



XҒТАР 55.01.83

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-152-3-171-183>

Сорғы жабдықтарының техникалық жағдайын термиялық бақылау әдісімен диагностикалау

Л.Б. Сағатова* , С.А. Бортеебаев , Д.Д. Басканбаева 
Ш.Д. Ахметова 

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті», Алматы, Қазақстан

E mail: l.sagatova@satbayev.university

Аңдатпа. Мақалада «ҚазАтомӨнеркәсіп» ҰАК" АҚ пайдалану жағдайында тепловизорды пайдалана отырып, сорғы агрегаттарының техникалық күйін диагностикалау әдістері қарастырылады. Осы зерттеу шеңберінде техникалық күйді бағалау рәсіміне жататын SULZER ортадан тепкіш сорғы агрегаттарын термовизиялық тексеру арқылы алынған диагностикалық ақпараттың үлгісі пайдаланылды. Қолданыстағы жабдықта жылу бейнелеу диагностикасын жүргізу әдістемесі сипатталған. Алынған деректерді талдау үшін ықтимал ақауларды көрсететін жергілікті қызып кету аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретін термограммаларды өңдеу әдістері қолданылды. Сорғы агрегаттарының мойынтіректерін термиялық талдау нәтижелері келтірілген. Нәтижелер ақаулықтарды ерте анықтау және жабдықтың қалдық ресурсын бағалау үшін термиялық бейнелеу әдісін қолданудың жоғары тиімділігін көрсетеді. Бұл, өз кезегінде, сорғы қондырғыларының сенімділігін арттыруға, төтенше жағдайлар қаупін азайтуға және техникалық қызмет көрсету регламенттерін оңтайландыруға ықпал етеді. Ұсынылған әдістеме жабдықтың ұқсас түрі бар кәсіпорындарда кеңінен енгізу үшін ұсынылуы мүмкін, сонымен қатар болжамды қызмет көрсету тұжырымдамасы аясында техникалық жағдайды бақылау жүйесінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: ортадан тепкіш сорғы, жылу түсіргіш, термографиялық зерттеу, температура, инфрақызыл сәулелену

Түсті 16.06.2025. Жөнделді 23.08.2025. Мақұлданды 26.08.2025. Онлайн қолжетімді 30.09.2025

* хат-хабар автор үшін

Кіріспе

Жабдықтың тиімділігі мен сенімділігі өндіріс процестерінде шешуші рөл атқаратын қазіргі әлемде машиналар мен механизмдердің күйін диагностикалау маңызды міндетке айналады. Диагностиканың ең прогрессивті әдістерінің бірі-жабдықты бөлшектемей-ақ проблемаларды анықтауға мүмкіндік беретін жылу камераларын пайдалану. Ортадан тепкіш сорғылар сұйықтықтарды айдау үшін әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Олардың жұмысының сенімділігі негізгі қондырғылардың — мойынтіректердің, тығыздағыштардың, қозғалтқыштың және жұмыс дөңгелегінің күйіне тікелей байланысты. Жабдықтың күйін бақылаудың тиімді әдістерінің бірі-жылу диагностикасы.

Жылу бейнелеу технологияларын қолдана отырып, сорғы жабдықтарының техникалық жағдайын диагностикалау мәселелері отандық және шетелдік ғылыми әдебиеттерде белсенді зерттелуде. Атап айтқанда, В.А. Герасимов пен С. И. Мельниковтың еңбектерінде инфрақызыл термография негізінде сорғы агрегаттарының мойынтіректері мен электр жетектерінің жылу күйін бағалау әдістері қарастырылған. [1] Ғалымдар термобейнелеуді бақылау майлау жүйесіндегі бұзылулардан, мойынтіректердің тозуынан және айналмалы бөліктердің теңгерімсіздігінен туындаған температура режимінің ауытқуларын тиімді анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Термограммаларды талдау әдістерінің дамуына шетелдік зерттеушілер де айтарлықтай үлес қосты. Сонымен, J. M. Yasout және C. B. Moloney (MIT, АҚШ) зерттеулерінде сәтсіздіктерді диагностикалау мен болжаудың дәлдігін жақсартуға мүмкіндік беретін термиялық бейнелеуді автоматты түрде жіктеуге арналған машиналық оқыту алгоритмдері қарастырылған [3]. Н. В. Ahmed (Малайзия технологиялық университеті) жұмысы сорғы жүйелерінің техникалық жағдайын жан-жақты бағалауды қамтамасыз ететін тербеліс өнімділігімен жылу ауытқуларын корреляциялау әдісін ұсынады [4].

Отандық тәжірибеде Ю.В. Савченконның жетекшілігімен жылуэнергетикалық кәсіпорындарда сорғыларға қызмет көрсету кезінде жылу бейнелеу бақылауының тиімділігі негізделген зерттеулерді бөліп көрсетуге болады. Автор жылу үлгісі механикалық немесе діріл ауытқулары түрінде әлі көрінбеген ақаулардың дамуын уақтылы анықтауға мүмкіндік беретінін атап көрсетеді [2]. Осылайша, осы жұмыс шеңберінде жүргізілген зерттеу жинақталған ғылыми тәжірибеге сүйенеді және нақты өндірістік жағдайларда сорғы агрегаттарын диагностикалау тәжірибесіне бағытталған тәсілдерді дамытуға үлес қосады.

