

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/QXJM4576>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,216

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Сулейменов Ансаган Дюсембаевич – PhD (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Кажиева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Жунусов Аблай Каиртасович – к.т.н., асс. профессор (доцент) (Павлодар, Казахстан);
Зарубежные члены редакционной коллегии:
Baigang Sun – PhD, профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Majin Lapuerta – д.т.н., профессор (Сьюдад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мялков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., доцент (Сафонов, Россия);

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***Л. Б. Сағатова¹, С. А. Бортебаев², А. Д. Кольга³,
К. К. Елемесов⁴, Д. Д. Басканбаева⁵**

^{1,2,4,5}Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

³Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Ресей Федерациясы, Екатеринбург қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3918-288X>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8761-3429>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3194-2274>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>

*e-mail: l.sagatova@satbayev.university

ДІРІЛ ПАРАМЕТРЛЕРІ БОЙЫНША ОРТАДАН ТЕПКІШ СОРҒЫ АГРЕГАТТАРЫНЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІН БАҒАЛАУ

Мақалада ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының дірілдік параметрлерін талдау негізінде жабдықтың техникалық күйін бағалау нәтижелері қарастырылған. Осы зерттеу шеңберінде ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының діріл параметрлері бойынша диагностикалық ақпаратты іріктеу пайдаланылды. Өндірістік жағдайда ортадан тепкіш сорғыларға дірілдік диагностика жүргізу әдістемесі сипатталған. Сорғы агрегаттарының техникалық күйін зерттеу үшін электрқозғалтқышының мойынтіректері мен сорғы дөңселегінің жетек біліктері таңдалған. Сонымен қатар диагностика жүргізуге арналған анализаторды пайдалану, діріл датчиктерін орналастыру реті баяндалған. Діріл анализаторының көмегімен айналмалы машиналар мен механикалық құрылымдардың діріл параметрлерін олардың техникалық күйін диагностикалау мақсатында талдау функцияларын орындайды. Жұмыс істеп тұрған ортадан тепкіш сорғылардың мойынтірек тораптарының діріл жылдамдығының спектрлері анализатордың көмегімен тіркеліп діріл сигналдарын өңдеу үшін сигналдың жиілік құрамын анықтауға мүмкіндік беретін тікелей спектр (автоспектр) және діріл сигналының конверттік спектрі әдістері қолданылды. Автоспектр графиктеріндегі діріл сигналының гармоникалық компоненттері ақаулардың болуын көрсетеді және сорғы жабдықтарын жүйелі бақылауды қажет етеді. Жүргізілген зерттеулер ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйін бағалау мен болжаудың бірыңғай диагностикалық критерийін құруды қамтамасыз ететін діріл параметрлері бойынша бағалаудың негізгі диагностикалық белгілерін қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Кілтті сөздер: ортадан тепкіш сорғы, діріл диагностикасы, діріл анализаторы, сорғы қондырғыларын бақылау, деректерді визуализациялау, автоспектр, спектрлік талдау.

Кіріспе

Өндірістік кәсіпорындардағы технологиялық жабдықты пайдалану оның техникалық күйін бағалаумен тығыз байланысты. Сорғы жабдықтарының дірілді диагностикасы олардың техникалық күйін анықтаудың ең тиімді және сенімді әдістерінің бірі болып табылады. Сонымен қатар, жабдыққа диагностика жасау жабдықтың жұмыс істеп тұрған кезінде үздіксіз жүргізілуі тиіс, бұл технологиялық процесті тоқтатпай жүргізуге мүмкіндік береді. Ортадан тепкіш сорғылар сумен жабдықтау және су бұру жүйелерінде, сондай-ақ тау-кен металлургиясы, мұнай өндіру, машина жасау және т. б. әртүрлі салаларда қолданылады.

Дірілді диагностика және жабдықтардың техникалық күйін бағалау мәселелерін зерттеуде П. П. Пархоменко, Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова, И. А. Биргер, М. Д. Генкин, В. Н. Костюков, В. В. Ключев, В. А. Щепетильников және басқа да ғалымдардың еңбектерін атап өтуге болады [1; 2; 3].

Техникалық диагностика бойынша ғылыми нәтижелерді жинақтайтын негізгі еңбектер арасында П. П. Пархоменко мен оның шәкірттерінің еңбектерін атап өткен жөн. Еңбектер дискретті объектілерді диагностикалау теориясының негізгі нәтижелерін қамтиды. В. Н. Костюковтың еңбектерінде объектілердің техникалық күйін бақылау олардың діріл сигналдарының диагностикалық деңгейін өлшеу және кейінгі талдау арқылы қамтамасыз етілетіні анықталған [1; 2; 3]. Ортадан тепкіш сорғы агрегатында техникалық күйді анықтайтын негізгі диагностикалық торап ретінде мойынтірек тораптары таңдалды, себебі олар барлық жұмыс жүктемелерін қабылдайды және агрегаттың басқа тораптарымен салыстырғанда ең төменгі пайдалану ресурсына ие.

Машиналар мен механизмдердің дірілі — математикалық тұрғыдан оңай сипатталмайтын күрделі процесс. Машиналардың дірілі олардың сенімділігі мен ұзақ мерзімділігінің төмендеуіне, жоспардан тыс жөндеуге, апаттық жағдайлардың пайда болуына, технологиялық режимнің бұзылуына және т.б. әсер етеді. Қандай да бір технологиялық жабдықтың, оның ішінде сорғы жабдығының жалпы діріл сенімділігі — оның ең маңызды пайдалану сипаттамаларының бірі болып табылады. Төмен және тұрақты діріл деңгейі, сорғы жабдығының барлық жұмыс режимдерінде резонанстық және автоқозғалыс құбылыстарының болмауы қажетті сенімділікті қамтамасыз етеді. Статистикалық деректерге сәйкес, артқан діріл себебінен өндірістік кәсіпорындарда ортадан тепкіш сорғылардың 60 %-дан астамы істен шығады.

Ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйін бағалау барысында негізінен жоспарлы-сақтандырушылық жөндеу жүйесі қолданылады. Мұнда тек екі фактор ескеріледі: температура мен қысым, бұл жабдықтың техникалық күйі туралы сенімді ақпарат алуға мүмкіндік бермейді. Сондықтан мұндай жағдайда жабдықтың техникалық күйінің деградациялық процестерін болжауға арналған бірегей диагностикалық критерийлерді әзірлеу өзекті болып табылады [4; 5]. Механикалық жабдықтағы ақаулардың әр тобы үшін (мысалы, туралау ақаулары немесе мойынтіректердің зақымдануы) жеке диагностикалық белгілер мен ережелердің үлкен тобын пайдалану қажеттілігін алмастыра алатын бірегей

бірыңғай критерий жасалуы керек. Бірыңғай критерийді қолдану бақылау нәтижелерінің сенімділігін арттыра отырып, диагностикалық сипаттамаларды талдауға кететін уақытты азайтуға мүмкіндік береді. Жұмыстың негізгі мақсаты – сорғы жабдықтарының нақты техникалық күйін тиімді бағалауға және олардың тораптары мен элементтерінің деградациялық процестерінің дамуын болжауға мүмкіндік беретін ақауларды анықтау үшін діріл параметрлері негізінде кешенді диагностикалық тәсіл қалыптастыру болып табылады.

Зерттеу жаңалығы ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйін бағалау үшін діріл параметрлеріне негізделген кешенді диагностикалық тәсіл болып табылады, ол:

- кеңейтілген жиілік диапазонындағы (2–3000 Гц) діріл жылдамдығы мен дірілді үдеудің автоспектрлік және конверттік спектрлік талдауын біріктіреді;
- әртүрлі ақауларға тән гармоникалық компоненттерді сәйкестендіру арқылы бірыңғай диагностикалық критерийді қалыптастырады;
- нақты өндірістік жағдайда алынған вибрациялық трендтер негізінде қалдық ресурсты бағалау әдістемесін ұсынады;
- BALTECH VP-3470 анализаторы арқылы алынған нақты деректерді ISO 10816 стандартымен салыстыра отырып дефектоскопияны цифрлық платформада жүргізуге мүмкіндік береді.

