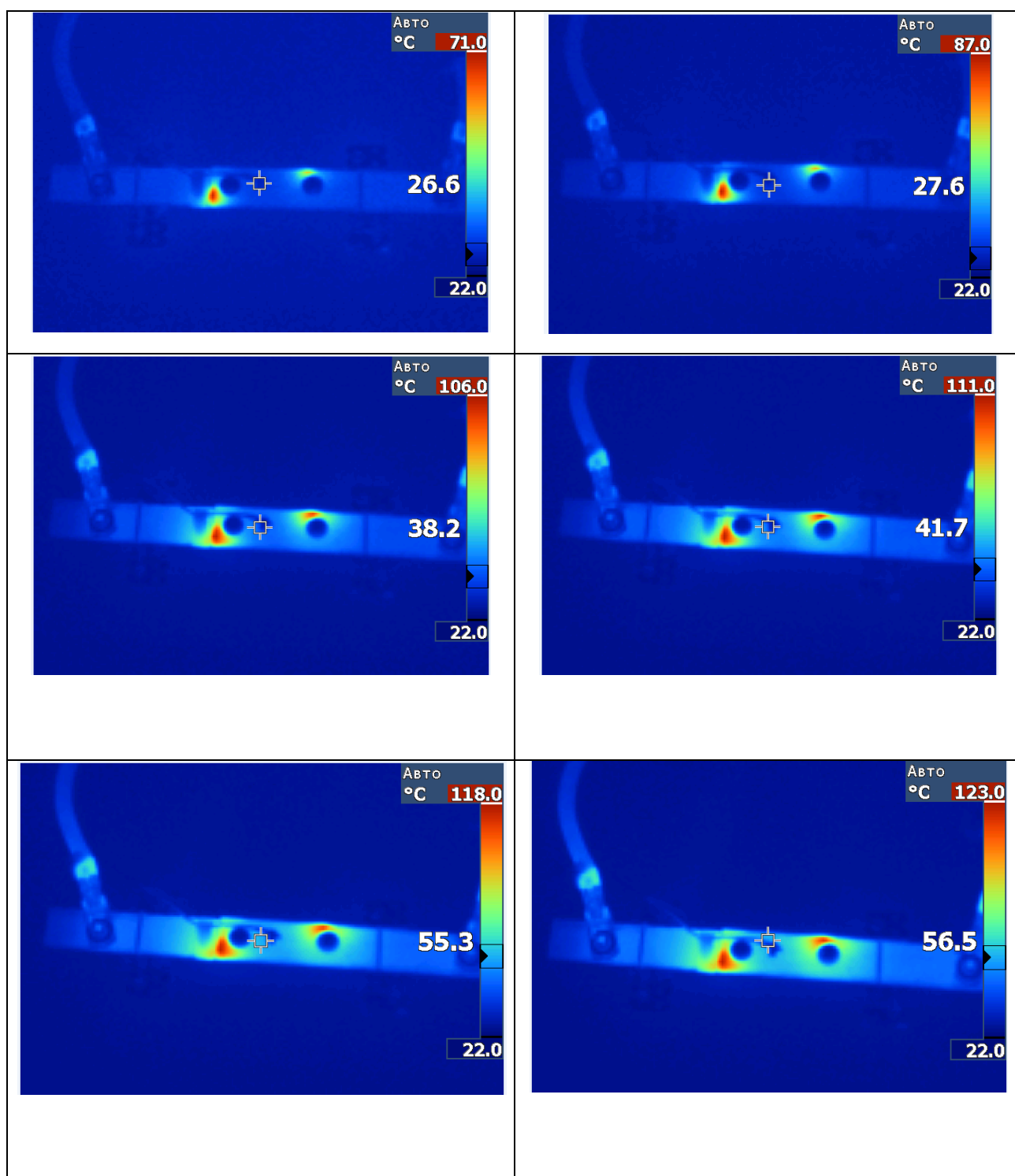
А сериялы жылуалмастырғыштар – дәл және жанаспайтын температура өлшеуді талап ететін өнеркәсіптік және өндірістік автоматтандыру қолданбалары үшін өте жақсы шешім. ТМД елдерінде қолжетімді А сериялы жылытқыш түрлері: FLIR A325, FLIR A320, ThermoVision A40M.

GasFindIR радиаторы – құбыр желілерінің үлкен аумақтарын жоғары жылдамдықпен қарап шығуға және нақты уақыт режимінде газдың ағып кетуін анықтауға мүмкіндік беретін арнайы инфрақызыл камера. Ағып жатқан жерлер «түтін» түрінде көрсетіледі. Бұл сериядағы радиаторлардың ерекшелігі – салқындатылатын матрицаны қолдануы, бұл оқшауланбаған матрицамен салыстырғанда жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді. ТМД нарығында келесі жылуалмастырғыш үлгілері ұсынылған: GasFindIR, GasFindIR HSX, GasFindIR CO, GasFindIR – LW, FLIR GF309, FLIR GF320.

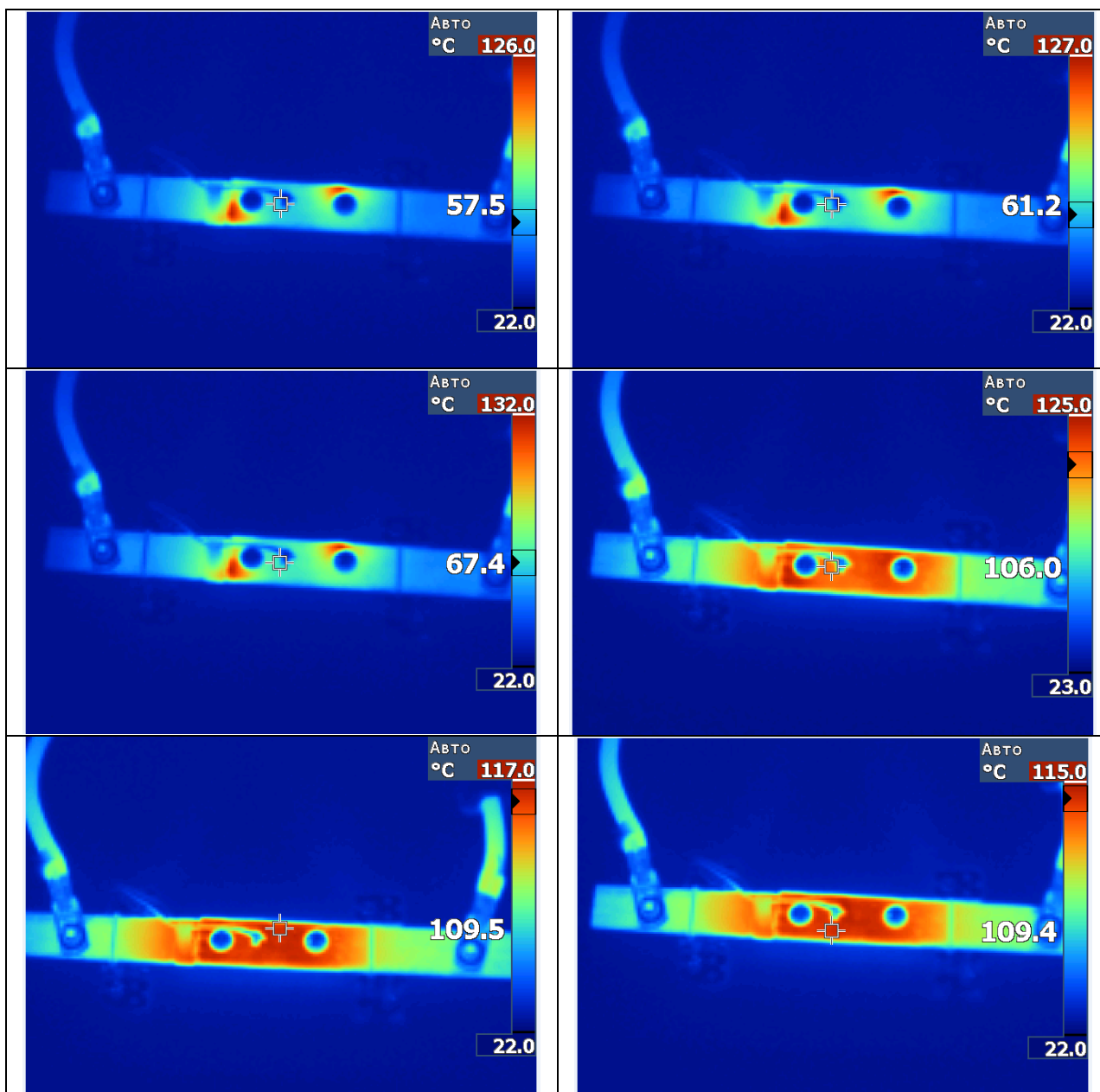
Ғылыми-зерттеу мақсатында қолдануға арналған жылукамералар: ТМД нарығында келесі түрлері ұсынылған: FLIR SC7000 Orion, FLIR SC7000,