BALTECH TR-0102N инфрақызыл жылу түсіргіші қарапайым және жұмыс істеуге ыңғайлы және операторда арнайы дағдылардың болуын қажет етпейді. Жылу бейнелеу құрылғылары олардың техникалық жағдайын бағалау мақсатында электр жүйелері мен жабдықтарын диагностикалау үшін қолданылады. Бұл санатқа электр қозғалтқыштары, тарату құрылғылары және қосалқы станциялар кіреді. Тепловизорларды қолданудың артықшылығы-объектімен тікелей байланыссыз жылдам зерттеу жүргізу. Жылу бейнелеу құрылғыларының көрсеткіштеріне көптеген факторлар үлкен әсер етеді. Жүргізілген өлшеуді талдау кезінде оларды ескермеу жабдықтың нақты жылу күйінің бұрмалануына және ақаулықтарды жою бойынша дұрыс емес шешімдер қабылдауға әкеледі. Сіз жылу түсіргіштің жұмыс принципін келесідей қысқаша сипаттай аласыз: жылу түсіргіштің объективі келіп түскен инфрақызыл сәулеленуді жинайды және оны сәулелену қабылдағышына бағыттайды. Осы сәулеленуге сүйене отырып, радиациялық қабылдағыштың шығысында өлшенетін сигнал пайда болады. Содан кейін пайда болған

сигнал құрылғының дисплейінде жылу кескінін көрсету үшін жылу кескінінің ішінде орналасқан электрондық схемалармен өңделеді.

Термографиялық бақылауды жүзеге асырудың ұйымға қатысты өзіндік ерекшеліктері бар. Әрбір термовизиялық бақылауды орындамас бұрын дайындық жұмыстарының белгілі бір көлемі жүргізілуі керек. Ең алғашқы қадам-бұл туралы жалпы түсінік алу үшін зерттеу объектісінің құжаттамасын зерттеу. Бұған объектінің паспорттық деректері, пайдалану уақыты және т. б. Осыдан кейін ағымдағы жүктемелерді және бақыланатын объектінің түйіндерін ескере отырып, объектіні зерттеу жоспары жасалады, олар алдын-ала мәліметтер бойынша жұмыста ақауларға ие. Сондай-ақ, объектінің дизайн ерекшеліктерін ескере отырып, міндетті термовизиялық түсірілім үшін электр жабдықтарындағы бірнеше нүктелер шартты түрде белгіленуі керек. Бақылауды дайындаудағы соңғы сәт термовизиялық түсіру аспаптарын тексеру және термограф үшін қауіпсіздік техникасы бойынша нұсқама жүргізу болып табылады. Сондай-ақ, электр жабдықтарын диагностикалауға арналған жылу түсіргіштердің рұқсат ету қабілеті $0,1^{\circ}\text{C}$ -тан төмен болмауы керек, ал ең оңтайлы спектрлік диапазон 8-12 мкм болуы керек.

Электр жабдықтарын термобейнелеу бойынша жұмыстың көп бөлігі сапалы сипатқа ие, яғни ұқсас компоненттердің жылу бейнелеріне қарапайым салыстыру жүргізіледі. Термобейнелеу бақылауын жүргізу кезінде зерттелетін электр жабдығының атауын, ток жүктемесін, ауа-райының жағдайын, бетінің жай-күйін атап өту өте маңызды. Бұл зерттеу нәтижелерін реттеуге және оларды бағалау кезінде осы нәтижелерге әсер ететін факторларды ескеруге мүмкіндік береді [5].

Әдіснама

Термографиялық зерттеу-инфрақызыл камераның көмегімен жабдықтың бетіндегі температура өрістерін өлшеуге негізделген жылу жабдығын диагностикалау әдісі. Термографиялық зерттеудің негізгі принципі - барлық нысандар, соның ішінде техникалық жабдықтар арнайы инфрақызыл камерамен өлшенетін инфрақызыл сәуле шығарады [6].

Осы зерттеуде сорғы қондырғыларының техникалық жағдайын бағалау үшін механикалық және электротехникалық жабдықтардағы температуралық ауытқуларды өнеркәсіптік бақылауға арналған BALTECH TR-0102N тепловизорының көмегімен термиялық бейнелеу диагностикасы қолданылды. Құрылғы жоғары өлшеу дәлдігін ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ дейін) және 160×120 пиксельді инфрақызыл ажыратымдылықты қамтамасыз етеді, бұл жабдықтың түйіндеріне қол жетімділігі шектеулі жағдайларда да сенімді термограммаларды алуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нысандары "Қазатомөнеркәсіп" ҰАҚ" АҚ өндірістік объектісінде пайдаланылатын SULZER орталықтан тепкіш сорғы агрегаттары болды. Диагностикаға мойынтіректер, корпус бөліктері, байланыстырушы муфталар, сондай-ақ сорғылардың жетегін қамтамасыз ететін электр қозғалтқыштары ұшырады.