Зерттеу құндылығына келесілерді жатқызуға болады:

- зерттеу нәтижесінде алынған бірыңғай диагностикалық критерий ортадан тепкіш сорғылардың техникалық күйін нақты әрі жедел бағалауға мүмкіндік береді, бұл жөндеу аралық интервалдарды оңтайландыруға жағдай жасайды;
- ұсынылған діріл диагностикасына кешенді тәсіл (автоспектр мен конверт спектрін біріктіріп қолдану) өндірістік жағдайда күрделі ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді, бұл жабдықтың күтпеген апаттық тоқтап қалуын азайтады;
- BALTECH VP-3470 анализаторы мен ISO 10816 стандартының үйлесімді қолданылуы жабдықтың күйін сандық түрде бақылау жүйесін ендіруге негіз болады;
- жинақталған әдістеме инженерлік тәжірибеде, яғни техникалық қызмет көрсету, жоспарлау және шешім қабылдау процестерінде тәжірибелік құрал ретінде қолдануға бейімделген;
- қалдық ресурсты трендтер арқылы бағалау тәсілі жабдықтың қалпына келтіру ресурсын сандық бағалауға жол ашады, бұл сервистік шығындарды төмендетуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

Дірілді диагностика жабдықтың техникалық күйін бақылаудың негізгі әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс дірілдің сипаты мен дәрежесін, содан кейін осы көріністердің себептерін сенімді анықтауға мүмкіндік беретін құрылғылардың көмегімен жүзеге асырылады. Дірілді диагностика сорғы қондырғыларының жұмысы кезінде пайда болатын діріл сигналдарын талдауға негізделген. Бұл сигналдар механикалық компоненттердің, мысалы,

мойынтіректер, біліктер мен тығыздағыштар сияқты элементтердің күйі туралы ақпаратты қамтуы мүмкін [6].

Талдау үшін негізгі параметрлерге мыналар жатады:

- діріл амплитудасы;
- тербеліс жиілігі;
- фазалық ығысу.

Спектрлік талдауды қолдану нақты ақау түрлерімен байланысты сипаттамалық жиіліктерді айқындауға мүмкіндік берді. Мониторинг жүйесі келесі компоненттерден тұрады:

- діріл датчиктері – сорғылардың күйі туралы деректерді жинау үшін;
- контроллер – ақпаратты өңдеу және сақтау үшін;
- бағдарламалық қамтамасыз ету – деректерді визуализациялау және қондырғылардың жай-күйін талдау үшін.

Пайдаланушы интерфейсі операторларға сорғы қондырғыларының күйін нақты уақыт режимінде бақылауға және ықтимал ақаулар туралы ескерту хабарламаларын алуға мүмкіндік берді. Өлшеу нәтижелері туралы есептерді беру BALTECH VP-3470 діріл анализаторының USB порты арқылы жүзеге асырылды.

Сорғы агрегаттарының діріл күйін толық сипаттайтын шама ретінде діріл қарқындылығының мәнін қолдану әдеттегідей. Бұл шама 10 Гц-тен 1000 Гц-ке дейінгі жиілік диапазонындағы діріл жылдамдығының орташа квадраттық мәні ретінде анықталады. Ортадан тепкіш сорғыларда дірілді бақылау білік осіне қатысты екі өзара перпендикуляр көлденең бағытта мойынтірек тіректерінің корпустарында жүргізіледі.

Айналмалы машиналардың діріліне арналған нормалар стандарттармен немесе олар болмаған кезде басқа да регламенттеуші құжаттармен айқындалады. ISO 10816 стандартына сәйкес барлық машиналар діріл деңгейіне қарай 4 аймақтың біріне жатады – А, В, С, D (1-сурет):

- А аймағы – жаңа пайдалануға берілген машиналар;
- В аймағы – пайдалану мерзімін шектемей қолдануға жарамды машиналар;
- С аймағы – ұзақ әрі үздіксіз пайдалануға жарамсыз машиналар;

Әдетте, мұндай машиналар жөндеу жұмыстары жүргізілгенге дейін шектеулі уақыт жұмыс істей алады;

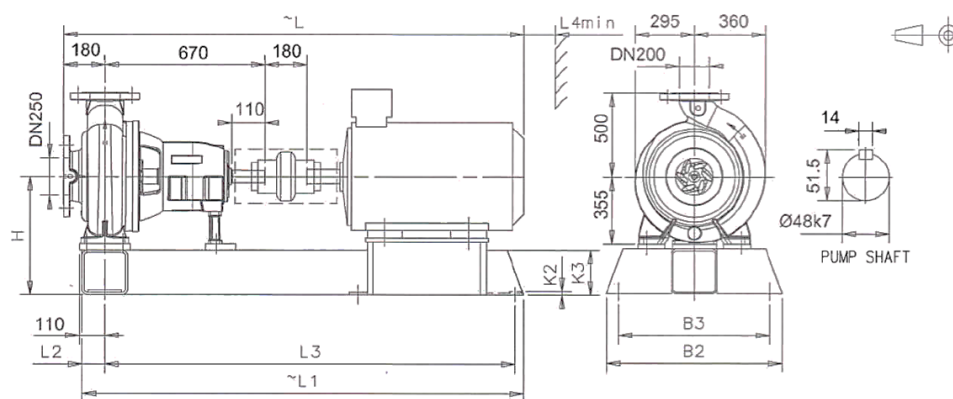
- D аймағы – бұл аймақтағы діріл деңгейлері машинаның зақымдануына әкелуі мүмкін елеулі көрсеткіштер ретінде қарастырылады.

ISO 10816-1 СТАНДАРТЫ				
$V_{окм}$, мм/с	I Сынып 15 кВт дейінгі шағын машиналар	II Сынып Орташа машиналар 15 - 875 кВт дейін	III Сынып Үлкендер қатты іргетаста	IV Сынып Үлкендер серпімді іргетаста
45.00	D	D	D	D
28.00				
18.00				
11.20				
7.10	C	C	C	C
4.50				
2.80				
1.80				
1.12	B	B	B	B
0.71				
0.45				
0.28				