FLIR SC5000, FLIR SC3000, FLIR SC2200S, FLIR SC660, FLIR SC65, FLIR SC620.

FLIR i5 жылукамералары – нарықтағы ең шағын, ең жеңіл және ең қолжетімді инфрақызыл камералар.



2.6 – сурет - Эксперименттік қондырғыда қыздырылған болттық контакттық қосылысты тепловизорлық бақылау нәтижелері



2.6 – сурет - Эксперименттік қондырғыда қыздырылған болттық контакттық қосылысты тепловизорлық бақылау нәтижелері (жалғасы)

Тепловизор әдісі ғылыми негіздегі ең перспективті, технологиялық, ақпараттық және объективті өзін-өзі жою әдістерінің бірі ретінде өзінің тиімділігін дәлелдеді [25,26]. Бұл әдістің келесі артықшылықтары анықталды:

- қолдану аясының кеңдігі;
- қашықтықтан ажырату мүмкіндігі;
- биологиялық қауіпсіздік;
- анық көрініс;
- мобильділік;
- нысандарды іске қоспай-ақ басқару мүмкіндігі;
- аппараттық жүзеге асырудың жеткілікті қарапайымдылығы;

- нысандарды пассивті басқару мүмкіндігі;
- ақау сипаттамаларын анықтау қабілеті;
- ақпараттылық деңгейінің жоғарылығы.

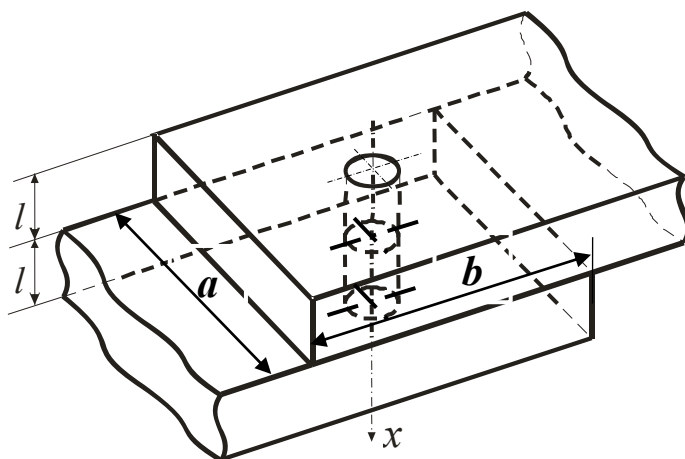
Осылайша, электр жабдығының контактілі элементтерінің температурасын бақылау әдістерінде – ашық контактілі бетінің температурасы бойынша болат қосалқы станцияның қызып кетуін болжауға мүмкіндік беретін деректер негізінде – интеллектуалды ИД ТНП датчигін қолдануға болады.

3 ИД ТНП интеллектуалды датчигінің беріліс функциясы

3.1 Контакттық қосылысты стерженьді жүйе ретінде ұсыну

Жалпы алғанда, бұрандалы компрессорлық станциялардың (КС) қызып кетуін болжау алгоритмін әзірлеу кезінде электромагниттік өрістер мен жылу өткізгіштік бойынша жартылай туындылы дифференциалдық теңдеулерге негізделген модельді қолдану қажет. Бұл біріктірілген жылу және электромагниттік өрістердің өзара байланысын есепке алатын есептеу әдісін қамтиды. Алайда, бұл жағдайда модель микропроцессорлық техникамен жүзеге асырылатын өте қарапайым математикалық сипатта болуы тиіс, сондықтан біз бірөлшемді жылу алмасу моделін қолданамыз. Электрлік параметрлер (өтпелі кедергі мен ток) – жылу көздері ретінде – жылу өткізгіштік теңдеуіне арналған шекаралық шарттардың біріктірілген есептеріндегі жылу көзі формуласында есепке алынады [27].

[28] Мұндай модельді құру барысында біз диаметрі кіші, композиттік материалдан жасалған жұқа өзекті таңдаймыз – ол контактілі материалдардан жасалады (3.1 – сурет).



3.1 – сурет - Контакт-детальдар материалдарынан құрастырылған стерженьді бөліп көрсету

Таңдалған өзек бірдей құрамы бар көптеген өзектермен қоршалған және олар ұзындық бойымен біркелкі орналасқандықтан температураның таралуына сәйкес келеді, сол себепті жылуды бүйір беті арқылы шығару мүмкін емес. Осыған байланысты жылу процесін өзек осі бойымен бағытталған бірөлшемді процесс ретінде қарастыруға болады.

Электрлік контактінің қызуы контакт жазықтығына қатысты симметриялы болады. Симметриялы қосылу жүйесі F 1 және 2 бөліктермен қысу күші арқылы қосылады (3.1 – сурет).

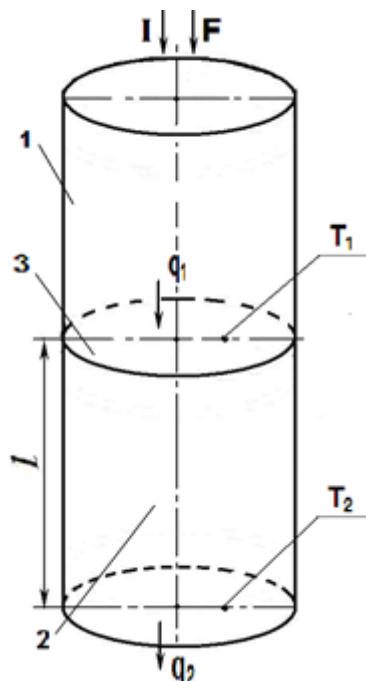
Электр тогы үш электрлік контактiнiң бетiне өткен кезде (3.2 – сурет), жылу энергиясы бөлінеді және бұл жылу ағынының беткі тығыздығын қалыптастырады – q_1 ; ал q_2 – бұл контакт бөлігі ашық беті арқылы өтетін жылу ағыны тығыздығы, ол температураны тікелей өлшеуге мүмкіндік береді. Формула арқылы есептелетін жылу ағынының тығыздығы әсерінен бүкіл қосылу жүйесі қызады (өткізгіштердің көлемінде және қосылу элементтерінің материалында таралатын жылу мөлшері ескерілмейді):

$$q_1 = \frac{I^2 R_k}{2S_{\phi\Pi}}, \quad (3.1)$$

мұндағы R_k – өтпелі контакттық кедергі;

$S_{\phi\Pi}$ – контакттық беттің нақты ауданы ($S_{\phi\Pi} = \eta \cdot a \cdot b$, 3.2-сурет);

η – F қысым күшін және металдың майысуға қарсы уақытша кедергісін ескеретін эмпирикалық коэффициент.