BALTECH TR-0102N жылу түсіргіші әртүрлі нысандармен жуылатын инфрақызыл сәулеленуді тіркеуге арналған. Тепловизор анық термограммаларды алуға және объектілердің температурасын дәл өлшеуге мүмкіндік береді. Тепловизор электр сымдары мен жабдықтарының жай-күйін бақылау және диагностикалау, мұнай құбырын бақылау, жылу, ылғал, ауа және оқшаулау ақауларының ағып кетуін анықтау, орман буларының алдын алу және жасырын тұтану көздерін іздеу, адам денесінің температурасын дәл өлшеу,

ғылыми зерттеулер, теміржолдарда жұмыс істеу және т. б. үшін қолданылады.

Сорғы қондырғыларының техникалық жағдайын зерттеу үшін электр қозғалтқышының мойынтіректері мен сорғы дөңгелегінің жетек біліктері таңдалды. 1-суретте SULZER сорғы қондырғысының жалпы көрінісі көрсетілген, сонымен қатар температура сипаттамаларын термиялық бақылау нүктелері көрсетілген.



1-сурет. Орталықтан тепкіш сорғы қондырғысының жалпы көрінісі

Жылу параметрлерін зерттеу BALTECH TR-0102N тепловизорын қолдана отырып, олардың техникалық жағдайын диагностикалау мақсатында жұмыс істейтін роторлы машиналар мен механикалық конструкциялардағы температураның таралуын визуализациялау және талдау функцияларын орындайтын тиісті бағдарламалық жасақтамамен жүргізілді (2-сурет).

Зерттеу тәртібі келесі кезеңдерді қамтыды:

1. *Жабдықты дайындау:* өлшеуді бастамас бұрын агрегаттардың бетін шаң мен ластанудан сыртқы тазалау, қауіпсіз кіру жағдайларын тексеру, сондай-ақ BALTECH TR-0102N пайдалану нұсқаулығына сәйкес тепловизорды калибрлеу жүргізілді.

2. *Термограммаларды түсіру:* термобейнелеу жабдықтың жұмыс режимінде тұрақты жүктемелерде жүргізілді. Түсірілім барлық диагностикалық маңызды элементтерді қамту үшін әр түрлі бұрыштарда жүргізілді.

3. *Термограмманы талдау:* алынған кескіндерді түсіндіру үшін BALTECH Expert бағдарламалық жасақтамасы қолданылды. Температура градиенттерін талдау негізінде

жергілікті қызып кету аймақтары, Нормативтік мәндерден ауытқулар және үйкелістің жоғарылауы немесе майлаудың болмауы мүмкін аймақтары анықталды.



2-сурет. BALTECH TR-0102N тепловизоры

Жылу түсіргіш-бұл көрінбейтін инфрақызыл сәуле шығаратын объектілердің көрінетін бейнесін алуға мүмкіндік беретін портативті инфрақызыл камера.

Тепловизордың жұмыс принципі инфрақызыл сәулеленуді түрлендіруге негізделген, ол оптика арқылы оны электр сигналына түрлендіретін қабылдағышқа бағытталған [7]. Алынған сигнал жылу түсіргіштің электроникасымен жазылады және дисплейде көрсетілетін электрондық кескінге (термограммаға) айналады. Демек, термограмма-бұл тепловизордың электроникасымен өңделген объектінің бейнесі, сондықтан түстердің әртүрлі градациялары инфрақызыл сәулеленудің объектінің бетіне таралуына сәйкес келеді. Әдетте түстер ашық (қызыл, сары) түстер жоғары температураны, ал қою түстер (көк, жасыл) төмен температураны көрсететін етіп бөлінеді. Сонымен, термограф объектінің бетінен келетін жылу сәулеленуіне сәйкес келетін термограмманы оңай қарастыра алады. Осылайша жасалған термограммалар арнайы бағдарламалық жасақтамамен өңделеді және талданады. Бұл талдау сәулелену коэффициентін, қоршаған ортаның температурасын есепке алуға және кез-келген өлшеу нүктесінде параметрлерді анықтауға, сондай-ақ суреттің түстер палитрасын оңтайландыруға қатысты. Термовизиялық бақылау нәтижелерінің сенімділігін арттыру үшін зерттеуде термограммаларды талдаудың салыстырмалы әдісі қолданылды, онда ағымдағы температура көрсеткіштері ұқсас типтегі жарамды қондырғыларда алынған анықтамалық мәндермен салыстырылды. Жабдықтың симметриялы аймақтары арасындағы температура айырмашылықтарын бақылауға, сондай-ақ қайта өлшеу кезінде жылу өрістерінің өзгеру динамикасына ерекше назар аударылды. Сыртқы факторлар мен жылу инерциясының әсерін есепке алу үшін әр түрлі уақыт кезеңдерінде (таңертең, күндізгі жүктеме, тоқтағаннан кейін) бірқатар түсірілімдер жүргізілді. Бұл статикалық