1-сурет – ISO 10816 стандарты бойынша ортадан
тепкіш сорғылардың діріл нормалары

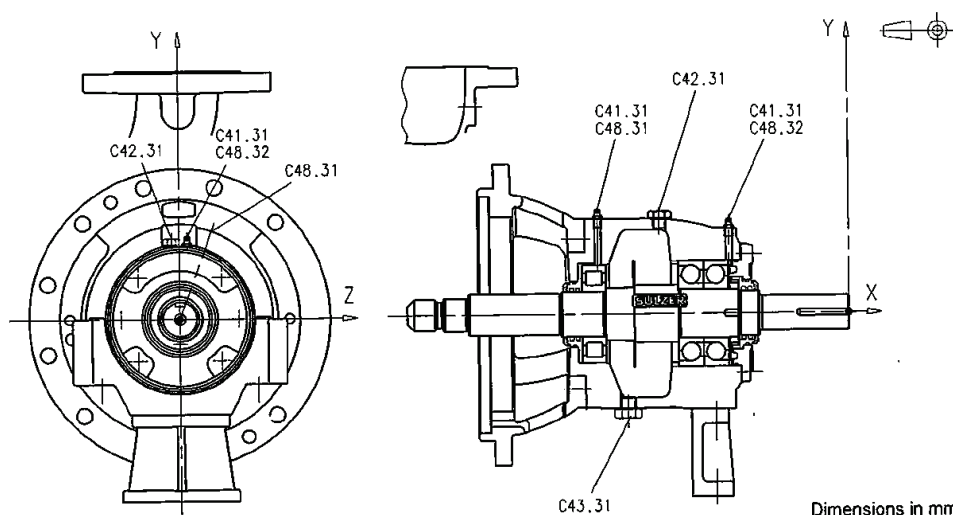
Діріл сигналы осы өзара әрекеттесудің ерекшеліктері туралы көптеген диагностикалық ақпарат береді және діріл сигналын өңдеу және талдау арқылы дамыған ақауларды ғана емес, сонымен қатар олардың пайда болу кезеңіндегі ақауларды анықтауға болады, бұл олардың уақыт өте келе дамуын болжауға мүмкіндік береді. Осылайша, жабдықтың діріл диагностикасы жоспарлы-алдын алу жөндеу жүйесінен нақты жағдай бойынша (немесе белсенді) жөндеуге көшуге мүмкіндік береді, бұл жабдыққа техникалық қызмет көрсету шығындарын 40–50 %-ға азайтады.

SULZER маркалы ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық жағдайын анықтау үшін дірілдік диагностика әдісін қолдану тәжірибесінде қарастырылады. Сорғы агрегаттары «ХОРАСАН-U» ЖШС, «Қазатомөнеркәсібі ҰАК» АҚ жағдайында уран өндірісінің өнімді ерітінділерін айдауға арналған. Сорғы агрегаттары үш станцияда (ТНС-1, ТНС-2, ТНС-3) орналасқан, әр станцияда 4 агрегат жұмыс жасап тұр. Агрегат әр түрлі модификациялы АРР типті бір секциялы центрифугалық сорғыдан, айналым саны 1500 айн/мин және қуаты 400 кВт болатын МЗВР типті жетекті электрқозғалтқышынан тұрады. 2 және 3-суреттерде сорғы агрегатының жалпы көрінісі және сорғының мойынтірек тораптарының орналасуы көрсетілген.



2-сурет – Сорғы агрегатының жалпы көрінісі

Сорғы жұмыс дөңгелегі жағында бір цилиндрлік роликті мойынтірекпен және муфта жағында екі қатарлы радиалды-тірек шарикті мойынтіректермен жабдықталған.



3-сурет – Мойынтірек торабы

Ортадан тепкіш сорғы агрегатын пайдалану процесінде оның тораптары мен бөлшектеріне статикалық, динамикалық (өзгермелі, соққылы) және циклдік жүктемелер әсер етеді. Тұрақты статикалық жүктемелер бөлшектердің пішінінің өзгеруіне, кинематикалық жұптардағы бос орындарға және бөлшектерде жарықтардың пайда болуына әкеледі. Циклдік жүктемелер металдың циклдік шаршауына және тораптар мен бөлшектерде ақаулардың дамуына себеп болады. Динамикалық жүктемелер динамикалық кернеулердің пайда болуына және бөлшектердің шаршау зақымдануларын жинақтауға әкеледі.

Сорғы агрегаттарының техникалық күйін зерттеу үшін электрқозғалтқышының мойынтіректері мен сорғы дөңгелегінің жетек біліктері тандалды. 4-суретте

SULZER сорғы агрегатының жалпы көрінісі және діріл параметрлерін өлшеу нүктелері көрсетілген.



4-сурет – Ортадан тепкіш сорғы агрегатының жалпы көрінісі

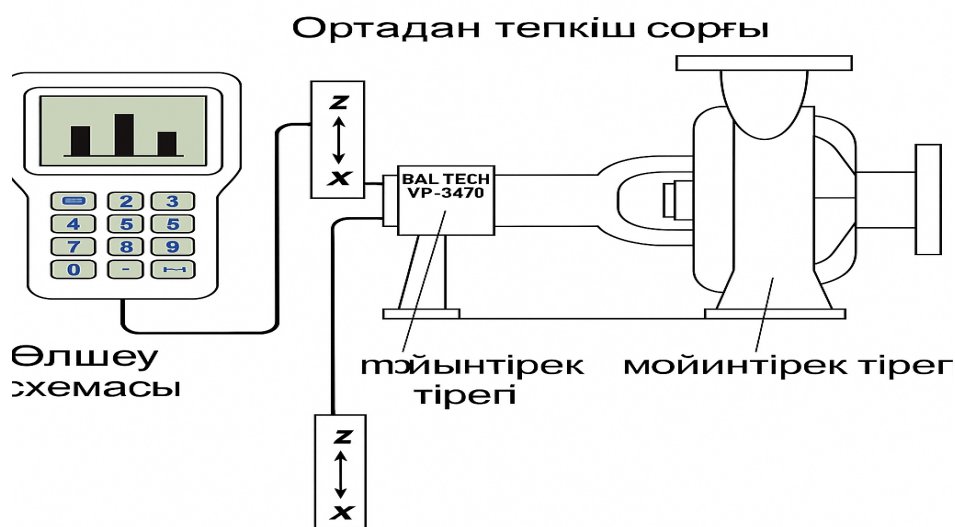


5-сурет – BALTECH VP-3470 діріл анализаторы

Діріл параметрлерін зерттеу BALTECH діріл анализаторының көмегімен жүзеге асырылды. Діріл анализаторы жүйесіне есептеу блогы, магниттік бекіткіші

бар діріл датчигі, USB интерфейсі кабелі, магниттік штатив, діріл датчигі кабелі, сигнал кабелі және таходатчик кіреді (5-сурет). Діріл датчиктерінің магниттік қондырғысы өлшеудің сенімділігін қамтамасыз етеді және діріл параметрлерін өлшеу үшін ең аз уақытты қажет етеді. Анализатор сонымен қатар BALTECH Expert бағдарламалық жасақтамасы бар, ол машиналар мен механизмдердің техникалық күйін анықтауға, сондай-ақ роторлардың динамикалық теңгеруді орындауға арналған.

Діріл датчиктері магниттік штатив көмегімен сорғы агрегатының мойынтірек тораптарының сыртқы беттеріне орнатылды (6-сурет). Орнату кезінде білік осіне перпендикуляр екі көлденең бағытта (осьтік және тангенциалды) және бір тігінен бағытталған үш өлшеу бағыты қолданылды. Өлшеу ISO 10816 стандартының талаптарына сәйкес жүргізілді.



6-сурет – Сорғы мойынтіректер корпусына діріл датчиктерін орнату сұлбасы

Зерттеу барысында әрбір сорғы агрегатына қатысты діріл параметрлері кемінде үш рет өлшенді. Өлшеулер әртүрлі уақыт аралықтарында, бірдей жұмыс режимінде жүргізілді. Бұл тәсіл трендтерді қалыптастыруға, деректердің тұрақтылығын бағалауға және өлшеу нәтижелерінің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында BALTECH VP-3470 діріл анализаторының стандартты конфигурациясындағы жиілік сүзгілері (frequency filters) қолданылды. Атап айтқанда:

- жиілік диапазоны - 10 Гц – 1000 Гц;
- сүзгі түрі - IEC стандарттарына сай жоғары жиілікті сүзгі (HPF) және төмен жиілікті сүзгі (LPF);
- сүзгілер артық шуды басып, ақпараттық пайдалы сигналды (діріл энергиясын) бөліп көрсетуге мүмкіндік берді.

Бұл сүзгілер ISO 10816 стандартына сәйкес діріл жылдамдығының (v , мм/с) нақты өлшемін алуға бағытталған. Сонымен қатар автоспектр мен конверт спектрді талдау кезінде жоғары жиілікті құрамдастарды бөліп көрсету үшін конверттік сүзгі қолданылды, бұл сүзгілер зақымдану белгілерін ерте кезеңде сенімді анықтауға жағдай жасады.