1– бірінші контакттық элемент; 2 – екінші контакттық элемент; 3– жылу шығару аймағы

3.2 – сурет - Стерженьді контакттық жүйедегі жылу процесінің схемасы

Бұл параметрлерді тәжірибелік жолмен анықтау қиын, сондықтан бір ғана параметр – түйіспенің ашық бетінің температурасы – эксперименттік жолмен анықталуы тиіс, ал қалғандары теориялық тұрғыдан ескеріліп, тәжірибелік анықтаудан алынып тасталуы қажет.

Жылу процесінің симметриясына байланысты есептеулерді тек бір ғана контактілі элементті қарастырумен шектеуге болады, мысалы, 2-элементті (3.2-сурет). Біз Джоуль жылуы ретінде бөлінетін энергия айнымалы кедергі бойымен біркелкі таралады және контакт бөліктері арасындағы жылу алмасу өте тиімді деп есептейміз. Жылу процесі бірөлшемді деп қарастырылады және ол таңдалған композициялық өзек осіне сәйкес келетін ОХ осі бойымен төмен қарай бағытталған (3.2 – сурет).

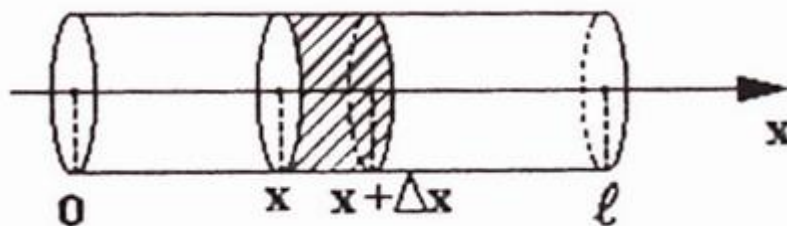
3.2 Стерженьдегі жылудың таралуының математикалық моделі

Стержіндегі жылудың таралуының математикалық моделін (жылу моделін) құру кезінде келесі әрекеттер орындалады:

1) өзек біртекті өткізгіш материалмен – белгілі бір жылу сыйымдылығы c болатын бөлшектермен қосылған;

2) өзектің бүйір беті жылу оқшауланған, сондықтан жылу тек ОХ осі бойымен таралуы мүмкін.

Стерженьнің бір бөлігін қарастырайық – аралығы $[x, x + \Delta x]$ (3.3–сурет) және жылу сақталу заңын қолданайық. $[X, x + \Delta x]$ бөлігіндегі жылудың жалпы мөлшері – бұл ішкі жылу көздері (Джоуль жылуы) арқылы бөлінетін жылу мөлшеріне тең.



3.3 – сурет - Жылу мөлшерін сақтау заңына түсініктеме

Стерженьнің бөлігінің температурасын ΔT -ге арттыру үшін қажетті жылу мөлшері келесі формуламен есептеледі:

$$\Delta Q = c\gamma S \Delta x \Delta T, \quad (3.2)$$

мұндағы c – материалдың меншікті жылу сыйымдылығы (яғни, 1 кг заттың температурасын 1°C -қа арттыру үшін қажет жылу мөлшері),

γ – материалдың тығыздығы,

S – өзектің көлденең қимасының ауданы.

Стержень бөлігінің сол жақ ұшы арқылы Δt уақыт ішінде өтетін жылу мөлшері (жылу ағыны Q_1) мына формуламен анықталады:

$$Q_1 = -\lambda S T_x(x, t) \Delta t, \quad (3.3)$$

мұндағы λ – материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті (яғни, температура айырмасы 1°C болғанда, бірлік ұзындық пен бірлік қима ауданы арқылы 1 секунд ішінде өтетін жылу мөлшері).

Бұл формуладағы минус таңбасы арнайы түсіндіруді қажет етеді. Жылу ағыны x мәні артатын бағытта оң деп есептеледі. Бұл жағдайда x , нүктесінің сол жағындағы температура оң жағындағы температурадан жоғары, яғни $T_x(x, t) = \frac{\partial T}{\partial x} < 0$ болады. Сондықтан Q_1 боң болуы үшін формуладағы минус таңбасы қажет.

Осыған ұқсас түрде, стерженьнің оң жақ ұшы арқылы өтетін жылу ағыны келесі формуламен есептеледі:

$$Q_2 = -\lambda S T_x(x + \Delta x, t) \Delta t. \quad (3.4)$$

Егер стерженьнің ішінде ішкі жылу көздері жоқ деп есептеп, жылу сақталу заңын қолдансақ, онда келесідей теңдеу аламыз:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = \lambda S T_x(x + \Delta x, t) \Delta t - \lambda S T_x(x, t) \Delta t. \quad (3.5)$$

Жылу балансының бұл теңдеуін $S \Delta x \Delta t$ шамасына бөліп, Δx и Δt мәндерін нөлге ұмтылдырсақ, онда:

$$\frac{c\gamma S \Delta x \Delta t}{S \Delta x \Delta t} = \frac{\lambda S [T_x(x + \Delta x, t) \Delta t - T_x(x, t) \Delta t]}{S \Delta x \Delta t} \Rightarrow c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (3.6)$$

Осыдан элементарлық стержень бөлігіндегі біртекті жылуөткізгіштік теңдеуі келесідей түрде жазылады:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (3.7)$$

Егер стержень ішінде $f(x, t)$ тығыздығымен үздіксіз таралған ішкі жылу көздері болса, онда біз келесі біртекті емес жылуөткізгіштік теңдеуін аламыз:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + f(x, t). \quad (3.8)$$

Бастапқы және шекаралық шарттар. Жылуөткізгіштік теңдеуі үшін бір ғана бастапқы шарт беріледі:

$$T(x, 0) = \varphi(x). \quad (3.9)$$

Бұл физикалық тұрғыдан алғанда, стержень бойындағы бастапқы температураның таралуы $\varphi(x)$ функциясы түрінде берілетінін білдіреді.

Шекаралық шарттар ретінде бірінші, екінші және үшінші түрдегі шарттар қолданылады. Бірінші түрдегі шекаралық шарттар – стерженьнің шеттеріндегі температура белгілі. Сол жақ шетінде $\eta_1(t)$:

$$T(0, t) = \eta_1(t), \quad (3.10)$$

Оң жақ шетінде $\eta_2(t)$:

$$T(l, t) = \eta_2(t). \quad (3.11)$$

Екінші түрдегі шекаралық шарттар – стержень шеттеріндегі жылу ағыны белгілі. Сол жақ шетінде $\eta_1(t)$:

$$-\lambda \partial T / \partial x = \eta_1(t), \quad (3.12)$$

Оң жақ шетінде (контакт-детальдің ашық беті) – $\eta_2(t)$:

$$-\lambda \partial T / \partial x = \eta_2(t). \quad (3.13)$$

Егер қоршаған ортамен жылу алмасуды ескермеуге болады деп есептесек,

$$\eta_2(t) = 0, \quad (3.14)$$

онда бұл шарттар біртекті шарттарға айналады.

Физикалық тұрғыда бұл – контакт-детальдің ашық беті арқылы сыртқы ортамен жылу алмасу болмайтынын білдіреді. Бұл жылу оқшаулау шарты деп аталады.