ауытқуларды ғана емес, сонымен қатар уақыт өте келе температура ауытқуларының дамуын да тіркеуге мүмкіндік берді, бұл әсіресе жасырын ақауларды ерте анықтау үшін маңызды — мысалы, жағармайдың тозуы, мойынтіректердің тозуы немесе теңгерімсіздік. Сонымен қатар, BALTECH TR-0102N тепловизоры арқылы алынған деректерді кросс-тексеруге мүмкіндік беретін бақылау нүктелерінде байланыс температурасын өлшеу (пирометрмен) диагностикалық валидацияның қосымша шарасы ретінде қолданылды. Сорғы қондырғыларының күйін сандық бағалау үшін температура градиенттері мен бақылау нүктелері арасындағы температура айырмашылығы қолданылды. Негізгі параметрлердің бірі температураның ауытқуы болды [8, 9]:

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\text{ср}} \quad (1)$$

мұндағы

$T_{\max}$ — зерттеу аймағындағы термограммада тіркелген максималды температура, $T_{\text{ср}}$ — қызып кетуге бейім емес, айналадағы учаскелердің орташа температурасы.

10-15 °C-тан жоғары ΔT мәндері жедел араласуды қажет ететін жергілікті қызып кетуді көрсетті. Бұл жағдайда Жабдықтың техникалық күйінің шкаласы қолданылды:

- $\Delta T < 5^{\circ}\text{C}$ - жұмыс күйіндегі жабдық, қызып кету анықталмаған;
- $5^{\circ}\text{C} \leq \Delta T < 10^{\circ}\text{C}$ - рұқсат етілген ауытқу, бақылау ұсынылады;
- $\Delta T \geq 10^{\circ}\text{C}$ - сыни асып кету, техникалық қызмет көрсету немесе жөндеу қажет.

Сондай-ақ, қондырғының корпусының ұзындығы бойынша температура градиенті есептелді:

$$G = \frac{\Delta T}{L} \quad (2)$$

мұндағы L - жылу таралуының біркелкілігін бағалауға мүмкіндік беретін екі бақылау нүктесінің арасындағы қашықтық. Градиенттің күрт секірулерінде ($G > 5^{\circ}\text{C}/\text{см}$) мүмкін ішкі ақаулар қабылданды: бұзылу, үйкелістің жоғарылауы, майлау пленкасының жыртылуы және т. б. Математикалық өңдеу нәтижелері термограммалардың визуалды талдауын растау үшін пайдаланылды және жабдықтың техникалық жағдайын қорытынды бағалауға біріктірілді.

Нәтижелер мен талқылау

Жабдықтың беткі температурасы туралы алынған мәліметтер температураның жоғарылау нүктелерін және жылу алмасу проблемалары бар аймақтарды анықтауға мүмкіндік беретін арнайы бағдарламалық жасақтаманың көмегімен талданады. Термографиялық зерттеу жылу жабдықтарының жұмысында көптеген проблемаларды анықтауға мүмкіндік береді – мысалы: - жабдықтың бетіндегі температураның біркелкі бөлінбеуі; - жоғары температура аймақтары, бұл Жабдықтың жұмысында ақаулардың болуын көрсетуі мүмкін; - Жылу алмасудың төмен тиімділігі, бұл энергияны жоғалтуға және энергия шығындарының артуына әкелуі мүмкін. Термографиялық зерттеу жылу жабдықтарының жұмыс жағдайында да, жабдық өшірілгенде де, оның жұмыс басталғанға дейінгі күйін бағалау үшін жүргізілуі мүмкін. Термографиялық зерттеудің артықшылықтарының бірі - жылу жабдығының жұмысындағы проблемаларды оны тоқтатпай-ақ тез анықтау мүмкіндігі. Сондай-ақ, бұл әдіс жылу алмасудың максималды тиімділігіне қол жеткізу үшін жабдықтың оңтайлы параметрін анықтауға көмектеседі. Термографиялық зерттеудің кемшілігі оның жоғары құны және алынған мәліметтерге