Барлық өлшенген діріл параметрлерін маршрут бойынша қажетті механизмді жабдық ағашынан таңдау арқылы көруге болады. Бағдарламада деректерді график түрінде қарау мүмкіндігі қарастырылған, сонымен қатар спектрлер мен спектрлер архивін қарау үшін қосымша тармақтар бар. Барлық графиктер толықтай бапталатын (түстер, қаріптер, сызық түрлері және т.б.) және интерактивті болып табылады, яғни масштабты оңай өзгертуге, қызықтыратын учаскелерді үлкейтуге, принтерге басып шығаруға немесе көшірме буферіне сақтап, кейін есептерге қоюға болады.

Трендтерді талдау механизмнің қалдық ресурсын шамалап бағалауға мүмкіндік береді. Бағалау жеке механизм нүктелеріндегі өлшеу нәтижелерін аппроксимациялау және трендтің регрессия сызығын құру арқылы жасалады. Трендтерді талдау режимін ашу үшін қажетті механизмді жабдық ағашында таңдап, жабдық ағашының контекстік мәзірінде «Трендтерді талдау» тармағын таңдау қажет. Графикте өлшеу нәтижелері көрсетіледі, сары және қызыл сызықтар тиісті ескерту және апаттық шекті мәндерге сәйкес келеді. Тренд құру үшін кемінде үш өлшеу қажет. Өлшенген діріл жылдамдығының деңгейлері ISO 108163 стандартына сәйкес нормативтік мәндермен салыстырылады [7].

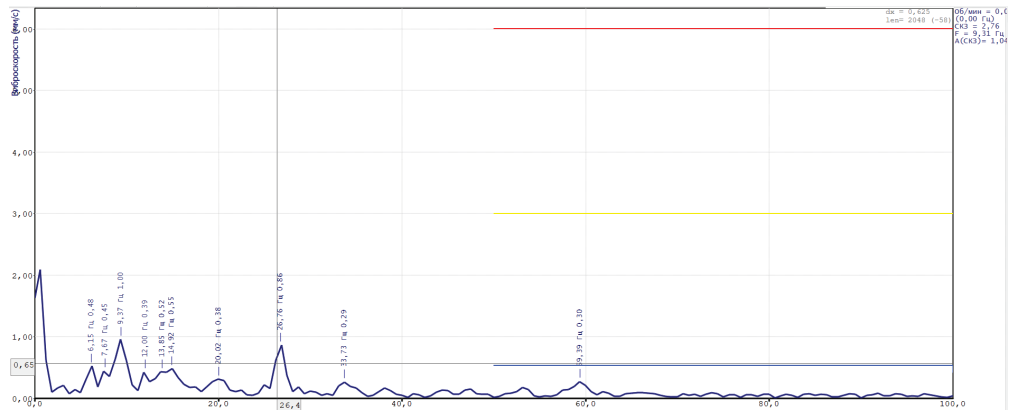
Діріл сигналын өңдеудің әртүрлі әдістері бар: корреляция, автокорреляция, спектрлік талдау, кепстральды сипаттамалар, шектен шығуды есептеу, конверт. Бұл жұмыста сигналдың жиілік құрамын анықтауға мүмкіндік беретін тікелей спектр (автоспектр) және діріл сигналының конверттік спектрі әдістері қолданылды. Спектрлік талдау зақымдануды бір мәнді анықтау және болып жатқан процестер мен діріл спектрлері арасындағы түсінікті кинематикалық тәуелділіктердің арқасында ақпаратты ұсынудың ең кең тараған әдісіне айналды [8; 9].

Спектрограмма түріндегі діріл сигналының графикалық көрінісі спектрдің құрамы туралы көрнекі түсінік береді. Дірілді құрайтын амплитудалардың сипатын анықтау жабдықтың ақауларын анықтауға мүмкіндік береді. Дірілді жеделдету спектрограммаларын талдау зақымдануды ерте анықтауға мүмкіндік береді. Діріл жылдамдығының спектрограммалары дамыған зақымдануды бақылау үшін қолданылады. Зақымдануды анықтау ықтимал зақымданудың алдын ала анықталған жиілігімен жүзеге асырылады.

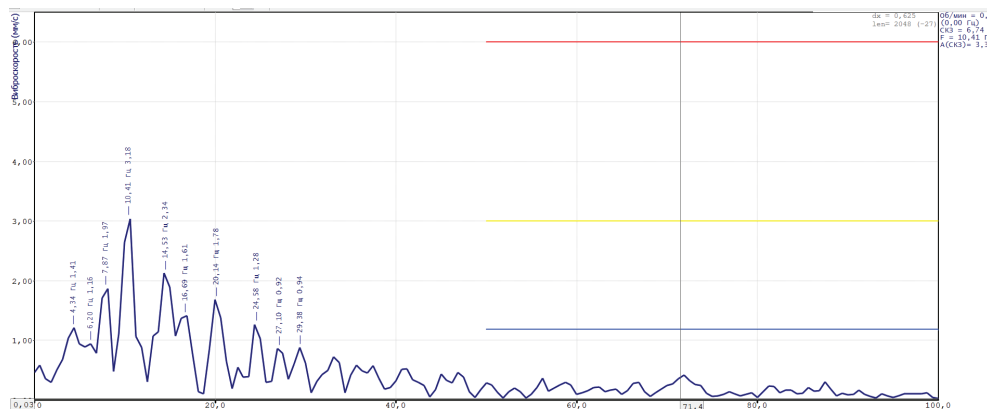
Нәтижелер және талқылаулар

Ортадан тепкіш сорғы агрегаттарының техникалық күйіне жүргізілген зерттеулер бойынша сорғы мен электрқозғалтқышының мойынтіректер тораптарының діріл жылдамдығы параметрлерінің нәтижелері алынды. Зерттеу барысында үш станциядағы барлық SULZER маркалы APP типті ортадан тепкіш сорғы агрегаттары зерттелді. BALTECH Expert бағдарламалық жасақтамасының көмегімен діріл параметрлері өңделіп, спектрлер түрінде кескіндер алынды. Өлшеу

барысында алынған нәтижелерді бір-бірімен діріл жылдамдықтары бойынша салыстыра отырып, мәндері жоғарырақ сорғылар таңдалып алынды. Мысалы, 7 және 8-суреттерде діріл сигналы жоғарырақ сорғы қондырғыларының діріл жылдамдығының автоспектрлері көрсетілген.



7-сурет —№ 3 ТНС-1 сорғы электр қозғалтқышының мойынтіректерінің діріл жылдамдығының автоспектрі



