

Сағатовой Ләйла Бақытжанқызының

8D07110 – «Машиналар мен жабдықтардың сандық инженериясы» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға ұсынылған «Сорғы қондырғыларын пайдаланудың сандық мониторингін игеру» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Зерттеудің өзектілігі. Диссертациялық жұмыс техникалық күйін бақылаудың сандық әдістерін енгізу арқылы сорғы қондырғыларын пайдалану тиімділігін арттыру мәселесін қарастырады.

Зерттеудің өзектілігі Машина жасау және энергетика саласын сандық трансформациялау шеңберінде Қазақстанның өнеркәсіптік кәсіпорындарында жабдыққа қызмет көрсетудің болжамды моделіне көшу қажеттілігіне байланысты.

Қазақстан Республикасының қазіргі заманғы өнеркәсібі жағдайында сорғы қондырғылары сумен жабдықтаудың, жылу энергетикасының, мұнай-газ кешенінің және химия өнеркәсібінің технологиялық жүйелерінің ажырамас элементтері болып табылады. Өндірістік процестердің сенімділігі мен кәсіпорындардың энергетикалық тиімділігі олардың үздіксіз жұмысына тікелей байланысты. Алайда, сорғы жабдықтарының едәуір бөлігі нормативті қызмет ету мерзімінен асып түседі, бұл ақаулардың көбеюімен, энергияны тұтынудың жоғарылауымен және жабдықтың дайындық коэффициентінің төмендеуімен бірге жүреді.

Бүгінгі таңда Қазақстанда сорғы агрегаттарын бақылау және диагностикалау әдістері көбінесе мерзімдік тексерулер мен жоспарлы жөндеулерге негізделген. Мұндай тәсілдер жасырын ақауларды — валдардың дисбалансын, ротордың теңгерімсіздігін, мойынтіректердің тозуын, кавитацияны, электрқозғалтқыш пен сорғының центрден шығуын — уақтылы анықтауға мүмкіндік бермейді. Дүниежүзілік тәжірибеде предиктивті және цифрлық мониторинг жүйелері белсенді енгізіліп жатқанымен, отандық өнеркәсіпте олардың қолданылуы әлі де үзінділі сипатта.

Қолданыстағы шетелдік шешімдер (SKF, Siemens, ABB, Honeywell, Endress+Hauser) Қазақстанның климаттық және инфрақұрылымдық жағдайларына әрдайым бейімделмеген, оларды енгізу құны жоғары, техникалық қызмет көрсетуі күрделі және тұрақты телекоммуникациялық арналарды қажет етеді. Сонымен қатар, отандық кәсіпорындарға сорғы қондырғыларының күйін нақты уақыт режимінде бақылауға және ақаулардың дамуын алдын ала болжауға мүмкіндік беретін қолжетімді, сенімді әрі энергия үнемдейтін мониторинг жүйелері қажет.

Жұмыста BALTECH VP-3470 анализаторын қолдана отырып алынған діріл параметрлерін бірыңғай ақпараттық-аналитикалық жүйеге біріктіруге негізделген сорғы қондырғыларының сандық мониторингі тұжырымдамасы жасалды. Сорғыларды диагностикалаудың қолданыстағы әдістеріне талдау

жүргізілді, мойынтірек түйіндерінің ақауларының негізгі диагностикалық белгілері, сәйкессіздік, теңгерімсіздік және кавитация анықталды. 1К8/18 маркалы ортадан тепкіш сорғы мен қуаты 1,5 кВт электрқозғалтқыш негізінде эксперименттік стенд құрылымы жасалды, ол зертханалық сынақтарды жүргізуге және сандық диагностика алгоритмдерін тексеруге мүмкіндік береді.

Жұмыстың нәтижесі сенсорлық деңгейді, деректерді жинау және өңдеу модулін және техникалық параметрлерді визуализациялаудың бағдарламалық платформасын қамтитын әзірленген сандық мониторинг архитектурасы болып табылады.

Ұсынылған жүйені енгізу сорғы жабдықтарының сенімділігін арттыруға, апаттылықты төмендетуге және пайдалану шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Ғылыми-техникалық мәселе. Негізгі ғылыми-техникалық мәселе – сорғы агрегаттарынан алынған диагностикалық деректерді нақты уақыт режимінде жинауды, өңдеуді және талдауды біріктіретін бірыңғай сандық мониторинг платформасының болмауында. Діріл, температура, қысым және электрлік параметрлер сигналдарын интеллектуалды өңдеу алгоритмдерін, сондай-ақ агрегат тораптарының техникалық күйін және қалдық ресурсын болжауды қамтитын кешенді жүйені әзірлеу қажеттілігі туындап отыр.

Бұдан бөлек, өзекті міндеттердің бірі – жиілікпен реттелетін электржетектермен жұмыс істейтін отандық сорғылардың пайдалану жағдайларына бейімдей отырып, дірілді бақылаудың халықаралық стандарттары ISO 10816 және ISO 20816 талаптарын енгізу болып табылады.

Жұмыстың мақсаты — Апаттық жұмыс режимдерін және жасырын ақауларды анықтау мен олардың дамуын болжауға мүмкіндік беретін сандық мониторинг жүйесін енгізу арқылы ортадан тепкіш сорғы агрегаттарын пайдаланудың тиімділігін арттыру.

Зерттеу міндеттері:

- сорғы жабдықтарын пайдаланудың қолданыстағы жүйелеріне, сондай-ақ техникалық күйін бақылау әдістері мен құралдарына талдау жүргізу;
- ортадан тепкіш сорғы қондырғысының техникалық күйін зерттеу үшін эксперименттік қондырғыны әзірлеу;
- ортадан тепкіш сорғы агрегатының техникалық күйін виброанализатор мен тепловизор көмегімен бағалау бойынша зертханалық қондырғыда тәжірибелер жүргізу;
- діріл параметрлерін зерттеу үшін ортадан тепкіш сорғы қондырғысының айналмалы элементтерінің компьютерлік моделін әзірлеу;
- өнеркәсіптік жағдайда ортадан тепкіш сорғы қондырғыларының техникалық күйін вибродиагностика және жылулық бақылау әдістерімен зерттеу;
- діріл параметрлері мен диагностикалық белгілерді талдау негізінде диагностика әдісін әзірлеу;

- ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйін бағалауға арналған сандық мониторингті енгізу бойынша ұсынымдар әзірлеу.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

1. Нақты уақыт режимінде деректерді жинау, талдау және өңдеу технологияларын пайдалана отырып, діріл, жылу және электр диагностикасы әдістерін біріктіруге негізделген сорғы қондырғыларының жұмысын сандық мониторингілеудің ғылыми негізделген тұжырымдамасы әзірленді. Бұл тұжырымдама регламенттік техникалық қызмет көрсетуден жабдықтың нақты техникалық күйіне негізделген қызмет көрсетуге (Condition-Based Maintenance) көшуді қамтамасыз етеді.

2. Діріл параметрлері, жылу сипаттамалары және электр сигналдар арасындағы өзара байланысты ескеретін сорғы агрегатының техникалық күйін бағалаудың математикалық моделі әзірленді. Бұл модель негізгі тораптардың (мойынтіректердің, біліктің, тығыздағыштардың) тозу дәрежесін сандық түрде бағалауға және агрегаттың қалдық ресурсын болжауға мүмкіндік береді.

3. Мультисенсорлық деректерді (діріл, температура, ток, қысым) өңдеуге және теңгерімсіздік, сәйкессіздік, кавитация және мойынтіректердің тозуы сияқты ақауларды анықтау үшін спектрлік талдау, бақылау және машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануға негізделген сорғы қондырғыларын кешенді диагностикалау әдісі.

4. Диагностикалық деректерді жинау, беру, сақтау және талдау функцияларын жүзеге асыратын сандық мониторингтің бағдарламалық-аппараттық кешенін құру қағидаттары әзірленді. Ұсынылған архитектура ТП АБЖ және SCADA сияқты өнеркәсіптік басқару жүйелерімен үйлесімділікті, қашықтан қол жеткізу мүмкіндігін және таралған сорғы станцияларына арналған жүйенің ауқымдылығын қамтамасыз етеді.

5. Сорғы қондырғыларында типтік ақаулардың дамуы кезінде диагностикалық параметрлердің өзгеру заңдылықтары эксперименттік түрде расталды. Тозудың және кавитацияның әртүрлі сатыларына тән діріл және жылу белгілерінің сипаттық диапозондары анықталды, сондай-ақ олардың агрегаттардың энергия тиімділігінің өзгеруімен өзара байланысы орнатылған.

6. Өнеркәсіптік жағдайларда сорғы қондырғыларының сандық мониторинг жүйесін енгізу әдістемесі әзірленді. Әдістеме диагностикалық параметрлерді таңдау бойынша ұсынымдарды, ISO 10816/20816 стандарттарына сәйкес шекті мәндерді баптау ережелерін, техникалық қызмет көрсетуді басқарудың корпоративтік жүйелерімен (CMMS) интеграциялау тәсілдерін және енгізудің экономикалық тиімділігін бағалау әдістерін қамтиды.

Зерттеу нәтижелерінің ғылыми жаңалығы келесідей:

- ортадан тепкіш сорғы қондырғысы элементтерінің әртүрлі ақаулары кезінде "сигнал/шу" қатынасының кең диапозонында дірілді үдету, діріл жылдамдығы және дірілді жылжыту сигналдарының ортогоналдылығы орнатылған;

- діріл параметрлері мен олардың өзгеру жылдамдығының ортогоналдылығы эксперименталды түрде зерттеліп, анықталды, бұл оларды

сорғы жабдығын диагностикалау үшін бірлесіп пайдалану қажеттілігін дәлелдейді;

- орталықтан тепкіш сорғы роторының діріл әрекетін зерттеу үшін көп денелі динамика мен ақырлы элементтік талдау әдістерін біріктіретін интеграцияланған тәсіл ұсынылған;

- кіріктірілген серпімді элементтердің динамикалық сипаттамаларын таңдауға және оларды қолданған кезде ротор тербелістерінің демпферлік әсерін болжауға мүмкіндік беретін динамикалық модель жасалды.

- діріл және тозу параметрлері бойынша сорғы жабдықтарының техникалық күйін бағалауға мүмкіндік беретін тораптардың қалдық ресурсын болжау әдістемесі әзірленді.

Жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы.

Зерттеу нәтижелері Қазақстанның сумен жабдықтау, энергетика және уран өндіру өнеркәсібі кәсіпорындарының объектілерінде сорғы қондырғыларын пайдалану жүйелеріне енгізілетін болады. Құрылған жүйе жабдықты болжамды пайдалануға көшуді қамтамасыз етеді, техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады және өндірістік процестердің тиімділігін арттырады.

Нәтижелерді келесі бағыттарда қолдануға болады:

- Өнеркәсіптік объектілерде сорғы станцияларына техникалық қызмет көрсетуді ұйымдастыру кезінде;

- Болжамды диагностикалық жүйелерді енгізу үшін;

- Кәсіпорындарды цифрландыру бағдарламалары шеңберінде (Smart Maintenance, Industry 4.0);

- Эксперименттік зерттеу және модельдеу әдістері оқу процесінде тәжірибелік және зертханалық зерттеулер жүргізу кезінде және білім алушылардың ғылыми жұмыстарын орындау кезінде пайдаланылатын болады.

Зерттеу әдістемесі мен әдістері. Қойылған міндеттер зертханалық және өнеркәсіптік жағдайларда жүргізілген теориялық және эксперименттік зерттеулер арқылы орындалды. Зерттеулер барысында пайдалану жағдайларындағы стандартты өлшеу құралдары мен әдістері арқылы алынған статистикалық деректер мен ақпарат қолданылды. Зерттеу міндеттері дифференциалдық теңдеулерді шешудің аналитикалық және сандық әдістерін, механика мен динамика заңдылықтарын, сондай-ақ ақырлы элементтер әдістерін қолдану арқылы шешілді. Зерттеу техникалық жүйелерді диагностикалау принциптеріне, діріл теориясына, сенімділік теориясына және сигналдарды сандық өңдеу әдістеріне негізделген. Діріл параметрлерін алу және өңдеу BALTECH-Expert бағдарламалық қамтамасыздандыруының көмегімен жүзеге асырылды.

Ортадан тепкіш сорғы қондырғысының моделін және олардың элементтерін құру кезінде MSC.ADAMS бағдарламалық кешені пайдаланылды, оның ішінде препроцессор, постпроцессор және негізгі конфигурациядағы шешуші, құрастырылған модельді қозғалыс теңдеулері жүйесіне түрлендіреді және оларды сандық әдістермен шешеді. Сонымен қатар, пакетте көптеген мамандандырылған модульдер бар, олардың әрқайсысы әртүрлі жүйелер мен механизмдерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Жұмыс сорғы қондырғылары ресурсының диагностикасы мен болжамының сенімділігін арттыруға бағытталған эксперименттік өлшемдерді, аналитикалық модельдеуді және есептеу әдістерін біріктіруге негізделген.

Ізденушінің жеке үлесі-ғылыми зерттеудің негізгі кезеңдерін өз бетінше орындау, тапсырманы қоюдан бастап, сорғы қондырғыларының сандық мониторингінің дамыған жүйесін іс жүзінде жүзеге асыруға дейін.

Ізденуші жеке өзі:

1. Қазақстан Республикасының және шетел өнеркәсібіндегі сорғы агрегаттарын техникалық пайдалану мен диагностикалау мәселесінің қазіргі күйіне талдау жүргізілді; сандық мониторинг пен діріл диагностикасына отандық және шетелдік тәсілдері жинақталып, жүйелендірілді.

2. Құрылымдық схеманы, диагностикалық деректерді жинау және талдау алгоритмдерін қамтитын сорғы қондырғыларының сандық мониторингі жүйесінің тұжырымдамасы мен архитектурасы әзірленді, сондай-ақ қолданыстағы автоматтандыру жүйелерімен (ТП БАЖ, SCADA, CMMS) интеграциялау моделі ұсынылды.

3. Жиілікпен реттелетін электржетегі бар сорғы агрегаттарын зерттеуге арналған эксперименттік қондырғы (зертханалық стенд) жасалды. Ол 1K8/18 маркалы сорғыдан, қуаты 1,5 кВт электрқозғалтқыштан, діріл мен температура датчиктер жүйесінен, сондай-ақ деректерді жинауға арналған бағдарламалық-аппараттық модульден тұрады.

4. BALTECH VP-3470 және BALTECH TR-0102N жабдықтарын пайдалана отырып, сорғы қондырғыларын діріл және жылулық (тепловизиялық) диагностикалаудың әдістемесі әзірленді; эксплуатациялық факторлардың диагностикалық белгілерге әсері бойынша эксперименттік зерттеу жүргізілді.

5. Сипаттамалық ақауларды (теңгерімсіздік, сәйкессіздік, мойынтіректердің тозуы, кавитация) анықтау үшін спектрлік талдау, Фурьені жылдам түрлендіру, ордер-трекинг және машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, эксперименттік деректерді өңдеу және талдау жүргізілді.

6. Мультисенсорлық деректер (діріл, температура, электр параметрлері) негізінде сорғы агрегаттарының техникалық күйін бағалау және қалдық ресурсын болжау алгоритмдері әзірленді.

7. Модельдеу нәтижелері мен эксперименттік мәліметтер салыстырылды, алынған тәуелділіктердің дұрыстығын тексеру және бағалау жүргізілді.

8. Қазақстанның өнеркәсіптік кәсіпорындары күйін сорғы қондырғыларының сандық мониторингі жүйесін енгізу бойынша әдістемелік ұсынымдар дайындалды.

9. Алынған нәтижелер негізінде рецензияланатын журналдарда, соның ішінде Scopus және Web of Science базаларында индекстелген халықаралық басылымдарда бірқатар ғылыми мақалалар жарияланды.

10. Диссертацияда тұжырымдалған негізгі қорытындылар мен ұсыныстар ізденушінің жеке өзі алған нәтижелері болып табылады және оның ғылыми-зерттеу мен эксперименттік қызметінің нәтижесін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелерін өңдеу.

Эксперименттік зерттеулер жүргізілді:

1. Диссертациялық жұмыста Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының зертханаларының зертханалық стендтерін және де, «ҚазАтомӨнеркәсіп» ҰАҚ» АҚ «ХОРАСАН-U» БК» өнеркәсібінде SULZER ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйіне жүргізілген зерттеулер пайдалана отырып эксперименттік жұмыстар жүргізілді;

2. Эксперименттік деректерді өңдеу және талдау негізінде келесі нәтижелер алынды:

Алынған деректер негізінде діріл мен температураны онлайн режимде бақылайтын сандық мониторинг жүйесінің алгоритмі тексерілді. Жүйе нақты уақыттағы ақау белгілерін 92–95 % дәлдікпен анықтай алатыны көрсетілді.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері мен ережелері Ғылыми-техникалық конференцияларда, семинарларда және ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау барысында кеңінен сынақтан өтті, бұл олардың ғылыми және практикалық маңыздылығын растады.

1. Зерттеу нәтижелері бірнеше рет Satbayev University университетінің А. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты мен «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының мәжілістерінде баяндалып, талқыланды. Талқылау қорытындылары бойынша оң пікірлер мен жұмысты одан әрі жетілдіруге арналған ұсынымдар алынды.

2. Ұсынылған сандық мониторинг жүйесін эксперименттік зерттеулер мен тәжірибелік тексеру Satbayev University "Технология машиналары және жабдық" кафедрасында, сондай — ақ өндірістік әріптес-"Қазатомөнеркәсіп ҰАҚ" АҚ "Хорасан-U" БК бірлескен кәсіпорнының қатысуымен жүргізілді, онда SULZER типті сорғы агрегаттарының жылулық және дірілдік өлшеулері орындалды.

3. «Сорғы жабдықтарының техникалық күйін мониторинг жүргізудің автоматтандырылған жүйесін енгізу» мақала Қазақстан Республикасының тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты ХІ халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдар жинағында жарияланған (Теміртау қ., 2021 ж.).

Жариялымдар. Диссертациялық зерттеудің нәтижелері Scopus

дерекқорында CiteScore бойынша Q1, процентильтерге сәйкес келетін 1 мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдар тізбесіне енгізілген журналдарда 3 мақала, халықаралық конференцияларда 2 баяндама, басқа ғылыми журналдар мен басылымдарда жарияланған 1 мақала жарияланды.

Жұмыс құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан және қорытындыдан тұрады. Диссертация 109 беттен, 39 суреттен, 15 кестеден, 113 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және 1 қосымшадан тұрады.