талдау жасау үшін білікті қызметкерлердің талабы болуы мүмкін. Жоғарыда сипатталған диагностикалық әдістерден басқа, жылу жабдықтарының күйі туралы дәлірек ақпарат алуға мүмкіндік беретін басқа да егжей-тегжейлі әдістер бар [10, 11]. Осындай әдістердің бірі-акустикалық диагностика. Оның көмегімен жарықтар, коррозия, мойынтіректердің тозуы және басқалары сияқты ақауларды анықтауға болады. Бұл әдіс жабдық жұмыс істеп тұрған кезде пайда болатын дыбыстық тербелістерді талдауға негізделген. Бұл жабдықтың әртүрлі түйіндеріне орнатылуы мүмкін арнайы акустикалық датчиктерді пайдаланады. Алынған ақпарат мамандарға ақаудың орналасқан жері мен сипатын анықтауға және одан әрі әрекет ету туралы шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Тағы бір әдіс — эндоскопия. Бұл жабдықтың ішкі беттерін визуалды тексеруге мүмкіндік береді. Ол үшін жабдықтың ішіне тесіктер немесе тығындар арқылы енгізілетін арнайы оптикалық құрылғылар-эндоскоптар қолданылады. Алынған кескіндер жарықтар, коррозия, қабыршақтану және т.б. сияқты әртүрлі ақауларды анықтауға мүмкіндік береді. Ол инфрақызыл диапазондағы жабдықты шығаратын сәулеленуді талдауға негізделген. Бұл әдіс қызып кету, жылу алмасудың бұзылуы және басқалары сияқты әртүрлі ақауларды анықтауға мүмкіндік береді. Инфрақызыл диагностиканы жабдықтың беткі температурасын тіркейтін және оны талдауға болатын кескінге айналдыратын жылу кескіні арқылы жасауға болады. Жалпы, диагностиканың неғұрлым егжей-тегжейлі әдістерін қолдану күрделі және жасырын ақауларды анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде техникалық қызмет көрсету тиімділігін арттырады және жылу жабдықтарының қызмет ету мерзімін ұзартады. Жылу сорғыларының күйін диагностикалау үшін алдымен тиімділікті өлшеу әдісін қолдану керек. Біріншіден, жылу сорғысының жылу алмастырғыштары жер астында орналасқан, бұл визуалды тексеруді мүмкін емес етеді. Екіншіден, алынған өлшеу нәтижелері оның жұмысының тиімділігіне әсер ететін аппараттық ақаулардың бар-жоғын анықтайды. Жылу сорғысының жұмысына әсер ететін қандай да бір ақау туындаған жағдайда, ең тиімді диагностика ретінде жылу бейнелеу жабдығы арқылы жылу ағып кетудің орнын анықтауға мүмкіндік беретін инфрақызыл диагностика әдісін қолданған дұрыс. Ақаулы аймақты анықтағаннан кейін ақауды жоюға кірісу керек [11, 12].

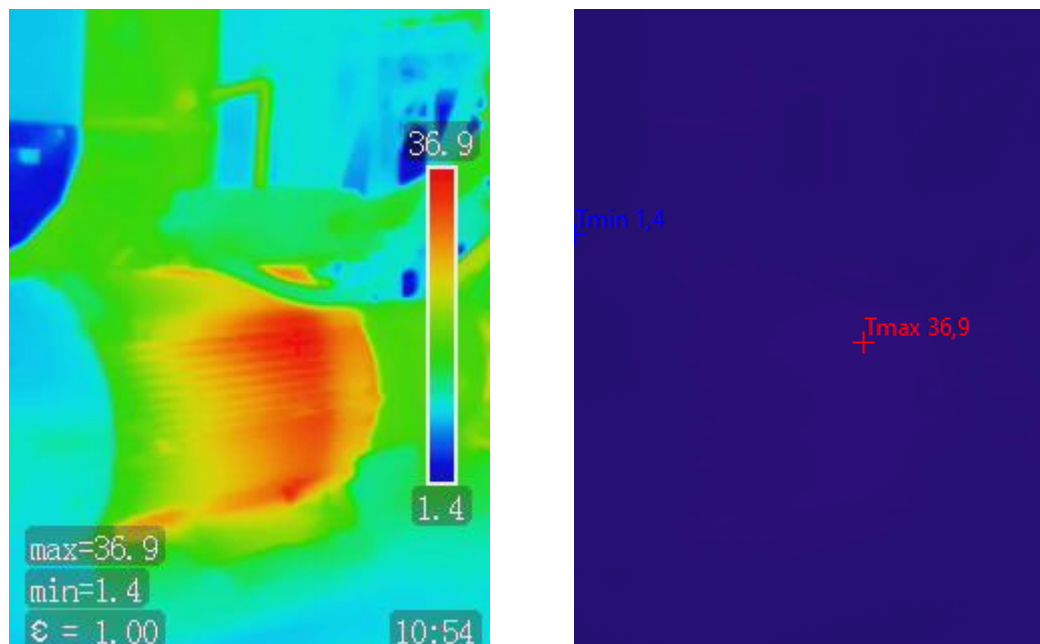
Ортадан тепкіш сорғының жұмысын талдау үшін 160×120 пиксель ИК-детекторының матрицалық ажыратымдылығы және -20°C-тан +600°C-қа дейінгі температура диапазоны бар жылу түсіргіш қолданылды (1-кесте). Өлшеу нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін жабдықта оны тоқтатпай жүргізілді. Негізгі қызығушылық аймақтары мойынтіректер, байланыстырушы муфта және сорғы корпусы болды.

1-кесте. Өлшеу шарттары

Тепловизор моделі	BALTECH TR-0102N
Сериялық нөмір	900196011198
SDK нұсқасы	V_2.0.12
Сәулелену коэффициенті	100 %
Қашықтық	1,00 m
Ылғалдылық	60 %
Температура	21,0°C
Шық нүктесі	12,9°C

«ҚазАтомӨнеркәсіп» ҰАК» АҚ «ХОРАСАН-У» БК» өнеркәсібінде SULZER ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйіне жүргізілген зерттеулер бойынша сорғы мен электр қозғалтқышының мойынтіректері тораптарының жылу сипаттамаларының нәтижелері алынды. BALTECH TR-0102N тепловизорымен біріктірілген бағдарламалық жасақтаманың көмегімен жылу деректері өңделіп, термограммалар мен температураның таралуы түрінде кескіндер алынды.