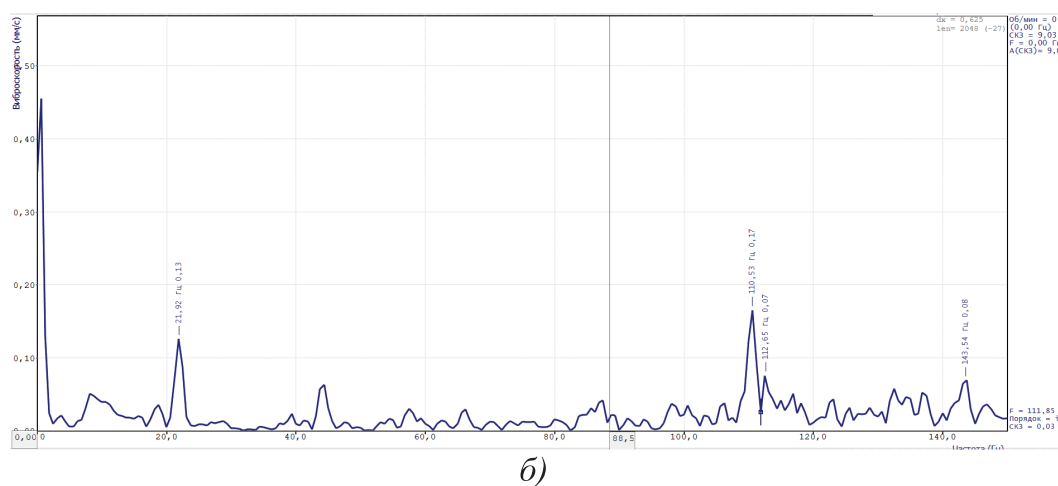
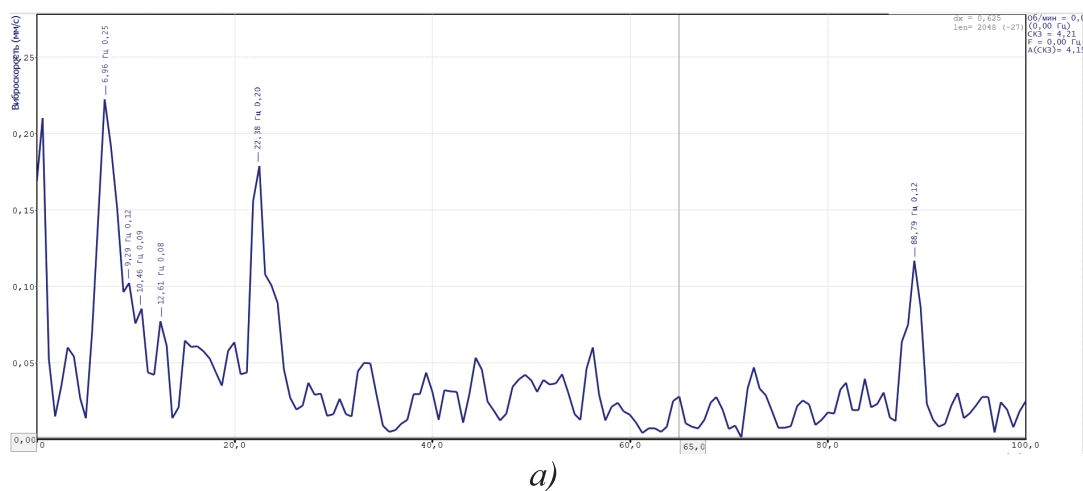
8-сурет – № 1 ТНС-1 сорғының жұмыс дөңгелегі жағынан мойынтіректің діріл жылдамдығының автоспектрі

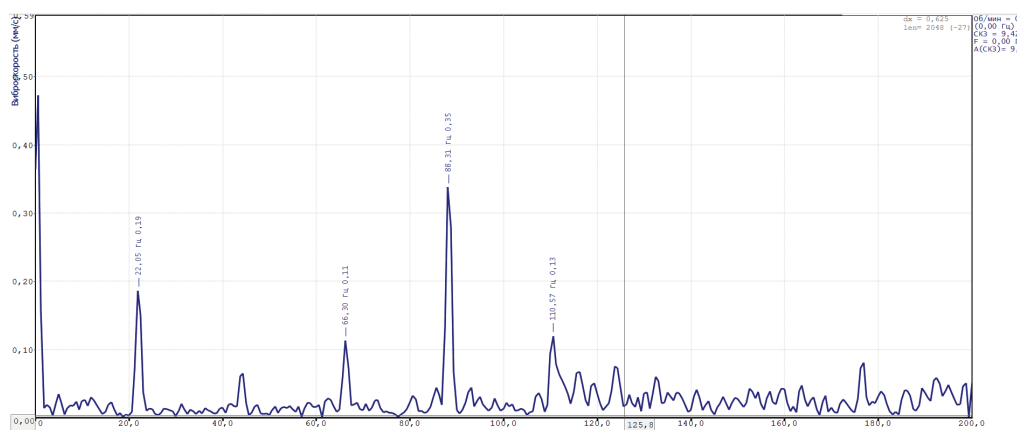
№1 ТНС-1 сорғысында автоспектрлік талдау кезінде тіркелген негізгі гармоника ($1\times$) амплитудасы 2,4 мм/с деңгейінде, бұл көрсеткіш ISO 10816 стандарты бойынша В/С аймағының шекарасында орналасады, яғни ұзақ мерзімді сенімді жұмысқа сәйкес келмейді және түзетуді қажет етеді. Есептеулерге сәйкес, бұл діріл деңгейі ротор массасының 6–8 г теңгерілмегенін білдіреді (жұмыс дөңгелегінің массасына қатысты 0,05–0,07 %).

Мойынтірек жинағының діріл жылдамдығының автоспектрлерінде байқалатын амплитудалық аномалиялар сорғы қондырғысының техникалық күйі туралы маңызды диагностикалық ақпарат береді, өйткені олар жабдықтағы ақаулардың салдарынан пайда болады. Сонымен қатар, ақаудың әр түрі өзінің гармоникасына сәйкес келеді, олар кинематикаға және сорғының жұмыс дөңгелегінің айналу

жылдамдығына байланысты біржақты есептеледі. Тиісті ақаудың пайда болуы спектрде белгілі бір гармоникалардың болуымен анықталады, ал ақаудың даму дәрежесі гармоника амплитудасымен анықталады [10; 11; 12].

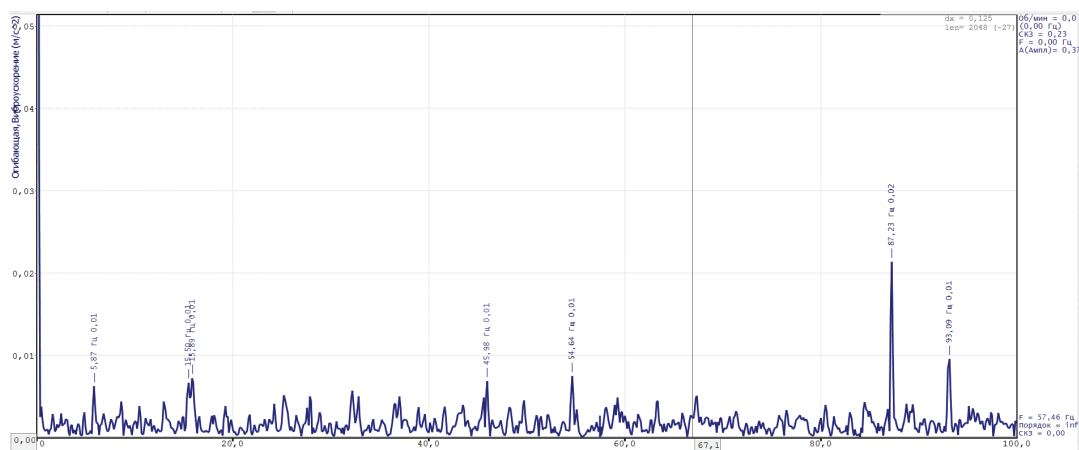
Графиктерден көріп отырғаныңыздай, бұл мойынтіректердегі діріл деңгейлері сары сызықтан аспайды, яғни нормадан аспайды, бұл ақауды жою үшін ешқандай әрекет қажет емес, бірақ түйіннің күйіне нақты бақылау жүргізу қажет. Басқа сорғы қондырғыларында діріл сигналдарының деңгейі одан да төмен, амплитудалық жарылыстар байқалмайды, яғни бұл қондырғылардағы мойынтіректердің діріл жылдамдығының гармоникалық компоненттері 1,2 мм/с мәнінен аспайды. SULZER центрифугалық сорғы қондырғыларының діріл жылдамдығының автоспектрлері мен конверттік жиынтық спектрлерінің мысалдары 9 және 10 суреттерде көрсетілген.