3.3 Беріліс функциясын шығару

Егер ток күшін, контактік кедергіні дәл өлшеуге және нақты контактік бет ауданының мәнін есептеуге мүмкіндік болса, онда болтты контактік қосылыстың контактік бетінің температурасын анықтау мәселесін жылуөткізгіштік теңдеуінің аралас шекаралық есебі ретінде қарастыруға болады. Бұл жағдайда жылулық процестің математикалық моделі келесідей түрде жазылады:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < l, \quad t > 0, \quad (3.15)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_1, \quad x = 0, \quad t > 0, \quad (3.16)$$

$$T(l, t) = T_2(t), \quad x = l, \quad t > 0, \quad (3.17)$$

$$T(x, 0) = T_0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad t = 0, \quad (3.18)$$

мұндағы $T(x, t)$ – контакт-деталь 2 (стержень, 1.2-сурет) ішіндегі температура өрісі); l – контакт-детальдің қалыңдығы;

λ – деталь материалының жылуөткізгіштік коэффициенті;

c – меншікті жылу сыйымдылығы;

γ – тығыздығы;

$T_2(t)$ – контакт-детальдің ашық, тікелей өлшеуге қолжетімді бетінде өлшенген температура;

T_0 – бастапқы температура – стержень ішінде тез өзгеретін жүктеменің жылулық әсерінен бұрын орнаған сызықты төмендейтін температура таралуының орташа мәні.

Енді келесі өлшемсіз айнымалыларды ξ, τ и $\bar{T}(\xi, \tau)$ енгізейік:

$$\xi = \frac{x}{l}; \quad \tau = \frac{\lambda t}{cl^2}; \quad (3.19)$$

$$\bar{T}(\xi, \tau) = [T(x, t) - T_0] / [q_1 l / \lambda], \quad (3.20)$$

Енді (3.15)–(3.18) аралас есебіне сәйкес келетін, контакт элементі 2-нің модельдік стержніндегі жылуалмасуды сипаттайтын өлшемсіз жылуөткізгіштік шекаралық есебін қарастырайық (3.1 – сурет):

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \xi^2}, \quad 0 < \xi < 1, \quad \tau > 0, \quad (3.21)$$

$$-\frac{\partial \bar{T}}{\partial \xi} = 1, \quad \xi = 0, \quad \tau > 0, \quad (3.22)$$

$$-\frac{\partial \bar{T}}{\partial \xi} = 0, \quad \xi = 1, \quad \tau > 0, \quad (3.23)$$

$$\bar{T}(\xi, 0) = 0, \quad 0 \leq \xi \leq 1, \quad \tau = 0, \quad (3.24)$$

Уақыттың үлкен мәндерінде ($\tau > 0,5$) [29] элементтің ашық бетінде ($\xi = 1$) және контакттік бетінде ($\xi = 0$) келесі формулалармен беріледі:

$$\bar{T}(1, \tau) = \tau - \frac{1}{6}, \quad (3.25)$$

$$\bar{T}(0, \tau) = \tau + \frac{1}{3}. \quad (3.26)$$

(3.20)-формулаға контакттік элементтің ашық бетінде өлшенген температура мәні $T_2(t^{(k)})$ (k – өлшеу нөмірі) мен оның өлшемсіз баламасы $\bar{T}_2(t^{(k)})$ қойылады. Осы арқылы өлшемі Вт/м² болатын $q_1(t^{(k)})$ динамикалық параметрдің мәнін есептеу формуласы алынады:

$$q_1(t^{(k)}) = \frac{\lambda}{l} \frac{T_2(t^{(k)}) - T_0}{\bar{T}_2(t^{(k)})}. \quad (3.27)$$

(3.25) және (3.26)-формуларды ескере отырып, әрі қарай (3.20)-формуладағы q_1 параметрді $q_1(t^{(k)})$ динамикалық параметрмен алмастырып, симметриялы электрқосылым жүйесіндегі контакттік беттің температурасын есептеуге арналған есептік формула аламыз::

$$T_1(t^{(k)}) = \Phi(t^{(k)}) (T_2(t^{(k)}) - T_0) + T_0, \quad (3.28)$$

мұндағы

$$\Phi(t^{(k)}) = \frac{1}{1 - \frac{1}{2 \left(\frac{\lambda}{cl^2} t^{(k)} + 1/3 \right)}}. \quad (3.29)$$

(3.28) формуласы келесі шарт орындалғанда жүзеге асады:

$$t^{(k)} > \frac{cl^2}{2\lambda}, \quad (3.30)$$

Бұл – $\tau > 0,5$ шартының салдары.

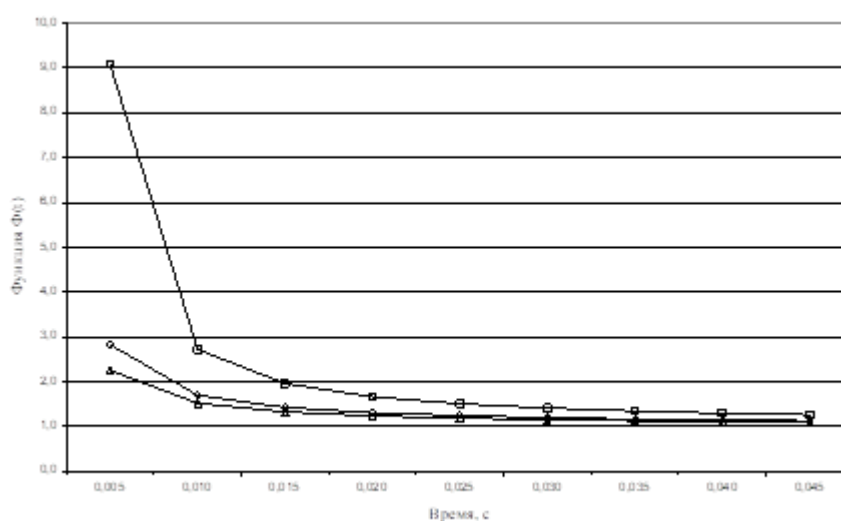
3.4 Беріліс функциясын тексеру

Алынған формуланы тексеру үшін сандық эксперимент жүргізілді. Ашық беттегі 45 мс аралығында өлшенген $T_2(t)$ температура мәндері бойынша, қалыңдығы $l = 0,001$ м (1.1 – сурет) болатын мыс, алюминий және жезден жасалған контакт қосылыстарының контакт беттерінің температура мәндері есептелді. Жылу – физикалық сипаттамалар 3.1 – кестеден алынды.

3.1 - кесте – Контакт-деталь материалдарының жылу-физикалық сипаттамалары [30]

Материал	Жылуөткізгіштік, Вт/(м·К)	Меншікті жылусыйымдылық, Дж/(кг·К)	Тығыздық, кг/м ³
Мыс	400	385	8930
Алюминий	200	880	2700
Жез	150	384	8584

Жездің қасиеттері L96, L90, L85, L80, L70, L68 және L62 маркалары үшін алынған арифметикалық орташа мәндермен қабылданды. Excel бағдарламасында алынған сандық эксперимент нәтижелері 12 және 13-суреттерде көрсетілген. 3.4-суретте зерттелетін материалдар үшін $\Phi(t)$ функциясының графигі келтірілген. Бұл графиктен $t > 20$ мс мәндері үшін (15)- есептеу формуласында $\Phi(t)$ орнына 20–45 мс аралығындағы орташа мәндерді қолдануға болатыны көрінеді: мыс үшін — 1,34, алюминий үшін — 1,46 және жез үшін — 1,49.