3 және 4-суреттерде сорғы қондырғыларының термограммалары көрсетілген, олар басқа аймақтармен салыстырғанда ауытқуларды көрсететін жоғары температуралы аймақтарды көрсетеді.

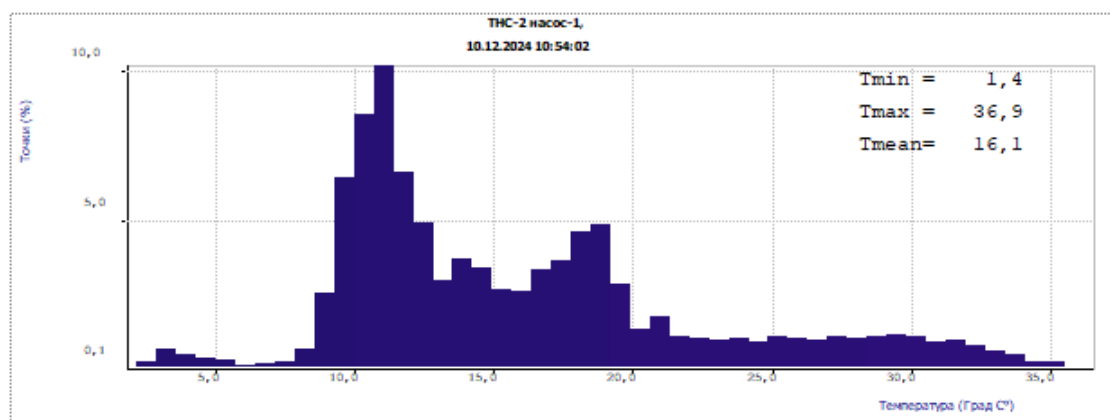


3-сурет. Термиялық сурет, өлшемі 120x160

"Ыстық металл" палитрасы, Tmin=-40,0°C Tmax=1700,0°C

Изотермиялық түс: жоқ

Шық астындағы нүктенің түсі: жоқ



4-сурет. № 1 ЖСС-2 сорғы электр қозғалтқышының мойынтіректерінің термограммасы

Тепловизордың көмегімен алынған ЖСС-2 учаскесіндегі №1 сорғы электр қозғалтқышының мойынтірегінің температуралық таралуының бейнесі.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша анықталған температуралық ауытқулардың негізгі себептерінің бірі термограммаларда жергілікті қызып кету аймақтары түрінде көрінетін біркелкі емес тозу нәтижесінде пайда болатын жұмыс дөңгелегінің теңгерімсіздігі болып табылатыны анықталды.

«ҚазАтомӨнеркәсіп» ҰАК» АҚ «ХОРАСАН-У» БК» өнеркәсібінде SULZER ортадан тепкіш сорғы агрегатының подшипниктік тораптарын термовизиялық талдау нәтижелері температуралық көрсеткіштердің норма шегінде екенін көрсетеді, бұл сорғы жабдығының жақсы техникалық күйіне сәйкес келеді. Дегенмен, температураның қалыпты мәндеріне қарамастан, анықталған жергілікті температура ауытқулары ықтимал ақауларды көрсетеді және сорғы жабдықтарының күйін жүйелі бақылауды қажет етеді.

Қорытынды

Тепловизор-бұл орталықтан тепкіш сорғыларды жедел диагностикалауға арналған қуатты құрал, әсіресе басқа әдістермен бірге. Тұрақты термиялық бақылау Жабдықтың сенімділігін арттыруға, апаттар қаупін азайтуға және жөндеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Жылулық бақылауды жоспарлы-алдын алу қызметінің бөлігі ретінде тұрақты негізде жүргізу ұсынылады.

Қозғалтқыштар мен сорғыларды диагностикалауда жылу камераларын пайдалану жабдықтың сенімділігі мен қауіпсіздігін жақсартудың тиімді құралы болып табылады. Бұл әдіс ықтимал проблемаларды уақтылы анықтауға ғана емес, сонымен қатар төтенше жағдайлар қаупін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік береді. Жабдыққа қызмет көрсету тәжірибесіне термиялық бейнелеу диагностикасын енгізу өндірістік процестерді оңтайландыруға және жөндеу мен техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға бағытталған маңызды қадам болады.

Жылу жабдықтарын диагностикалау жабдықтың сенімді және тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз етудің маңызды процесі болып табылады. Жылу жабдықтарын диагностикалаудың әртүрлі әдістерін қолдану оның жұмыс тиімділігін арттыруға, қауіпсіздікті қамтамасыз етуге және жабдықты жөндеу мен ауыстыру шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Дегенмен, әрбір әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері бар және дұрыс әдісті таңдау диагностикалық мақсаттарға, жабдық түріне және жұмыс жағдайларына байланысты. Мысалы, жабдықтың жұмысындағы бұзылуларды тез анықтау үшін жану өнімдерін визуалды тексеру және талдау жеткілікті болуы мүмкін, ал егжей-тегжейлі диагностика үшін термографиялық зерттеу немесе акустикалық сигналдарды қолдану арқылы диагностика сияқты күрделі әдістерді пайдалану қажет. Сондықтан нақты жағдайға байланысты диагностикалық әдістерді дұрыс таңдау және жылу жабдықтарын диагностикалауға жан-жақты қарау маңызды.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің АР22684928-«Іске асыратын аппаратураның әдістемесін әзірлеу арқылы сорғы агрегаттарының техникалық жай-күйін диагностикалау тиімділігін арттыру» гранттық қаржыландыру жобасына сәйкес орындалды.