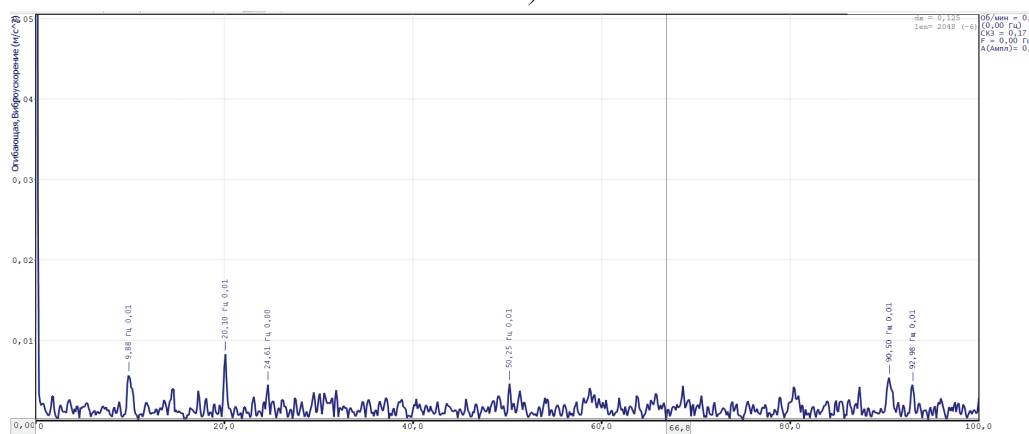


б)

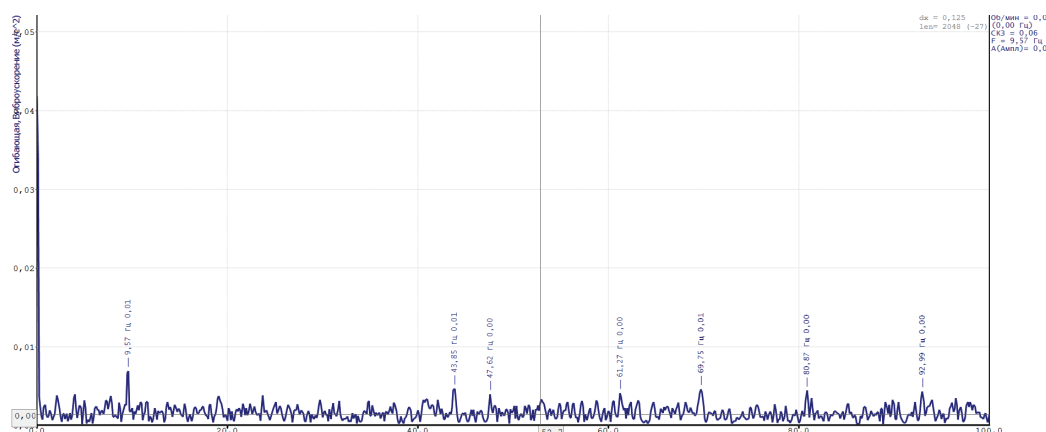
а-Электр қозғалтқышының артқы мойынтірегі; б-муфта жағындағы сорғы мойынтірегі; в-доңғалақ жағындағы сорғы мойынтірегі
9-сурет – Сорғы қондырғысының мойынтіректерінің автоспектрлері



а)



б)



в)

а-Электр қозғалтқышының артқы мойынтірегі; б-муфта жағындағы сорғы мойынтірегі; в-доңғалақ жағындағы сорғы мойынтірегі
10-сурет – Сорғы қондырғысының мойынтіректерінің спектрлері

Барлық сорғылар бойынша алынған өлшеу нәтижелері 1-суретте көрсетілген ISO 10816 стандарты бойынша діріл деңгейлерінің кестесінде берілген мәндермен салыстырылып тиісті ISO аймағына жатқызылды. Мысалы: № 3 ТНС-1 сорғысында тіркелген діріл жылдамдығы 2,3 мм/с болып, В аймағына сәйкес келеді – бұл қалыпты жұмыс жағдайы деп саналады. Сонымен қатар, диаграммаларда ISO шекаралары (мысалы, сары – ескерту шегі, қызыл – апаттық шек) түсімен немесе сызықтармен визуалды түрде белгіленді.

Қалдық ресурсты бағалау үшін діріл параметрлерінің трендтері қолданылды. Бұл бағалау BALTECH Expert бағдарламалық жасақтамасының көмегімен келесі әдістеме бойынша жүзеге асырылды:

- әрбір өлшеу нүктесінде 3 және одан да көп рет өлшеу жүргізіліп, діріл жылдамдығының мәндері уақыт бойынша тренд түрінде бейнеленді;
- регрессиялық аппроксимация әдісі арқылы діріл деңгейінің өзгеру бағыты мен үдеу тенденциясы анықталды;
- тренд графиктерінде қалыпты жұмыс аймағы (жасыл), ескерту шегі (сары) және апаттық шек (қызыл) түстермен белгіленді;
- қалдық ресурс (T_k) келесі формуламен бағаланады:

$$T_k = \frac{V_{\text{шек}} - V_{\text{ағым}}}{k} \quad (1)$$

мұндағы:

- $V_{\text{шек}}$ – ISO 10816 стандарты бойынша апаттық шекті діріл деңгейі;
- $V_{\text{ағым}}$ – ағымдағы өлшеудегі діріл деңгейі;
- k – уақыт бірлігіндегі дірілдің арту жылдамдығы (мм/с тәулік немесе ай бойынша).

Бұл әдіс жабдықтың нақты техникалық күйіне негізделген болжамды қалдық ресурсты есептеуге мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижесінде алынған автоспектр (тікелей спектр) және конверт спектр арқылы ақауларды анықтау процесі келесі кезеңдерден тұрады:

1) автоспектр арқылы ақауларды анықтау:

- автоспектрлік графиктер діріл сигналының жалпы жиілік құрамын көрсетеді;
- гармоникалық сызықтар (мысалы, $1\times$, $2\times$, $3\times$ айналу жиілігі) теңгерімсіздік, десинхронизация, механикалық бастық сияқты типтік ақаулармен сәйкестендіріледі. Мысалы, $1\times$ гармоника деңгейінің артуы - жұмыс дөңгелегінің теңгерімсіздігін көрсетеді (№3 ТНС-1 сорғысында байқалды).

2) конверт спектр арқылы ақауларды анықтау:

- конверт спектрі жоғары жиілікті тербелістердегі мойынтірек ақауларын анықтауға мүмкіндік береді;
- мұнда BPFI, BPFO, BSF, FTF сияқты сипаттамалық жиіліктермен салыстыру жүргізілді (мысалы, сыртқы немесе ішкі сақина зақымдануы);
- тиісті гармоникалық компоненттердің пайда болуы және олардың амплитудасы мен модуляция тереңдігі арқылы ақау түрі мен даму сатысы анықталды.

3) гармоникалардың нақты сәйкестендірілуі:

- гармоникалар сорғы дөңгелегінің айналу жиілігі ($1480 \text{ айн/мин} \approx 24,7 \text{ Гц}$) бойынша есептелген теориялық жиіліктермен салыстырылды;
- конверт спектріндегі шыңдар нақты мойынтірек типі мен өндіруші каталогындағы сипаттамалық жиіліктермен салыстырылды;
- нәтижесінде, белгілі бір жиіліктегі гармониканың артуы қай компоненттің және қандай ақаудың белгісі екенін көрсетті (мысалы, сыртқы сақинаның зақымдалуы BPFO жиілігі бойынша).