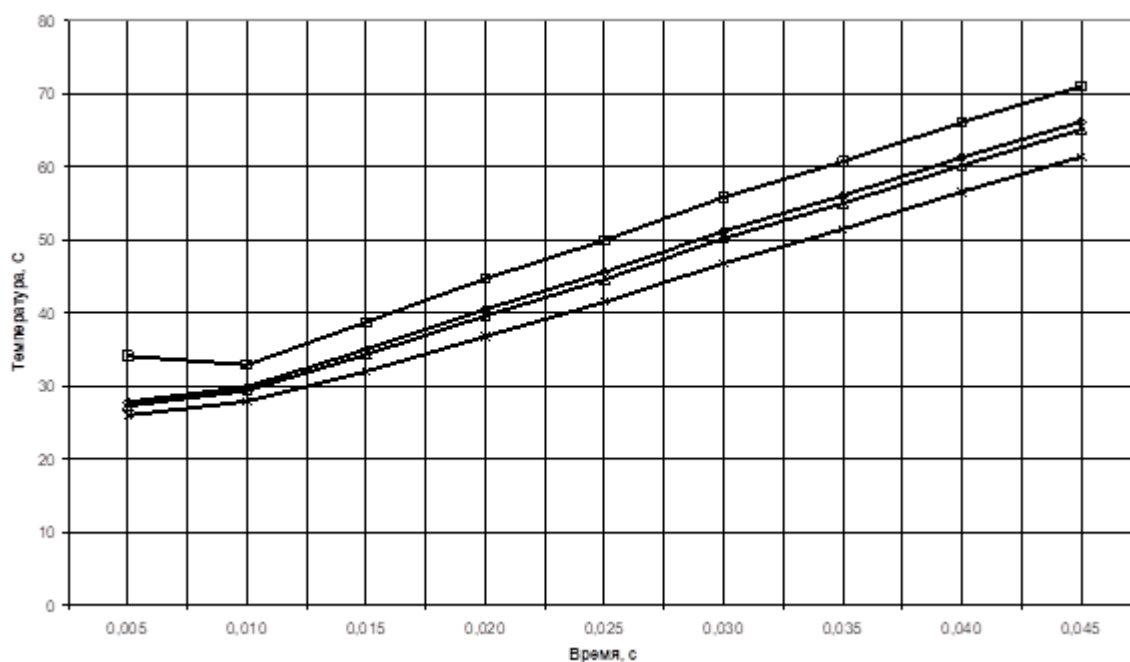
□- жез; ◇- алюминий; Δ- мыс

3.4 – сурет - Кенет өзгертін жүктеме әсерінен кейінгі жылу уақытына байланысты $\Phi(t)$ функциясының тәуелділігі

3.4 – суретте қарастырылып отырған материалдар үшін контакттық беткей температурасының уақыттық тәуелділігі көрсетілген. Осы мәліметтерге сүйене отырып, ең жоғары жылу өткізгіштікке ие материалмен контакт жағдайында, ашық контакттық беткей температурасының өлшенген

мәндері бойынша, мыс материалымен контакт айтарлықтай қызуға ұшырайды.

Есептеу формуласы үш өлшемді жылулық үдерісінің математикалық моделіне негізделген. Бұл модель – бір шетінен жылу ағынымен қыздырылатын, жанама беттері жылу оқшауланған және кесілген жіңішке өзекше ретінде қарастырылады. Бұрандалы контакттың контакттық беткейінің температурасын түрлендіру үшін алынған (30) формуласы үнемі өлшеуге болатын және тікелей өлшеуге қиын болатын резьбалық қосылыстың контакттық беткей температурасын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл контакттық кедергіні алдын ала есептемейінше мүмкін емес, себебі контакттық беткейлердің нақты аудандарын жедел бақылау қиын.



×- контакт-детальдың ашық бетіндегі өлшенген температура; □- контакттық беттің температурасы (мыс) ◇- контакттық беттің температурасы (алюминий); Δ- контакттық беттің температурасы (жез)

3.5 – сурет - Өртүрлі материалдар үшін (28) формуласы бойынша контакттық беттің температурасын анықтауға арналған сандық эксперимент нәтижелері

4 Болттық КҚ артық қызуын болжау

4.1 Эксперименттік стенд

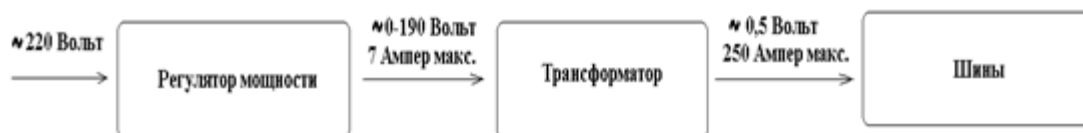
Резьбалық қосылыстардың қызу және қызып кету процестерін зерттеу үшін эксперименттік стенд жасалды (4.1 – сурет), оны топырақтың қиын қолжетімді жерлеріндегі температураны өлшейтін интеллектуалды датчикпен бірге қолдануға болады [21].



1 - қуат реттегіш; 2 - төмендеткіш трансформатор; 3 - болттық контакттық қосылыс; 4- қолжетімсіз беттің термометрі; 5- қолжетімді беттің термометрі

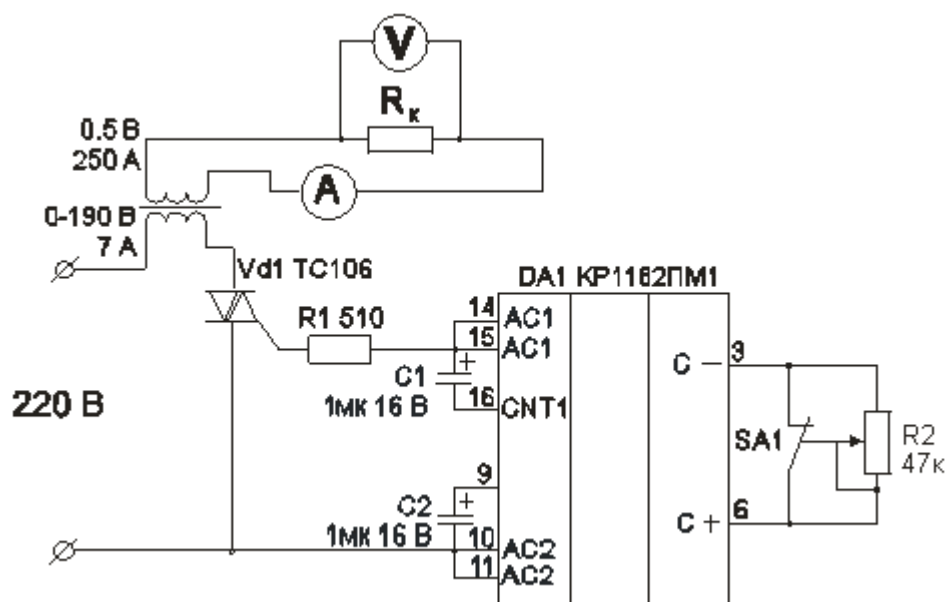
4.1 – сурет - Эксперименттік қондырғының сыртқы көрінісі

Құрылғылар сериясы қуат реттегішінен және аз қуатты трансформатордан тұрады, олардың жетектері болат шиналарға болат коннектор арқылы қосылған (4.2 – сурет).



4.2 – сурет - Стендтің блок-схемасы

Эксперименттік стендтің принципіалдық сызбасы 4.3 – суретте көрсетілген.



4.3 – сурет - Стендтің принципіалдық сызбасы

Қуат реттегіші (4.3 – сурет) жүктемеге (бұрандалы қосылысқа) берілетін қуатты берілген шекте өзгертеді, бұл айнымалы токтың жарты периодында тиристорды кідірту арқылы жүзеге асады.

Құрылымдық түрде басқару элементтері фольгамен қапталған РСВ баспа платасында орындалған. Платаның үстінде шам кернеуіне арналған бұрандалы қысқыштар мен сыртқы ажыратқышты ыңғайлы қосуға арналған розеткалар бар.

Құрылғыда қосу/өшіру қосқышы және қуатты үздіксіз өзгертуге арналған реттегіш бар. Қуат реттегішінің сипаттамалары: Қоректендіру кернеуі: 80–270 В. Айнымалы ток жиілігі: 40–70 Гц. Реттелетін шығыс кернеуі: 0–190 В.

Жұмыс принципі. Бұл схеманың негізгі элементі (4.1 – сурет) – басқару электродына сигнал түскенде ашылатын тиристор. Кідіріс неғұрлым көп болса, қуат соғұрлым аз болады. Сигнал көзі ретінде KP1182PM1 интегралды схемасы қолданылады.