Авторлардың қосқан үлесі

Сағатова Л.Б. - деректерді жинау және талдау, мақала мәтінін жазу, редакциялау, ұжымның жұмысын үйлестіру, қорытындылар мен ұсыныстарды дайындау.

Бортебаев С.А. - талдау, редакциялау, жазу (кіріспе), визуализация, әдістеме, ақпарат жинау.

Басканбаева Д.Д. - мақалада келтірілген графиктер мен кестелерді дайындап, нәтижелерге талдау жасады.

Ш.Д. Ахметова - зерттеу тұжырымдамасын, мәліметтер жинау, әдебиеттер тізімімен жұмыс.

Әдебиеттер тізімі

1. В.А. Герасимов, С.И. Мельников, Тепловизионный контроль насосного оборудования на промышленных объектах, Вестник машиностроения, 7, с. 48–52 (2019).
2. Ю.В. Савченко, Применение тепловизионного контроля при техническом обслуживании насосных агрегатов, Энергетическое оборудование: эксплуатация и диагностика, 2, с. 35–39 (2020).
3. J. M. Yacout, C. B. Moloney, Infrared thermography and machine learning techniques for fault detection in rotating equipment, Journal of Mechanical Engineering Science, 232(22), p. 4125–4136 (2018). <https://doi.org/10.1177/0954406218783451>
4. H. B. Ahmed, Integrated thermography and vibration analysis for predictive maintenance of centrifugal pumps, International Journal of Prognostics and Health Management, 11(1), p. 1–10 (2020). <https://www.phmsociety.org/journal>
5. С.А. Бажанов, Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации, часть 2 (НТФ «Энергопрогресс, Москва, 2005), с. 64.
6. Fluke Corporation Introduction to thermography, Fluke Corporation, American Technical Publishers, Inc., The Snell Group, Orland Park, Иллинойс, с 68 (2009).
7. А. В. Афонин, Инфракрасная термография в энергетике, Основы инфракрасной термографии, том 1 (СПб.: изд. ПЭИПК, Москва, 2004), с. 240.
8. В.П. Вавилов, Инфракрасная термография и тепловой контроль, (ИД Спектр, Москва, 2009), с. 544.
9. В.П. Иванов, А.С. Константинов, В.В. Петров, Диагностика и ремонт теплотехнического оборудования, (Машиностроение, Москва, 1991), с. 256.
10. С. А. Ефремов, Тепловизионная диагностика: принципы и применение, (Техносфера, Москва, 2015), с. 328.
11. В. А. Васильев, Основы теплового контроля и диагностики машин. (СПб, Питер, 2012), с. 270.
12. ISO 10816-1:1995. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines.
13. Тепловизионный контроль состояния оборудования на промышленных предприятиях, Теплоэнергетика, 6, 2020, с. 55–60.
14. Тепловизионное обследование насосного оборудования: опыт применения, Журнал «Энергосбережение», №4, 2021.

Л.Б. Сағатова*, С.А.Бортебаев, Д.Д. Басканбаева, Ш.Д. Ахметова

*Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

**Диагностика технического состояния насосного оборудования тепловым
методом контроля**

Аннотация. В статье рассматриваются методы диагностики технического состояния насосных агрегатов с использованием тепловизора в условиях эксплуатации АО НАК «КазАтомпром». В рамках настоящего исследования использовалась выборка диагностической информации, полученной с помощью тепловизионного обследования центробежных насосных агрегатов SULZER, подлежащих процедуре оценки технического состояния. Описана методика проведения тепловизионной диагностики на действующем оборудовании. Для анализа полученных данных использовались методы обработки термограмм, позволяющие выявить зоны локального перегрева, свидетельствующие о потенциальных дефектах. Приведены результаты тепловизионного анализа подшипниковых узлов насосных агрегатов. Проведённые исследования позволили сформировать базовые диагностические признаки оценки технического состояния по тепловым характеристикам, что обеспечивает создание единого диагностического критерия для оценки и прогнозирования состояния центробежных насосных агрегатов. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность применения тепловизионного метода для раннего выявления неисправностей и оценки остаточного ресурса оборудования. Это, в свою очередь, способствует повышению надёжности работы насосных установок, снижению рисков аварийных ситуаций и оптимизации регламентов технического обслуживания. Представленная методика может быть рекомендована для широкого внедрения на предприятиях с аналогичным типом оборудования, а также использоваться в системе мониторинга технического состояния в рамках концепции предиктивного обслуживания.

Ключевые слова: центробежный насос, тепловизор, термографическое исследование, температура, инфракрасное излучение.

L.B. Sagatova*, S.A. Bortebayev, D.D. Baskanbayeva, Sh.D. Akhmetova

Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

**Diagnostics of the technical condition of pumping equipment by thermal control
method**

Abstract. The article discusses methods for diagnosing the technical condition of pumping units using a thermal imager in the operating conditions of JSC NAC KazAtomprom. In the framework of this study, we used a sample of diagnostic information obtained by thermal imaging examination of SULZER centrifugal pumping units subject to a technical condition assessment procedure. A technique for conducting thermal imaging diagnostics on existing equipment is described. To analyze the data obtained, thermogram processing methods were used to identify

areas of local overheating, indicating potential defects. The results of thermal imaging analysis of bearing assemblies of pumping units are presented. The conducted studies have made it possible to form basic diagnostic signs for assessing the technical condition based on thermal characteristics, which ensures the creation of a single diagnostic criterion for assessing and predicting the condition of centrifugal pumping units. The results obtained demonstrate the high efficiency of the thermal imaging method for early detection of malfunctions and assessment of the remaining life of the equipment. This, in turn, helps to improve the reliability of pumping units, reduce the risk of accidents and optimize maintenance regulations. The presented methodology can be recommended for widespread implementation in enterprises with a similar type of equipment, as well as used in a technical condition monitoring system within the framework of the predictive maintenance concept.

Keywords: centrifugal pump, thermal imager, thermographic examination, temperature, infrared radiation.

References

1. V.A. Gerasimov, S.I. Mel'nikov, Teplovizionnyj kontrol' nasosnogo oborudovaniya na promyshlennyh ob"ektah, Vestnik mashinostroeniya, 7, c. 48–52 (2019).
2. YU.V. Savchenko, Primenenie teplovizionnogo kontrolya pri tekhnicheskome obsluzhivanii nasosnyh agregatov, Energeticheskoe oborudovanie: ekspluatatsiya i diagnostika, 2, c. 35–39 (2020).
3. J. M. Yacout, C. B. Moloney, Infrared thermography and machine learning techniques for fault detection in rotating equipment, Journal of Mechanical Engineering Science, 232(22), p. 4125–4136 (2018). <https://doi.org/10.1177/0954406218783451>
4. H. B. Ahmed, Integrated thermography and vibration analysis for predictive maintenance of centrifugal pumps, International Journal of Prognostics and Health Management, 11(1), p. 1–10 (2020). <https://www.phmsociety.org/journal>
5. S.A. Bazhanov, Teplovizionnyj kontrol' elektrooborudovaniya v ekspluatatsii, chast' 2 (NTF «Energoprogress, Moskva, 2005), c. 64.
6. Fluke Corporation Introduction to thermography, Fluke Corporation, American Technical Publishers, Inc., The Snell Group, Orland Park, Illinois, s 68 (2009).
7. V.P. Vavilov, Infekrasnaya termografiya i teplovoj kontrol', (ID Spektr, Moskva, 2009), s. 544.
8. V.P. Ivanov, A.S. Konstantinov, V.V. Petrov, Diagnostika i remont teplotekhnicheskogo oborudovaniya, (Mashinostroenie, Moskva, 1991), s. 256.
9. S. A. Efremov, Teplovizionnaya diagnostika: principy i primeneniye, (Tekhnosfera, Moskva, 2015), s. 328.
10. V. A. Vasil'ev, Osnovy teplovogo kontrolya i diagnostiki mashin. (SPb, Piter, 2012), s. 270.
11. ISO 10816-1:1995. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines.
12. Teplovizionnyj kontrol' sostoyaniya oborudovaniya na promyshlennyh predpriyatiyah, Teploenergetika, 6, 2020, s. 55–60.
13. Teplovizionnoe obsledovanie nasosnogo oborudovaniya: opyt primeneniya, ZHurnal «Energoberezhenie», №4, 2021.

Авторлар туралы мәлімет:

Л.Б.Сағатова - «Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы» БББ постдокторанты, «Көлік инженериясы» бағыты бойынша аға оқытушысы, Satbayev University, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

С.А. Бортебаев – техника ғылымының кандидаты, «технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

Д.Д. Басканбаева - PhD, «технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан, d.baskanbayeva@satbayev.university

Ш.Д. Ахметова - техника ғылымының кандидаты, «Көлік инженериясы» бағыты бойынша қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

Л.Б.Сағатова - постдокторант ОП «Цифровая инженерия машин и оборудования», старший преподаватель по направлению «Транспортная инженерия», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

С.А. Бортебаев – кандидат технических наук, Ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

Д.Д. Басканбаева - PhD, Ассоциированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

Ш.Д. Ахметова - кандидат технических наук, Ассоциированный профессор по направлению «Транспортная инженерия», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

L.B. Sagatova - postdoctoral student of the EP "Digital Engineering of Machines and Equipment", Senior lecturer in the field of Transport Engineering, Satbayev University, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

S.A. Bortebayev - candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

D.D. Baskanbayeva - Ph.D., Associate Professor of the Department of Technological Machines and equipment, Satbayev University, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

Sh.D. Akhmetova - candidate of technical sciences, Associate Professor in the field of Transport Engineering, Satbayev University, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)