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелерін жалпылау ортадан тепкіш сорғы қондырғыларын бағалау мен болжаудың бірыңғай диагностикалық критерийін құруды қамтамасыз ететін діріл параметрлері бойынша техникалық күйін бағалаудың келесі негізгі диагностикалық белгілерін қалыптастыруға мүмкіндік берді [13; 14; 15]:

- діріл жылдамдығы параметрі ($2\div 3000 \text{ Гц}$) бойынша сигналдың жалпы деңгейі және мойынтіректердің құрамдас жиіліктерінің деңгейі;
- жүйенің қаттылығының бұзылу белгілерін, ортадан тепкіш сорғы агрегаты элементтерінің теңгерімсіздігін қамтитын төмен жиілікті диапазондағы ($2\div 15 \text{ Гц}$) діріл жылдамдығы параметрі бойынша сигналдың жалпы деңгейі;
- мойынтірек жиіліктері, сондай-ақ сәйкес гармоника амплитудасы саласындағы діріл сигналының конверттік спектрінің модуляция тереңдігі;
- ортадан тепкіш сорғылардың ағынды бөлігіндегі сұйықтық ағынының біркелкіностьтігі, қалақша жиіліктерінде, олардың субгармоникаларында, сондай-ақ өлшеу жүргізудің көлденең жазықтығында айқын көрінетін және жұмыс дөңгелегі мен қалақтардың пайдалану тозуының салдары болып табылатын бүйірлік және модуляциялық жиіліктерде көрінеді;
- сорғы тығыздағыштарының тез тозуына әкелетін сұйықтық ағынының пульсациясына байланысты $1\text{--}4 \text{ Гц}$ диапазонындағы инфрақызыл тербелістер.

Зерттеу нәтижелері бойынша діріл сигналдарының гармоникалық компоненттерінің пайда болуының негізгі себептерінің бірі біркелкі емес тозу нәтижесінде пайда болатын жұмыс дөңгелегінің теңгерімсіздігі екендігі анықталды.

Қаржыландыру туралы ақпарат

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.

Қорытынды

Ортадан тепкіш сорғы қондырғысының жұмысы кезінде пайда болатын діріл параметрлерін зерттеу нәтижелері оның нақты техникалық жағдайын бағалау және болжау үшін кешенді диагностикалық тәсілді қолданудың орындылығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Атап айтқанда, осы жұмыс шеңберінде іске асырылған механикалық діріл параметрлерін диагностикалауға кешенді тәсілдің нәтижелері сорғы жабдықтарының тораптары мен элементтеріндегі ақаулардың даму динамикасын анықтауға және діріл сигналдарының спектрлік талдауының нәтижелерін растауға мүмкіндік берді.

Сорғы жабдықтарының диагностикалық параметрлерін талдау нәтижелері діріл параметрлері бойынша техникалық күйді бағалауда кешенді тәсіл қажет екенін көрсетті. Мұндай тәсіл кеңейтілген жиілік диапазонында діріл жылдамдығы мен діріл үдеуі параметрлерінің спектрлік талдауына, сондай-ақ діріл сигналдарының конвертін талдауға негізделуі тиіс.

Осы жұмысты орындау шеңберінде алынған сорғы жабдығын диагностикалау нәтижелерін талдау зерттелетін жабдықта ағымдағы жағдайды тиімді бағалауды және деградациялық процестердің дамуын болжауды жүзеге асыруға жарамды бірыңғай диагностикалық критерийді жасау үшін дірілді талдауға кешенді тәсілдің нәтижелеріне шұғыл қажеттіліктің бар екендігін айғақтайды.

Сорғы қондырғыларының жұмысының цифрлық мониторингін әзірлеу жабдықтың тиімділігі мен сенімділігін арттырудағы маңызды қадам болып табылады. Заманауи технологияларды мониторинг және басқару процестеріне интеграциялау пайдалану шығындарын едәуір төмендетуге және жалпы өнімділікті жақсартуға мүмкіндік береді. Болашақта мұндай жүйелер көптеген салалар үшін стандартқа айналуы мүмкін, бұл өз кезегінде өндірістік процестерді оңтайландыруға және ресурстарды тиімді басқаруға жаңа мүмкіндіктер ашады.

Дірілді диагностиканы пайдалана отырып, сорғы қондырғыларының мониторингін жүйесін әзірлеу жабдықтың сенімділігі мен тиімділігін арттырудың тиімді тәсілін білдіреді. Алынған нәтижелер өнеркәсіптегі процестерді оңтайландыру үшін заманауи талдау әдістерін қолданудың орындылығын растайды.

Сорғы қондырғыларында цифрлық шешімдерді қолдану жабдықтың рұқсат етілмеген техникалық күйінен туындаған өндірістегі жазатайым оқиғалардың

санын азайтуға, сондай-ақ сорғы жабдықтарының апаттық тоқтап қалу санын азайтуға, қосалқы бөлшектермен жабдықтауды тиімдірек етуге және кәсіпорындарда қолданыстағы жөндеу жүйесін оңтайландыруға, қалдық ресурсты трендтер арқылы бағалау тәсілі жабдықтың қалпына келтіру ресурсын сандық бағалауға жол ашады, бұл сервистік шығындарды 30–50 %-ға дейін төмендетуге мүмкіндік береді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Костюков, В. Н., Бойченко, С. Н., Костюков, А. В.** Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // (АСУ БЭР - КОМПАКСО). – М. : Машиностроение. – 1999. – С. 163.
- 2 **Костюков, А. В.** Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по трендам вибропараметров // Дисс. канд. техн. наук. ОмГТУ. – Омск, 2006. – 203 с.
- 3 **Костюков, А. В., Бойченко, С. Н., Костюков, В. Н.** Диагностика насосно-компрессорных агрегатов путем мониторинга трендов вибропараметров // Диагностика оборудования и трубопроводов: Труды XVII междунар. тематического семинара. – Одесса: РАО «Газпром», 1997. – С. 187–194.
- 4 **Костюков, В. Н.** Мониторинг безопасности производства. – М. : Машиностроение, 2002. – С. 224.
- 5 **Клюев, В. В., Пархоменко, П. П., Абрамчук, В. Е.** Технические средства диагностирования // Справочник – М. : Машиностроение, 1989. – С. 672.
- 6 **Бойченко, С. Н.** Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по спектральным параметрам вибрации // Дисс. канд. техн. наук. ОмГТУ. – Омск 2006. – С. 164.
- 7 **Генкин, М. Д., Кобринский, А. А.** О спектре колебаний параметрической системы, возбуждаемой внешними силами // Вибротехника: Сб. статей (Каунас). – 1974. – № 1 (22). – С. 145–148.
- 8 **Клюев, В. В.** Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара // Справочник; В 2 кн. – М. : Машиностроение, 1978. – Кн.1 – 448 с.; Кн. 2 – С. 387.
- 9 **Костюков, В. Н., Науменко, А. П.** Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин // 2-е изд., с уточн. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 378.
- 10 **Науменко, А. П.** Развитие элементов теории, технологии и оборудования мониторинга технического состояния поршневых машин методами виброакустической диагностики // Дисс. докт. техн. наук. – ОмГТУ, Омск 2011. – С. 421.
- 11 **Балицкий, Ф. Я., Барков, А. В., Баркова, Н. А.** Неразрушающий контроль // Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Вибродиагностика – М. : Машиностроение, 2005. – С. 829.: ил.

12 **Колобов, А. Б.** Вибродиагностика: теория и практика учебное пособие // 2019. – С. 252.

13 **Бранцевич, П. Ю.** Цифровая обработка вибрационных сигналов. – Минск: Бестпринт, 2022. – С. 297.

14 **Пархоменко, П. П., Карибский, В. В., Согомонян, Е. С., Халчев, В. Ф.** Основы технической диагностики / В 2 кн. – М. : Энергия, 1981. – С. 464.