Симистор VD1 кілттік режимде жұмыс істейді. Сыртқы C1, C2 конденсаторлары тиристорлардың әрбір жарты толқынындағы "нөлдік" ауысу уақытына қатысты қажетті кідірісті қамтамасыз етеді. Бұл конденсаторлар желі кернеуі берілген кезде тиристорлардың үзілуін болдырмайды.

Тиристор, реостат, резистор сияқты қуатты элементтер үлкен жүктеме кезінде қызады. Бұл ақауды радиатор орнату немесе ауаны белсенді түрде салқындату арқылы жоюға болады.

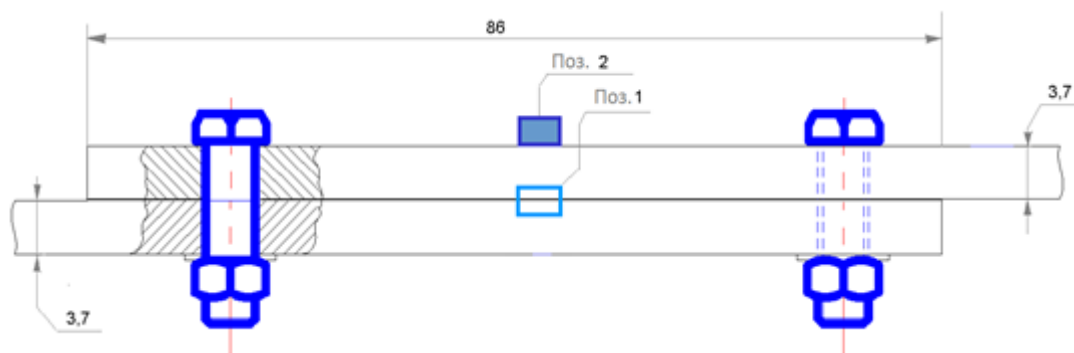
Төменгі трансформатордың сипаттамалары: Номиналды қорек кернеуі: 220 В; айнымалы ток жиілігі: 50 Гц; бірінші орамдағы виток саны: 700; екінші орамдағы виток саны: 2; екінші орамдағы номиналды кернеу: 0,5 В; қуаты: 800 Вт.

Бұл трансформатор кернеуді 220 В-тан 0,5 В-қа дейін төмендетеді. Жүктеме қосылған кезде айтарлықтай үлкен токтар (шамамен 100–300А) өтеді. Мұндай токтар, негізінен, өнеркәсіптік электр қондырғыларында кездеседі және бұл құрылғыны шынайы жүйелерге жақындатады. Трансформатордың қызып кетуін болдырмау үшін белсенді ауа салқындату қолданылады.

Резьбалық қосылыс – бұл екі болат өзекті ажыратылатын болтты қосылыспен біріктіру. Бұл жағдайда қосылу екі болт арқылы жүзеге асырылды, сондықтан контакттық кедергі мәні қажетті қызу жылдамдығын қамтамасыз етеді.

4.2 Қыздырудың бастапқы кезеңіндегі температураны бақылау

Қыздыру камерасының бастапқы кезеңдерінде температураны бақылау мақсатында тәжірибелік стенд (контакттық беткей температурасының физикалық моделі) көмегімен натуралық эксперимент жүргізілді. Бұл үшін қозғалмайтын контакт ретінде ені 0,03 м және қалыңдығы $l=0,0037$ м болатын тікбұрышты қималы болат шиналар қолданылды (4.4 – сурет). Олардың жылуфизикалық сипаттамалары келесідей: жылу өткізгіштік $\lambda=45.4$ Вт/(м·К), меншікті жылу сыйымдылық $c=3,67 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К).

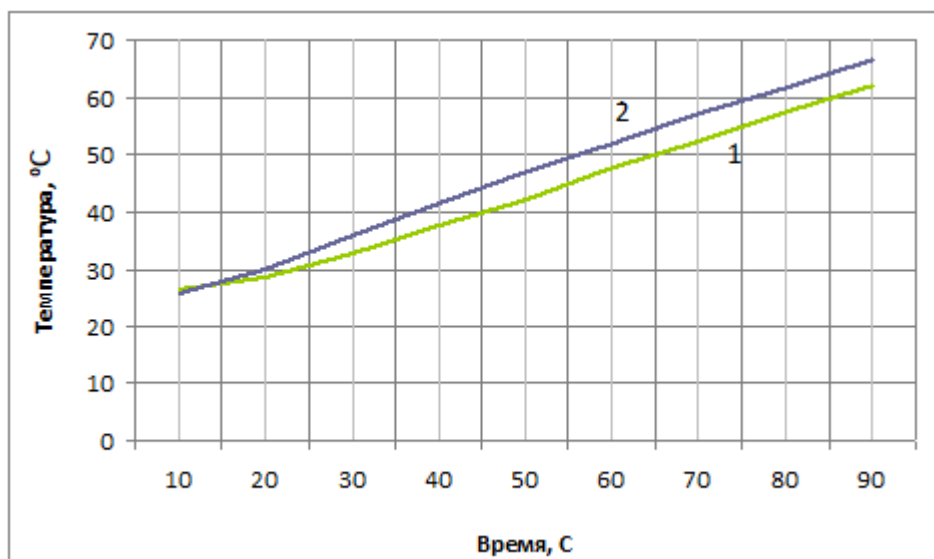


4.4 – сурет - Болтты контакттық қосылыстың қызу процесін бақылауға арналған термосезімтал элементтер

Эксперимент 100 А токта және контакт кедергісі 0,3 мОм болғанда өткізілді. Контакт аймағының температурасы (2-позиция) және контакт беткейінің ашық бөлігінің температурасы (1-позиция) қыздыру процесі бойы әр 5 секунд сайын термометрлермен өлшенді. Эксперименттің ұзақтығы — 90 секунд.

Кейінірек ашық контакт бетінің температура өлшемдері негізінде интеллектуалды датчиктің ID TNP микроконтроллерінде (3.28) формуласы бойынша контакт температурасының қайта есептелуі жүргізілді.

Натуралық эксперимент нәтижелері 4.1 – кестеде және 4.5 – суретте келтірілген.



1 – контакттық детальдің ашық беткей температурасы; 2 – контакттық беткей температурасы.

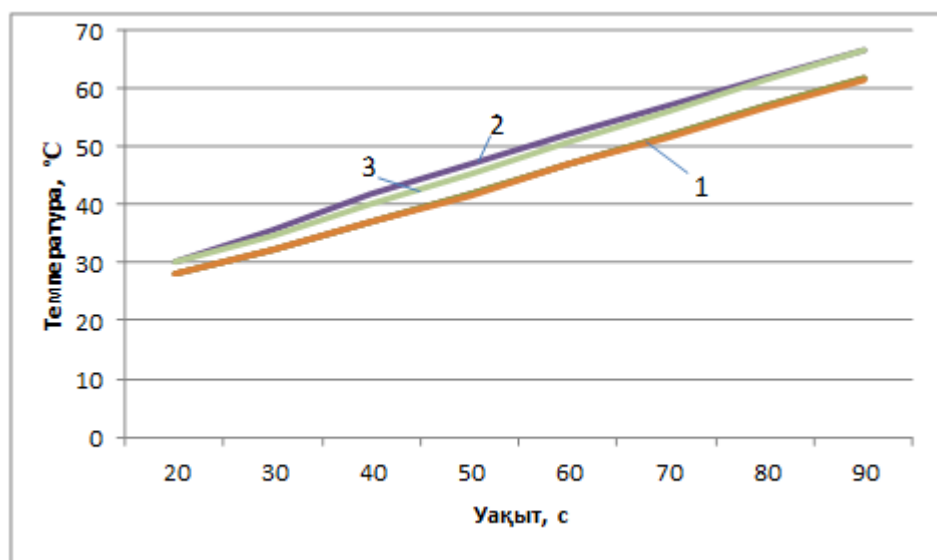
4.5 – сурет - Температуралық бақылау бойынша натуралық эксперимент нәтижелері

4.1 - кесте – Натуралық эксперимент нәтижелері

Позиция 1		Позиция 2		Позиция 1		Позиция 2	
t,c	T,°C	t,c	T,°C	t,c	T,°C	t,c	T,°C
5	25.2	5	25.1	50	46.9	50	41.5
10	25.9	10	25.6	55	49.3	55	44.6
15	27.9	15	26.5	60	52,0	60	46.8
20	30.1	20	27.9	65	54.5	65	49.3
25	32.7	25	29.9	70	57,0	70	51.5
30	35.7	30	32,0	75	59.3	75	54.5
35	38.4	35	34.7	80	61.8	80	56.6
40	41.6	40	36.8	85	64.2	85	59.3
45	44.3	45	39.5	90	66.6	90	61.4

Қозғалмайтын контакт жүйесінің (ҚКЖ) қызу процесінің бастапқы кезеңінде (90 секундқа дейін) контакттық бөліктің ашық беті (2-позиция) 61,4 °С-қа дейін қызды, ал контакттық беткей температурасы (1-позиция) 66,6 °С-қа жетті.

4.6 – суретте (3.28) формуласы бойынша болтты контакттық қосылыстың контакт бетінің температурасын есептеу нәтижелері (3-ші қисық) көрсетілген.



1 – Контакттық детальдің ашық беткей температурасы; 2 – Контакттық беткей температурасы (натуралық эксперимент); 3 – Контакттық беткей температурасы (сандық эксперимент)

4.6 – сурет - (28) формуласы бойынша контакттық беткей температурасының есептік нәтижесі

(3.28) формуласы негізінде интеллектуалды датчиктің ИД ТНП микроконтроллерінде есептелген 3-ші қисықтың эксперименттік стендте алынған 2 қисыққа жақындығы осы әдісті резьбалық қосылыстардың қызуын ерте кезеңдерінде бақылау және олардың қызып кетуін болжау үшін пайдалануға болатынын көрсетеді.

4.3 Болтты контакттық қосылыстың қызудың шекті рұқсат етілген температурасына жету уақытының анықтамасы

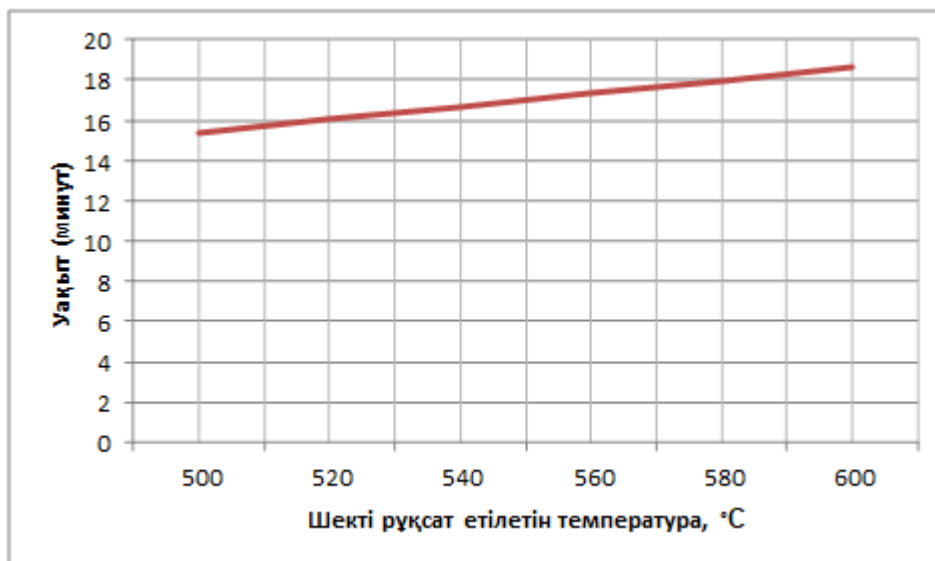
Іс жүзінде болаттың қызып кетуін болжау — бұл контакт бетінің рұқсат етілген ең жоғары температураға жету уақытының анықтамасына келіп тіреледі. Осы уақытты анықтау үшін интерполяция формуласы

$$t_{\max} = t^{(1)} + (t^{(2)} - t^{(1)}) \frac{T_{\max} - T_1(t^{(1)})}{T_1(t^{(2)}) - T_1(t^{(1)})} \quad (4.1)$$

мен 2.2 – кестенің мәліметтері қолданылады:

$$t^{(1)} = 80; t^{(2)} = 90; t^{(2)} - t^{(1)} = 10; T_1(t^{(1)}) = 61,4; T_1(t^{(2)}) = 66,6; T_1(t^{(2)}) - T_1(t^{(1)}) = 5,2.$$

Бұл мәліметтерді (3.18) формуласына қойып, болат болтты контакттық қосылыстың контакт беті қызудың шекті рұқсат етілген температурасына жету уақытының тәуелділік графигі алынады (4.7 – сурет).



4.7 – сурет - Болат болтты контакттық қосылыстың контакттық беткейінің қызудың шекті рұқсат етілген температурасына жету уақытының тәуелділік графигі

Жоғарыда келтірілген диаграмма (3.28) формулада қолданылған жағдайға сәйкес келеді, егер контакттың ашық бетінде – болатпен қапталған резьбалық қосылыстың (БК) бөлігінде – жылу шығынын елемеуге болса. Басқа жағдайда (3.28) теңдеуі нақтылануы тиіс.

Себебі температураны өлшеу кезінде, $T = 80$ с және $t = 90$ с мезеттерінде, кездейсоқ қателер болуы мүмкін, сондықтан есептеулер нәтижесіне әсерді азайту үшін өлшеулерді бірнеше рет жүргізу қажет. Бұл кезде (3.29) теңдеуде орташа мәндерді пайдалану ұсынылады.

Алынған нәтижелерді тәжірибеде іске асыру келесідей жүзеге асырылуы мүмкін: қызу уақыты рұқсат етілген температураға жеткенде, жүктемені өшіретін ажыратқыш арқылы контакті үзіледі. Бұл ажыратқыш техникалық талаптарға сай болуы керек.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы диссертациялық жұмыс барысында жүргізілген зерттеулер негізінде келесі қорытындылар жасалды:

- технологиялық кешендердің технологиялық жабдықтарына жоспарлы жөндеуден нақты техникалық жағдайына негізделген жөндеуге көшу тиімді және орынды болып шықты;

- электр жабдығының ағымдағы техникалық жағдайы оның жылулық күйімен тығыз байланысты, оны бақылау қызып кетуге өте сезімтал элементтердің температурасын өлшеу арқылы жүзеге асады;

- электр жабдығы құрылғыларының коммутациясын болдырмау, мысалы, резбалық қосылыстардың қызу процесінің бастапқы кезеңінде температураны реттеу арқылы іске асуы мүмкін;

- қысқа тұйықталу тогы салдарынан КС контакт бетімен түйісетін аймақта қызудың бастапқы кезеңінде едәуір мөлшерде жылу бөлінеді, бұл контакт бетінің қызу жылдамдығы ашық бетінен әлдеқайда жоғары екенін білдіреді. Сондықтан құрылғының істен шығуын нақты бағалау контакт бетінің температурасы бойынша жүргізілуі қажет;

- қысқа тұйықталу тогының термиялық тұрақтылығын тексеру кезінде қызу процесін адиабаталық деп санауға болады, яғни қоршаған ортамен жылу алмасу болмайды. Температураның экспоненциалды өзгеруінен сызықтық заңдылыққа өткеннен кейін, қызу процесі екі кезеңге бөлінеді: бастапқы және сызықты заңдылық бойынша қызу кезеңі;

- алғашқы кезеңде болат жандырғыштың ашық бетінің температурасы өлшенеді, соның негізінде контакт бетінің рұқсат етілген температураға жету уақытын анықтайтын теңдеу шығарылады;

- қызу шегін болжау – бұл берілген контакт үшін рұқсат етілген температура мәнін уақытты анықтайтын интерполяциялық теңдеуге түрлендіру арқылы іске асырылады.

Диссертациялық жұмыста эксперименттік үлгі ретінде болаттан жасалған болтты контакттық қосылыс пайдаланылды. Эксперимент 100 А ток және 0,3 мОм контакттық өтпелі кедергі жағдайында жүргізілді. Кедергіні реттеу болттарды тарту арқылы жүзеге асырылды. Осы параметрлерде қарастырылған уақыт аралығында қызудың сызықтық заңы байқалды. Контакт-детальдің ашық бетінде температураны өлшеу 0-ден 90 секундқа дейін 5 секунд сайын жүргізілді. Соңғы екі өлшем — 80-ші секундта 61,4 °С және 90-шы секундта 66,6 °С — негізінде интерполяциялық қатынас арқылы контакт бетінің рұқсат етілген максималды температураға жету уақытының тәуелділігі құрылды.

Интерполяциялық қатынасқа, мысалы, рұқсат етілген температуралар 500 °С және 600 °С мәндерін қойғанда, қызу 500 °С температурасына 16-шы минутта, ал 600 °С температурасына — 18-ші минутта жететіні көрсетілді. Сондықтан электр құрылғысында қолданылатын контакттық қосылысты

істен шығуға жол бермеу үшін, оны біріншісінде 15-ші минутта, екіншісінде 17-ші минутта желіден ажырату қажет.

Алынған нәтижелерді талдай отырып, бұл әдіс электр жабдықтарын нақты техникалық жағдайына сай жөндеу кезінде резбалық қосылыстардың қызып кетуін болжауға пайдалануға болатыны туралы қорытынды жасауға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Лыткин Л.К., Карасев М.В., Цепилов Г.В. Микропроцессорное устройство контроля температуры высоковольтных разъемных контактов комплектных распределительных устройств// Релейщик.–2013.–№1.–С. 9–11.
- 2 Инновационный патент РК №29444 от 25.12.2014. Бекбаев А.Б., Жумаев А.К., [Шерышев В.П.](#), Сарсенбаев Е.А., [Утебаев Р.М.](#), Скандирова Л.Ш. Способ измерения температуры поверхности, находящейся под электрическим напряжением, и устройство для его осуществления.
- 3 Черкасов В.Н., Костарев Н.П. Пожарная безопасность электроустановок: Учебник.–М.: Академия ГПС МЧС России, 2002.–377 с.
- 4 Пищук А., Ефимовых С. Методы контроля температуры главных контактов выключателей// Новости электротехники.– 2012 .– № 5(77).
- 5 Корнеев К.Б. Система контроля и прогнозирования состояния контактных соединений электрических сетей.– Дисс. канд. техн. наук.– Тверь.– 2004.– 162с.
- 6 Гуменюк В.И., Гренчук А.М. Диагностика и анализ больших переходных сопротивлений для обеспечения пожарной безопасности электрических контактов// Научно–технические ведомости Санкт–Петербургского государственного политехнического университета. –2014.–№ 4(207).–С. 92–99.
- 7 Мышкин Н.К., Кончиц В.В., Браунович М. Электрические контакты. Долгопрудный: Интеллект, 2008 .– 558 с.
- 8 Бажанов С.А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации. М.: Изд–во НТФ Энергопрогресс, 2005.– 144 с.
- 9 Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. Эксплуатация электрооборудования – М.: Агропромэнерго, 1990. –287 с.
- 10 www.ruscomplect.ru › ... › Электропроводящие смазки.
- 11 Правила эксплуатации электрооборудования кораблей ВМФ (ПЭЭК–71). М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1972.
- 12 Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н. Контактные соединения токоведущих шин. Л.: Энергия, 1978. –144 с.
- 13 www.electromontaj-proekt.ru/.../narusheniya-pravil-elektromontazha-ele
- 14 Classification of Visual and Mechanical Defects for Equipment Electronic. Wire and other Defects (Non Electronic) MIL–STD–252V(1Z). 1970.
- 15 Патент РФ № 2491687. МПК H01R 4/00. Устройство для диагностики ослабления затяжки резьбового контактного соединения с токоведущим наконечником / А.И. Горшков, А.М. Гренчук и др. Приор. 11.10.2011. Бюл. № 24. 27.08.2013.
- 16 Патент РФ № 2493640. МПК H01R 4/30. Устройство для диагностики ослабления затяжки гайки резьбового контактного соединения токоведущих шин / А.И. Горшков, А.М. Гренчук и др. Приор. 11.10.2011. Бюл. № 26. 20.09.2013.

- 17 ГОСТ 10533–86. Лента холоднокатаная из термобиметаллов. Технические условия. 01.01.1988. 10.
- 18 Пономарев Д.П., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.
- 19 Павлов П.А. [и др.]. Сопротивление материалов: учеб. пособие для вузов / Под ред. Б. Е. Мельникова. Изд. 2–е, испр. и доп. СПб.: Лань, 2007. 553 с.
- 20 Гренчук А.М., Гуменюк В.И. О возможности массового применения средств диагностики пожароопасного состояния электрооборудования // Научно–технические ведомости СПбГПУ. 2014. №2(195). – С. 210–215.
- 21 Бекбаев А.Б., Жалмухамед Е., Утебаев Р.М., Колтун Н.А. Лабораторная экспериментальная установка для испытания интеллектуального датчика температуры недоступной поверхности// Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. –2013.–№6(100).– С. 36–42.
- 22 Цепя А.П. Интеллектуальные датчики физических величин. Алгоритмы компенсации температурных погрешностей// Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск .– 2008.– №2.– С. 184–189.
- 23 Синютин С.А. Интеллектуальные пьезоэлектрические преобразователи. Учебное пособие.– Россия: ЮФУ, 2009.– 79с.
- 24 Вавилов В.П. Неразрушающий контроль. Тепловой контроль. –М.: Машиностроение, 2004.– Т. 5, кн. 1.– 679 с.
- 25 Будадин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И., Троицкий–Марков Т.Е., Абрамова Е.В. Тепловой неразрушающий контроль изделий.— М.: Наука, 2002.– 472 с.
- 26 Власов А.Б., Мухин Е.А., Царёв Б.Д.. Факторный анализ диагностической модели тепловизионного контроля электрической машины //Вестник МГТУ: труды Мурман. техн. ун–та.– 2013.–Т.16.–№1.– С. 46–51.
- 27 Казанский Н.Л., Колпаков А.И., Колпаков В.А., Паранин В.Д. Метод определения температуры поверхности в области ее взаимодействия с потоком низкотемпературной плазмы//Журн. техн. физики.–2007.–Т.77.– Вып.12.–С.21–25.
- 28 Шерышев В.П., Чижов В.Н., Селивёрстов М.В., Телгожаева Ф.С. Стержневые системы в задачах моделирования тепловых процессов в деталях почвообрабатывающих машин при их восстановлении с помощью электроконтактного нагрева// Материалы международной научной конференции «МОДЕЛИРОВАНИЕ–2010». –Киев, 2010. –Т. III –С. 202–208.
- 29 Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент–Клэр Ч., мл. Некорректные обратные задачи теплопроводности / пер. с англ.– М.: Мир, 1989.– 312 с.
- 30 СТ КазНТУ - 09 - 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазНТУ, 2023.