15 Sulzer Pumps Finland Oy Karhula Pump Factory // Equipment Specification, 2017. – P. 107–110.

REFERENCES

1 **Kostyukov, V. N., Bojchenko, S. N., Kostyukov, A. V.** Avtomatizirovanny`e sistemy` upravleniya bezopasnoj resursosberegayushhej e`kspluataciej oborudovaniya neftepererabaty`vayushhix i nefteximicheskix proizvodstv // (ASU BE`R - KOMPAKSÒ) – M. : Mashinostroenie, 1999. – P. 163.

2 **Kostyukov, A. V.** Kontrol` i monitoring texnicheskogo sostoyaniya centrobezhnogo nasosnogo agregata po trendam vibroparametrov // Diss. kand. texn. nauk. OmGTU. Omsk, 2006. – P. 203.

3 **Kostyukov, A. V., Bojchenko, S. N., Kostyukov, V. N.** Diagnostika nasosno-kompressorny`x agregatov putem monitoringa trendov vibroparametrov // Diagnostika oborudovaniya i truboprovodov: Trudy` XVII mezhdunar. tematicheskogo seminar. – Odessa: RAO «Gazprom», 1997. – P. 187–194.

4 **Kostyukov, V. N.** Monitoring bezopasnosti proizvodstva. – M. : Mashinostroenie, 2002. – P. 224.

5 **Klyuev, V. V., Parxomenko, P. P., Abramchuk, V. E.** Texnicheskie sredstva diagnostirovaniya // Spravochnik. – M. : Mashinostroenie, 1989. – P. 672.

6 **Bojchenko, S. N.** Kontrol` i monitoring texnicheskogo sostoyaniya centrobezhnogo nasosnogo agregata po spektral`ny`m parametram vibracii // Diss. kand. texn. nauk. OmGTU. – Omsk, 2006. – P. 164.

7 **Genkin, M. D., Kobrinskij, A. A.** O spektre kolebanij parametricheskoy sistemy`, vozvuzhdaemoj vneshnimi silami // Vibrotexnika: Sb. statej (Kaunas). – 1974. – № 1 (22). – P. 145–148.

8 **Klyuev, V. V.** Pribory` i sistemy` dlya izmereniya vibracii, shuma i udara // Spravochnik; V 2 kn. – M.: Mashinostroenie, 1978. – Kn. 1 – 448 p.; Kn. 2 – P. 387.

9 **Kostyukov, V. N., Naumenko, A. P.** Osnovy` vibroakusticheskoy diagnostiki i monitoringa mashin. – 2-e izd., s utochn. – Novosibirsk: Izdatel`stvo SO RAN, 2014. – P. 378.

10 **Naumenko, A. P.** Razvitie e`lementov teorii, texnologii i oborudovaniya monitoringa texnicheskogo sostoyaniya porshnevny`x mashin metodami vibroakusticheskoy diagnostiki // Diss. dokt. texn. nauk. OmGTU. – Omsk 2011. – P. 421.

11 **Baliczkij, F. Ya., Barkov, A. V., Barkova, N. A.** Nerazrushayushhij kontrol` // Spravochnik: V 7 t. Pod obshh. red. V.V. Klyueva. T. 7: V 2 kn. Kn. 2: Vibrodagnostika – M. : Mashinostroenie, 2005. – P. 829. : il.

12 Kolobov, A. B. Vibrodiagnostika: teoriya i praktika uchebnoe posobie. – 2019. – P. 252.

13 Brancevich, P. Yu. Cifrovaya obrabotka vibracionny`x signalov. – Minsk: Bestprint, 2022. – P. 297.

14 Parxomenko, P. P., Karibskij, V. V., Sogomonyan E. S., Xalchev V. F. Osnovy` texnicheskoj diagnostiki // V 2 kn. – M. : E`nergiya, 1981. – P. 464.

15 Sulzer Pumps Finland Oy Karhula Pump Factory // Equipment Specification, 2017. – P. 107–110.

29.05.25 ж. баспаға түсті.

27.06.25 ж. түзетулерімен түсті.

25.08.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

***Л. Б. Сағатова¹, С. А. Бортебаев², А. Д. Кольга³,
К. К. Елемесов⁴, Д. Д. Басканбаева⁵**

^{1,2,4,5}Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы;

³Уральский государственный аграрный университет,
Российская Федерация, г. Екатеринбург;

Поступило в редакцию 29.05.25.

Поступило с исправлениями 27.06.25.

Принято в печать 25.08.25.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

В статье рассмотрены результаты оценки технического состояния оборудования на основе анализа вибрационных параметров центробежных насосных агрегатов. В рамках данного исследования использовался отбор диагностической информации по параметрам вибрации центробежных насосных агрегатов. Описана методика проведения вибрационной диагностики центробежных насосов в производственных условиях. Для исследования технического состояния насосных агрегатов выбраны подшипники электродвигателя и приводные валы колеса насоса. Также изложена последовательность использования анализатора для проведения диагностики, размещения датчиков вибрации. Выполняет функции анализа вибрационных параметров вращающихся машин и механических конструкций с целью диагностики их технического состояния с помощью вибрационного анализатора. Спектры вибрационных скоростей подшипниковых узлов действующих центробежных насосов регистрируются с помощью анализатора для обработки вибрационных сигналов применены методы прямого спектра (автоспектр) и конверт-спектра вибрационного сигнала, позволяющие определить частотный состав сигнала. Гармонические компоненты вибрационного сигнала на графиках автоспектра указывают на наличие дефектов и требуют систематического контроля насосного оборудования. Проведенные исследования позволили сформировать основные

диагностические признаки оценки по параметрам вибрации, обеспечивающие создание единого диагностического критерия оценки и прогнозирования технического состояния центробежных насосных агрегатов.

Ключевые слова: центробежный насос, вибродиагностика, виброанализатор, контроль насосных установок, визуализация данных, автоспектр, спектральный анализ.

***L. B. Sagatova¹, S. A. Bortebayev², A. D. Kolga³,**

K. K. Yelemessov⁴, D. D. Baskanbayeva⁵

^{1,2,4,5}Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty.

³Ural State Agrarian University, Russia, Yekaterinburg.

Received 29.05.25.

Received in revised form 27.06.25.

Accepted for publication 25.08.25.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF CENTRIFUGAL PUMP UNITS BY VIBRATION PARAMETERS

The article considers the results of assessing the technical condition of equipment based on the analysis of vibration parameters of centrifugal pump units. As part of this study, a selection of diagnostic information on the vibration parameters of centrifugal pump units was used. The methodology for conducting vibration diagnostics of centrifugal pumps in production conditions is described. To study the technical condition of the pumping units, the bearings of the electric motor and the drive shafts of the pump wheel are selected. It also describes the use of an analyzer for diagnostics, the order of placement of vibration sensors. With the help of a vibration analyzer, it performs the functions of analyzing the vibration parameters of rotating machines and mechanical structures in order to diagnose their technical condition. The spectra of the vibration rate of the bearing units of the operating centrifugal pumps were recorded using an analyzer for processing vibration signals, using the methods of direct spectrum (autospectrum) and envelope spectrum of the vibration signal, which allows you to determine the frequency composition of the signal. The harmonic components of the vibration signal on the graphs of the Autopilot indicate the presence of defects and require systematic monitoring of pumping equipment. The conducted research made it possible to form the main diagnostic features of the assessment by vibration parameters, which ensures the creation of a single diagnostic criterion for assessing and predicting the technical condition of centrifugal pump units.

Keywords: centrifugal pump, vibration diagnostics, vibration analyzer, monitoring of pumping units, data visualization, autospectrum, spectral analysis.

Теруге 27.08.25 ж. жіберілді. Басуға 30.09.25 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 1,09 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректорлар: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4434

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz