

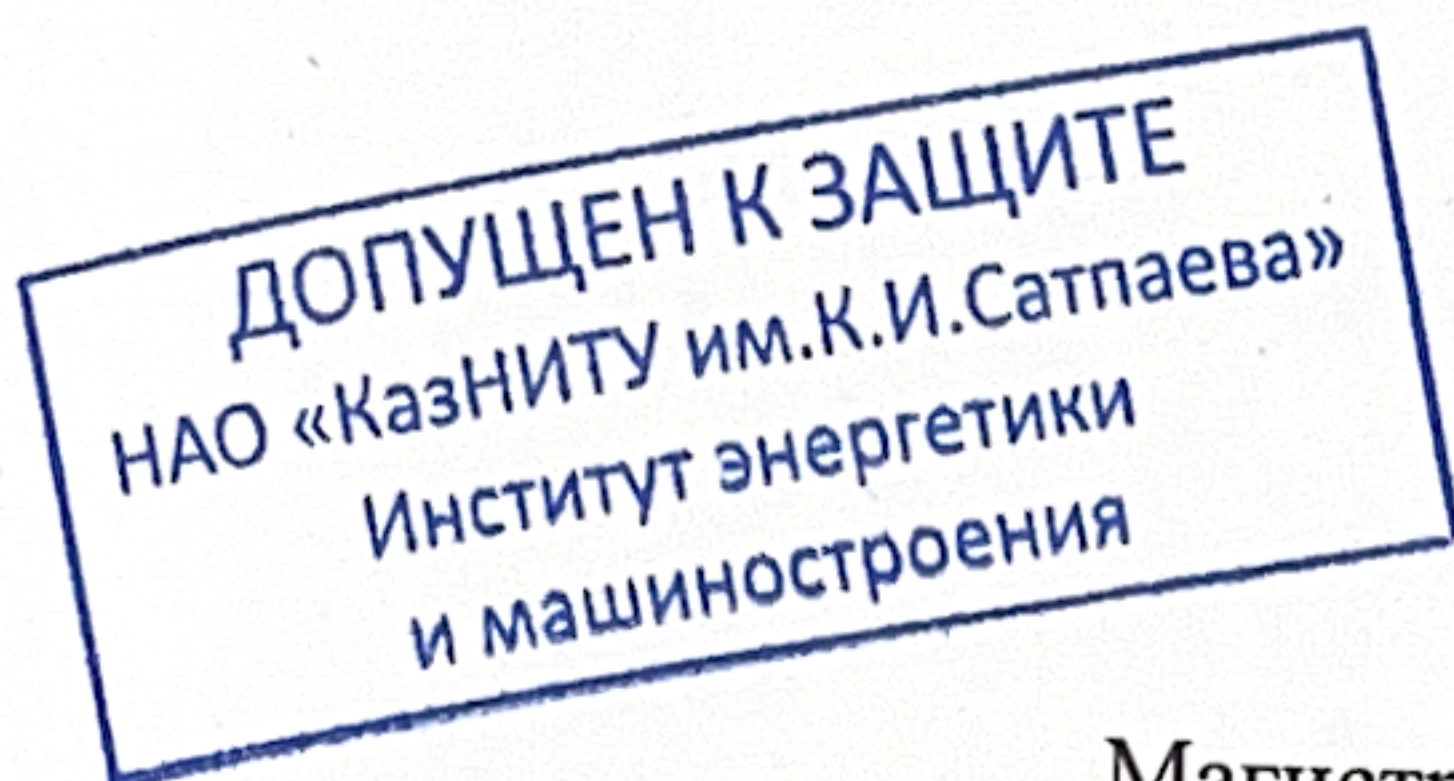
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Ә.Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты
(институттың атауы)

ӘОЖ 665.622.43.046.6-52 (043)

Қолжазба құқығында



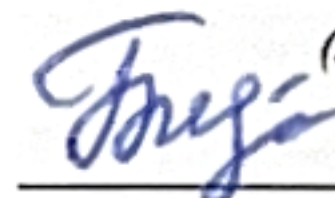
Ерік Әлішер Қайратұлы
(Білім алушының аты-жөні)

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы Сорғы паркінінің техникалық жай-күйін бақылау және сенімділік
көрсеткіштерін жақсарту үшін композициялық материалдарды қолдану
Дайындау бағыты 7М07111– Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы
білім беру бағдарламасының шифрі және атауы

ҒЫЛЫМИ

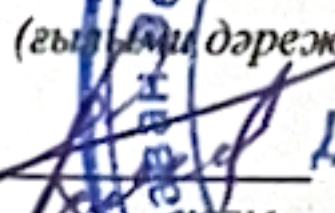
жетекші PhD, қауым.проф


(ғылыми дәрежесі, атағы)
Басқанбаева Д.Д.
қолы аты-жөні

«__» _____ 2025 ж.

Рецензент

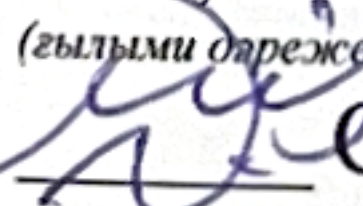
Т.ғ.к. ТОО "CaravanResources ltd"


(ғылыми дәрежесі, атағы)
Ахметов А.Т.
қолы аты-жөні

«__» _____ 2025 ж.

Норма бақылаушы

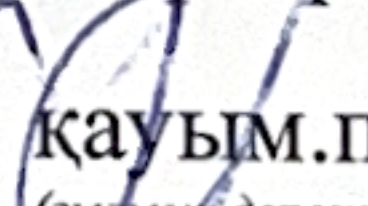
PhD, аға оқытушы


(ғылыми дәрежесі, атағы)
Сарыбаев Е.Е.
қолы аты-жөні

«__» _____ 2025 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі


қауым.проф, т.ғ.к.
(ғылыми дәрежесі, атағы)

Калиев Б.З.
қолы аты-жөні

«10» 06 2025 ж.

Алматы 2025 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
(институттың атауы)

Технологиялық машиналар мен жабдықтар кафедрасы
(кафедра атауы)

7M07111– Машиналар мен жабдықтардың цифрлық инженериясы
білім беру бағдарламасының шифрі және атауы

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Технологиялық машиналар
мен жабдықтар

(кафедра атауы)

қауым.проф, т.ғ.к.

(ғылыми дәрежесі, атағы)

Калиев Б.З.

қолы аты-жөні

« 10 » 06 2025ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант

Ерік Әлішер Қайратұлы
(Білім алушының аты-жөні)

Тақырыбы Сорғы паркінінің техникалық жай-күйін бақылау және сенімділік
көрсеткіштерін жақсарту үшін композициялық материалдарды қолдану
(магистрлік диссертацияның тақырыбы)

Жаутиков Б.А 2023 жылғы «4» желтоқсан №548-П/Ө бұйрығымен бекітілген
(жөнеткішілік ететін проректор)

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі" 09" 06 2025 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: орталықтан тепкіш сорғыларының
вибрациялық өлшеу деректері, фибробетон композиттік материалдары, машиналық оқыту
әдістері.

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Сорғы жабдықтарының техникалық жай-күйін диагностикалау әдістерін тандау және оларды қолдану жолдарын қарастыру;
- б) Композиттік материалдардың қасиеттерін зерттеу және оларды сорғы корпусын жасауда қолдану мүмкіндіктерін қарастыру;
- в) Машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, діріл параметрлері негізінде сорғылардың техникалық күйін модельдеу;

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

Мысалы:

1 Науменко, А. П. Теория и методы мониторинга и диагностики : [учеб. пособие]. – Омск, 2018.

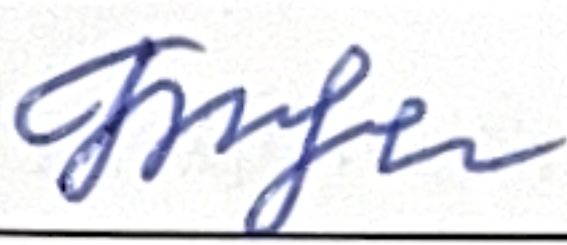
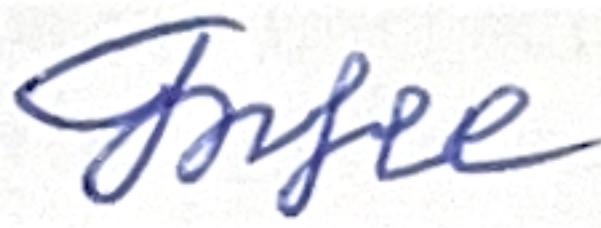
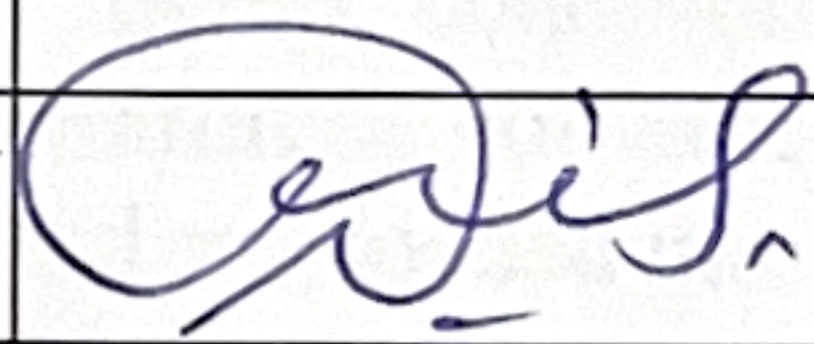
2 Beebe, R. S. Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. – Oxford : Elsevier Science, 2004. – P. 1–20.

3 Idhammar, T. Condition Monitoring Standards. – Vol. 1. – Raleigh : IDCON, Inc., 2001.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Тақырып бойынша ғылыми әдебиеттерді жинақтау және талдау	Мамыр 2024	Орындалды
Діріл өлшеу деректерін жинау, сүзу және бастапқы өңдеу. Діріл сипаттамаларын талдау және фибробетон құрамының физика-механикалық қасиеттерін негіздеу	Желтоқсан 2024	Орындалды
Орталықтан тепкіш сорғылары үшін машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, техникалық жай-күйді модельдеу. Жасалған модельдердің тиімділігін бағалау және ұсыныстар әзірлеу	Мамыр 2025	Орындалды

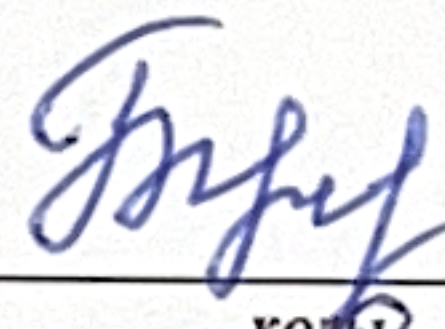
Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған қолдары

Бөлімдердің атаулары	Консультанттар, аты-жөні (ғылыми дәрежесі, атағы.	Қол қойылған күні	Қолы
Ғылыми шолу бөлімі	Басканбаева Д.Д. PhD, қауым.проф		
Зерттеу объектілері мен әдісі бөлімі	Басканбаева Д.Д. PhD, қауым.проф		
Норма бақылаушы	Сарыбаев Е.Е PhD, аға оқытушы	12.06.2025	

Ғылыми жетекші

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Күні


қолы

Басканбаева Д.Д.
Аты-жөні


қолы

Ерік Ә.Қ.
Аты-жөні

« 12 » 06 2025 ж

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

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

Автор: Ерік Әлішер

Тақырыбы: Сорғы паркінінің техникалық жай-күйін бақылау және сенімділік көрсеткіштерін жақсарту үшін композициялық материалдарды қолдану.

Жетекшісі: Динара Басканбаева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 6.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 3.2

Дәйексөз (35): 0.2

Әріптерді ауыстыру: 79

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 211

Ақ белгілер: 12

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

Кафедра меңгерушісі

АҢДАТПА

Сорғы паркінің сенімділігін арттыру — конструктивтік (фибробетоннан жасалған жеңіл әрі коррозияға төзімді композиттік корпус) және эксплуатациялық (вибромониторинг, машиналық оқыту) тәсілдерді біріктіру. Сорғылардың күйін бақылау әдістері мен композициялық материалдар оның ішінде фибробетон концепциясын қолдану қарастырылған. Vibroexpert II құрылғысы арқылы өлшенген діріл параметрлері сүзгіден өтіп MATLAB жүйесіне жүктеліп кездейсоқ орман мен нейрондық желі модельдері құрылды. Бұл әдіс ақауларды ерте анықтап, күтпеген тоқтауларды айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

Для повышения надёжности насосного парка предложено сочетание конструктивного (композитный корпус из лёгкого и коррозионностойкого фибробетона) и эксплуатационного (вибромониторинг, машинное обучение) подходов. Рассмотрены методы контроля состояния насосов и применение композиционных материалов, в том числе концепция фибробетона. Вибрационные параметры, измеренные с помощью прибора Vibroexpert II, прошли фильтрацию и были загружены в среду MATLAB, где построены модели случайного леса и нейронных сетей. Этот подход позволяет своевременно выявлять дефекты и значительно снижать риск неожиданных простоев.

ANNOTATION

To enhance the reliability of the pump fleet, a combined approach is proposed: structural (a composite casing made of lightweight, corrosion-resistant fiber-reinforced concrete) and operational (vibration monitoring, machine learning). The study covers pump condition monitoring methods and the use of composite materials, including the fiber-reinforced concrete concept. Vibration parameters measured by the Vibroexpert II device were filtered and loaded into MATLAB, where random forest and neural network models were developed. This method enables early fault detection and significantly reduces the risk of unexpected shutdowns.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	4
1 Ғылыми шолу мен негізгі ұғымдар	5
1.1 Сорғы жабдықтарының өндірістік процестердегі рөлі мен маңызы	5
1.2 Сорғы жабдықтарына мониторинг жасау: заманауи тәсілдер мен перспективалар	5
1.3 Жабдықтың техникалық жай күйінің мониторингі	8
1.4 Көрнекі тексеру	11
1.5 Термография, термиялық сурет	12
1.6 Діріл диагностикасы	15
1.7 Акустикалық диагностика	22
1.8 Майды талдау	24
1.9 Ультрадыбыстық қалыңдық тексеру	26
2 Фибробетон негізінде композициялық корпус дайындау технологиясы	30
2.1 Ортадан тепкіш сорғы корпустарын жасаудағы мәселелер	30
2.2 Фибробетон құрамын зерттеу және құрастыру	31
2.3 Фибробетонның беріктік сипаттамаларын зерттеу	34
2.4 Фибробетондардың сипаттамаларын лабораториялық зерттеу	37
2.5 Үлгілерді қысуға сынау	41
2.6 1К20/30 маркалы консольды түрдегі ордалықтан тепкіш сорғының тәжірибелік үлгісін стендте сынау	42
2.7 Фибробетон корпусымен жасалған ортадан тепкіш сорғыға өндірістік жағдайда гидравликалық сынақ жасау	45
2.8 Сынақ стенді	46
2.9 Зерттеу нәтижелерін өңдеу	47
2.10 Фибробетоннан жасалған ортадан тепкіш сорғы корпусының ішкі бетінің төзімділігін зерттеу	50
3 Зерттеу объектілері мен әдістемесі	53
3.1 PU-341 және PU-342 сорғыларының техникалық сипаттамасы	53
3.2 Талдау үшін жиналған параметрлердің сипаттамасы	55
4 Математикалық модельдеу және нәтижелері	60
4.1 341 сорғы үшін кездейсоқ орман әдісін қолдану	60
4.2 Нейрондық желілерді қолдана отырып, 342 сорғының техникалық күйін зерттеу	66
4.3 Математикалық модель: 341 және 342 сорғылардың техникалық күйін бақылауға арналған математикалық модель	70
4.4 Математикалық модельдерге негізделген сорғыларды пайдалану бойынша ұсыныстар	73
Қорытынды	75
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	76
Қосымша А	78
Қосымша Б	84

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

CBM	Жағдайға негізделген мониторинг
CK3	Амплитудасының орташа квадраттық мәні
DE	Мойынтіректің жетек жағы
NDE	Мойынтіректің жетекке қарама-қарсы жағы
R^2	Анықтау коэффициенті
RMSE	Орташа квадраттық қатенің түбірі
ПБ	Пневматикалық бак
ДУ	Потенциометрлік деңгей датчигі
УУ	Жоғарғы гидробактағы судың деңгей көрсеткіші

КІРІСПЕ

Жұмыс өзектілігі. Қазіргі заманғы өнеркәсіптік кәсіпорындарда сорғы жабдықтары өндірістік процестердің үздіксіздігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Сорғылар әртүрлі салаларда, соның ішінде тау-кен, мұнай-газ, энергетика жүйелерінде кеңінен қолданылады, бұл оларды технологиялық тізбектердің маңызды элементіне айналдырады. Сорғылардың сенімділігі мен тиімділігі кәсіпорындардың өнімділігіне, үнемділігіне және қауіпсіздігіне тікелей әсер етеді. Сондай-ақ, металл корпусстардың салмағы мен коррозияға ұшырау қаупін азайту мақсатында конструктивтік жаңарту ретінде композициялық материалдар — әсіресе фибробетон — қолдану қарастырылды. Дірілді талдау, термография, визуальды инспекция, акустикалық бақылау және ультрадыбыстық диагностика сияқты әртүрлі бақылау әдістері тозудың ерте белгілерін және ықтимал ақауларды анықтауға мүмкіндік береді, бұл операциялық шығындарды оңтайландыруға және апаттық тоқтаулардың алдын алуға көмектеседі. Сорғы жабдығы Vibroexpert II құрылғысымен өлшенген діріл параметірлері dBm, dBc арқылы ақаулардың ерте белгілерін анықтауға мүмкіндік береді, жиналған деректер MATLAB жүйесінде талданады. Жұмыс барысында компоненттердің тозуын тиімді болжауға және техникалық қызмет көрсету бойынша негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін сорғылардың әрқайсысы үшін математикалық модельдер жасалды.

Жұмыстың мақсаты – сорғы паркінің сенімділігін арттыру үшін конструктивтік (фибробетоннан жасалған композит корпус) және эксплуатациялық (діріл мониторингі мен машиналық оқыту) тәсілдерді біріктіру арқылы сорғы жабдығының сенімділігін жетілдіру.

Жұмыстың негізгі міндеттері:

- Фибробетон негізіндегі композиттік корпус композициясын қарастыру;
- Сорғының техникалық күйін бағалайтын машиналық оқыту моделін құру;
- Нәтижелер негізінде практикалық ұсыныстар дайындау.

Зерттеу нәтижелері фибробетон негізіндегі корпусстарды қолдану арқылы сорғы құрылымының салмағын төмендетуге және коррозияға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, машиналық оқыту негізіндегі діріл мониторинг жүйелері сорғы жабдығының күйін нақты бағалауға және жоспардан тыс тоқтаулардың алдын алуға көмектеседі. Ұсынылған тәсілдер өндірістік жағдайларда қолдануға жарамды және техникалық қызмет көрсетудің тиімділігін арттырады.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Жұмыс 76 беттен тұрады, құрамында кіріспе, 4 бөлім, 20 әдебиеттер тізімі, 35 сурет, 14 кесте және 2 қосымша бар.

1 Ғылыми шолу мен негізгі ұғымдар

1.1 Сорғы жабдықтарының өндірістік процестердегі рөлі мен маңызы

Сорғы жабдығы – сұйық орталарды, соның ішінде суды, майларды, химиялық ерітінділерді және басқа да технологиялық сұйықтықтарды тасымалдауға арналған өндірістік процестердің негізгі құрамдас бөлігі. Оның тұрақты және сенімді жұмысы технологиялық циклдердің үздіксіздігіне, сондай-ақ кәсіпорынның экономикалық тиімділігіне тікелей әсер етеді.

Сорғылардың жұмысқа қабілеттілігінің төмендеуі немесе толық істен шығуы өндіріс үдерісінің тоқтап қалуына, технологиялық процестердің бұзылуына және жөндеу шығындарының артуына әкеледі. Бұл әсіресе тау-кен, мұнай-газ, энергетика және химия өнеркәсібі сияқты маңызды салаларда айтарлықтай қиындықтар тудырады, өйткені сорғылар мұндай жағдайларда ортаны тасымалдау, айналым және жұмыс сұйықтықтарын жеткізу сияқты маңызды функцияларды атқарады.

Сорғы жабдықтарына қойылатын жоғары талаптар оның өндірістік жүйелердің сенімділігін қамтамасыз етудегі маңызды рөлімен байланысты. Сенімсіз жұмыс істейтін сорғылар тек қаржылық шығындар әкеліп қоймай, сонымен қатар экологиялық мәселелерге де себеп болуы мүмкін. Осы себепті негізгі міндеттердің бірі – сорғылардың ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз ету, пайдалану шығындарын азайту және жабдықтың істен шығу ықтималдығын барынша төмендету.

Сорғы жабдықтарының басты артықшылықтарының бірі – күрделі жұмыс жағдайларына бейімделу қабілеті. Бұл оларды агрессивті ортада жұмыс істеуге, қысымның ауытқуына төзімді ету қажеттілігімен қатар, энергия тиімділігінің заманауи талаптарына сәйкес болуға бағыттайды.

Осылайша, сорғы жабдықтары өндірістік инфрақұрылымның іргетасы болып табылады. Ол технологиялық процестердің үздіксіздігін, тиімділігін және сенімділігін қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етеді.

1.2 Сорғы жабдықтарына мониторинг жасау: заманауи тәсілдер мен перспективалар

Сорғы жабдықтарының мониторингі энергетика, химия, мұнай-газ саласы және сумен жабдықтауды қоса алғанда, өнеркәсіптің әртүрлі салаларында технологиялық жүйелердің сенімділігі мен тиімділігін қамтамасыз етудің маңызды аспектісін білдіреді. Сорғылардың сенімділігі өндіріс процестеріне тікелей әсер етеді және олардың істен шығуы айтарлықтай қаржылық шығындар мен қауіпсіздікке қауіп төндіруі мүмкін.

Сондықтан сорғы жабдықтарының жағдайын бақылау міндеті өзекті және кешенді тәсілді қажет етеді.

Мониторингтің негізгі принциптері: сорғы жабдығының мониторингі машиналардың күйі мен жұмыс параметрлері туралы деректерді жүйелі түрде жинауды, талдауды және түсіндіруді қамтиды. Мониторингтің негізгі міндеттері:

1)Қалыпты жұмыс режимдерінен ауытқуларды анықтау. Бұл мойынтіректердің тозуы, ротордың теңгерімсіздігі, дөңгелектің зақымдануы немесе жұмыс сұйықтығының ағуы сияқты ақауларды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

2)Жабдықтың күйін болжау. Деректерді талдау негізінде сәтсіздіктердің ықтималдығын анықтауға және профилактикалық қызмет көрсетуді жоспарлауға болады.

3)Жұмыс режимдерін оңтайландыру. Мониторинг жабдықтың оңтайлы режимдерде жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл энергия шығынын азайтады және сорғылардың қызмет ету мерзімін ұзартады.

Мониторинг жүйесін енгізудің артықшылықтары:

1) Жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту. Ақауларды уақтылы анықтау зақым сыни болғанға дейін жөндеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді.

2) Пайдалану шығындарын азайту. Мониторинг деректеріне негізделген жоспарлы қызмет көрсету апаттардың салдарын жоюға қарағанда айтарлықтай арзанырақ.

3) Қауіпсіздікті арттыру. Кенеттен істен шығудың алдын алу қызметкерлер мен жабдықтар үшін қауіпті азайтады.

4) Үзілістерді азайту. Тұрақты бақылау жөндеу мен техникалық қызмет көрсетуге кететін уақытты азайтуға мүмкіндік береді.

Сорғы жабдықтарының мониторингі технологиялық жүйелердің сенімділігі мен өнімділігін арттырудың тиімді құралы болып табылады. Дірілді, температураны және басқа параметрлерді талдауға негізделген заманауи бақылау әдістері жабдықтың күйін болжауға және оның жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Кәсіпорындарда мұндай жүйелерді енгізу Жабдықты жөндеуге және ауыстыруға байланысты шығындарды азайтуға, сондай-ақ өндірістік процестердің жалпы тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Цифрландыру және технологияның белсенді дамуы жағдайында деректерді талдау және болжамды модельдерді қолдану сорғы жабдықтарын басқарудың жаңа көкжиектерін ашады.

1.1 Кесте – Сорғы қондырғысының бөліктерінің проблемалары және оны алдын алу үшін мониторинг әдістері

Түйін	Сипаттама	Осал мәселелері	Жою әдістері	Мониторинг түрі
Сорғы корпусы	Барлық ішкі компоненттерді ұстап тұруға және сұйықтық ағынын бағыттауға қызмет етеді	Коррозия, абразивті бөлшектердің эрозиясы, буындардың ағуы	Коррозияға қарсы жабындарды қолдану, зақымдалған бөліктерді үнемі тексеру және ауыстыру, тығыздағыштар мен буындарды тексеру, тығыздағыштарды ауыстыру	Ақауларды анықтау үшін тұрақты визуалды тексерулер, ультрадыбыстық дефектоскопия
Жұмыс дөңгелегі	Механикалық энергияны сұйықтықтың кинетикалық энергиясына айналдырады	Бөлшектердің тозуы, кавитация, теңгерімсіздік	Тұрақты материалдарды таңдау, жұмыс дөңгелегін үнемі бақылау және теңгерімдеу, коррозияға қарсы жабындарды қолдану	Теңгерімсіздік пен кавитацияны ерте анықтауға арналған діріл мониторингі, камту күйін бақылауға арналған термография
Білік	Қозғалтқыштан жұмыс дөңгелегіне айналмалы қозғалысты береді	Тозу, қисықтық, діріл	Біліктің түзулігін, мойынтіректердің күйін үнемі тексеру, зақымдалған кезде білікті ауыстыру, діріл мониторингін қолдану	Иілу мен тозуды анықтауға арналған дірілді талдау, температураның жұмыс режимін үнемі тексеру
Мойынтірек жинағы	Білікті қолдайды және оның айналуы кезінде үйкелісті азайтады	Мойынтіректердің тозуы, майлаудың болмауы, майлаудың ластануы	Тұрақты майлау, сапалы майлау материалдарын пайдалану, мойынтіректерді ауыстыру, майлау сүзгілерін пайдалану	Тозуды анықтау үшін діріл мониторингі, майлау күйін және ластанудың болуын анықтау үшін майды талдау
Тығыздағыш тар	Сұйықтықтың білік бойымен ағып кетуіне жол бермейді	Тозу, майлаудың жеткіліксіздігі, абразивті бөлшектердің зақымдануы	Тығыздағыштарды үнемі ауыстыру, жеткілікті майлауды қамтамасыз ету, абразияға төзімді тығыздағыштарды қолдану, сұйықтықты сүзу	Ағып кетуді анықтау үшін визуалды тексеру, бөлшектерді талдау және химиялық құрамы арқылы сұйықтықтың күйін бақылау

1.1 Кестенің жалғасы

Редуктор	Сорғының оңтайлы жұмыс режимін қамтамасыз ете отырып, біліктің айналу жылдамдығын реттейді	Редукторлардың тозуы, майлаудың болмауы, қызып кету	Майлау материалдарын үнемі тексеру және ауыстыру, сапалы редукторлар мен майларды пайдалану, жеткілікті салқындатуды қамтамасыз ету, температураны бақылау	Тозуды анықтауға арналған дірілді талдау, температураны бақылауға арналған термография, майлау күйін анықтауға арналған майды талдау
Электрқозғалтқыш	Қозғалтқыш сорғыны басқаруға механикалық қуат береді	Қызып кету, мойынтіректердің тозуы, электрлік ақаулар	Тұрақты техникалық қызмет көрсету, мойынтіректер мен салқындату жүйесінің күйін тексеру, орамалар мен электр компоненттерін үнемі тексеру	Мойынтіректердің ақауларын анықтауға арналған дірілді талдау, температураны бақылауға арналған термография, қозғалтқыштың электрлік параметрлерін бақылау

1.3 Жабдықтың техникалық жай күйінің мониторингі

Жағдайға негізделген көпөлшемді техникалық мониторингі (CBM-Condition Based Monitoring) қазіргі таңда өндірісте өте маңызды процесс болып табылады. Көптеген компаниялар ақауларды ерте анықтау үшін кем дегенде бір технологияны қолдана отырып, активтерінің күйіне мониторинг жүргізеді. Ақауларды ертерек анықтауға және жоюға мүмкіндік беру, олар нашарлап, одан әрі зиян келтірмес бұрын, жабдықтың жоспарланбай тоқтап қалуына немесе қызметкерлердің қауіпсіздігіне қауіп төнуінің алдын алу бұл жағдай мониторингінің негізін құрайды. Активтердің жай-күйінің мониторингі қазіргі өнеркәсіптік бизнесте маңызды бола түсуде. Бұл компанияларға жабдықтың тиімділігін сақтап қана қоймай, өндірістегі қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ақауларды ерте анықтау жөндеу шығындарын азайтады және жоспарланбаған тоқтап қалуды болдырмайды.

Жабдықтың сенімділігі – агрегаттың (объектінің) сапасын сипаттайтын маңызды қасиеттердің бірі. Объектінің қасиеті белгілі бір пайдалану, техникалық қызмет көрсету, жөндеу, сақтау және тасымалдау жағдайларында қарастырылған уақыт аралығында немесе талап етілетін жұмыс кезінде өзінің пайдалану көрсеткіштерін белгіленген шектерде сақтай отырып, берілген функцияларды орындау болып табылады. Өнімнің сенімділігі оның

сенімділігімен, беріктігімен, жөнделуімен және сақталуымен сипатталады. Жабдықтың сенімділігін арттыруға жабдықтың техникалық жай-күйінің мониторингі көмектеседі.

Жабдықтың жай-күйін бақылау – бұл тозу белгілерін анықтау, ақаулардың себептерін диагностикалау және оны қанша уақыт қауіпсіз немесе үнемді пайдалануға болатынын болжау үшін операциялық актив бақыланатын және алынған деректер талданатын техникалық қызмет көрсетуді тексеру түрі. Жабдықтың техникалық жай-күйіне негізделген мониторинг жабдықтың сенімді жұмысын қамтамасыз ету және пайдалану мерзімін ұзарту үшін маңызды міндет болып табылады. Жабдықтың күйге негізделген техникалық қызмет көрсетуі (CBM) – бұл жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және оның жұмыс істеуін қамтамасыз етуге бағытталған техникалық қызмет көрсету стратегиясы.

Жабдық мониторингі – қандай техникалық қызмет көрсетуді орындау керектігін анықтау үшін нақты уақыт режимінде активтің күйінің мониторингінің техникалық қызмет көрсету стратегиясы. Жағдайға негізделген мониторинг – бұл нақты уақыттағы жабдықтың күйін үздіксіз бақылауға және талдауға негізделген техникалық қызмет көрсету стратегиясы. Тұрақты техникалық қызмет көрсету кестелеріне негізделген дәстүрлі алдын-ала қызмет көрсету әдістерінен айырмашылығы, CBM техникалық қызмет көрсету қажеттілігін жабдықтың қазіргі жағдайына байланысты өте қажет болған кезде дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл стратегия ресурстарды тиімдірек пайдалануды қамтамасыз етеді, өйткені ол қажетсіз техникалық қызмет көрсету жұмыстарынан аулақ болуға және жабдықтың нақты қажеттіліктеріне назар аударуға мүмкіндік береді. CBM сонымен қатар жабдықтың істен шығуын болдырмауға мүмкіндік береді, өйткені проблемалар ауыр зардаптарға әкелмес бұрын анықталуы және шешілуі мүмкін.

Жай-күйді бақылау – бұл жабдықтың жұмыс параметрлері мен техникалық жағдайы туралы ақпаратты жинау мен талдаудың үздіксіз процесі. Жабдықтың жай-күйін бақылау өнеркәсіп үшін маңызды болып табылады және де жабдықтардың сенімділігін арттыруға негізгі себептер:

Жоспарланбаған тоқтап қалудың алдын алу: жабдықтың істен шығуы қымбат жоспарланбаған тоқтап қалуға әкелуі мүмкін, бұл өндірістің жоғалуына, мерзімдердің бұзылуына және қаржылық шығындарға әкелуі мүмкін. Жабдықтың жай-күйін бақылау ықтимал проблемаларды алдын ала анықтауға мүмкіндік береді, бұл күтпеген ақаулардың алдын алу және тоқтап қалу уақытын азайту үшін алдын ала техникалық қызмет көрсету және жөндеу шараларын қабылдауға мүмкіндік береді.

Техникалық қызмет көрсету стратегияларын оңтайландыру: жабдықтың күйінің мониторингі машиналардың күйі мен өнімділігі туралы құнды ақпарат алуға мүмкіндік береді. Бұл салаларға реактивті қызмет көрсетуден (ақаулар пайда болғаннан кейін жабдықты жөндеу) белсенді және болжамды қызмет көрсетуге көшуге мүмкіндік береді. Негізгі параметрлер мен үрдістерді

бақылау жабдықтың жұмыс уақытын барынша арттырып, техникалық қызмет көрсету шығындарын барынша азайта отырып, техникалық қызмет көрсетуді оңтайлы мерзімде жоспарлауға және жүргізуге мүмкіндік береді.

Жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту: жабдықтың күйін үнемі бақылау мен мониторинг жасау тозудың немесе ықтимал ақаулардың ерте белгілерін анықтауға көмектеседі. Осы мәселелерді жедел шеше отырып, кәсіпорындар жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту үшін майлауды реттеу, компоненттерді ауыстыру немесе жөндеу сияқты түзету шараларын қолдана алады. Бұл жабдықты мерзімінен бұрын ауыстыру қажеттілігін азайтады, бұл айтарлықтай шығындарды үнемдейді.

Операциялық тиімділікті арттыру: оңтайлы күйдегі жабдық сенімді және тиімді жұмыс істейді. Өнімділіктің негізгі көрсеткіштері мен күй параметрлерін бақылау кәсіпорындарға тиімсіздікті, энергияны ұтымсыз пайдалануды немесе оңтайлы емес жұмыс жағдайларын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл мәселелерді шешу жалпы жұмыс тиімділігін арттыруға, қуат тұтынуды азайтуға және өнімділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету: ақаулы жабдық жұмысшылар мен қоршаған ортаның қауіпсіздігіне айтарлықтай қауіп төндіреді. Жабдықтың күйін бақылау жұмысшылардың қауіпсіздігіне қауіп төндіретін ықтимал қауіптерді немесе ақауларды анықтауға көмектеседі. Бұл мәселелерді жедел шешу өнеркәсіптік кәсіпорындарға қауіпсіз жұмыс ортасын сақтауға, қызметкерлерді қорғауға және еңбекті қорғау мен қауіпсіздік ережелерін сақтауға мүмкіндік береді.

Нормалар мен стандарттарға сәйкестік: өнеркәсіптік кәсіпорындар жабдықтың қауіпсіздігін, шығарындыларын және өнімділігін реттейтін әртүрлі нормалар мен стандарттарға бағынады. Жабдықтың күйін бақылау осы талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етуге көмектеседі. Ол талаптарды, айыппұлдарды және заңды жауапкершілікті сақтамау қаупін азайта отырып, уақтылы жөндеу, техникалық қызмет көрсету және құжаттаманы рәсімдеуге мүмкіндік береді.

Деректерге негізделген шешім қабылдау: технологиялық жай-күй мониторингі аппараттық құрал өнімділігі, трендтер және сәтсіздік үлгілері туралы құнды деректерді жасайды. Бұл деректерді техникалық қызмет көрсету стратегияларына, жабдықты жаңартуға, инвестициялауға немесе процестерді жақсартуға қатысты негізделген шешімдер қабылдау үшін талдауға және пайдалануға болады. Алынған деректерді пайдалана отырып, өнеркәсіптік кәсіпорындар жұмысты оңтайландырады, тәуекелдерді азайтады және үздіксіз жетілдіруді қамтамасыз етеді.

Осылайша, жабдықтың күйін бақылау өнеркәсіптік кәсіпорындарға сенімділікті арттыру, тоқтап қалу уақытын азайту, техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру және жалпы жұмыс тиімділігін арттыру үшін қажет. Ол алдын ала техникалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартады, жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді және сәйкестікке ықпал етеді. Жабдықтың жай-күйін бақылау

тәжірибесін енгізу өнеркәсіптік кәсіпорындарға шығындарды едәуір қысқартуға, өнімділікті арттыруға және заманауи динамикалық бизнес ортасында бәсекелестік артықшылықтарды сақтауға мүмкіндік береді. Өндірістік жабдықтардың техникалық жағдайын бақылау және мониторинг жасау жүйенің жұмыс жасау қабілеті мен өнімділігін кешенді бағалауды қамтамасыз ету үшін әртүрлі әдістер мен технологияларды біріктіретін кешенді тәсілді қамтиды. Бұл тәсіл көптеген элементтерді қамтиды.

1.4 Көрнекі тексеру

Көрнекі тексеру – бұл объектілердің, жүйелер мен құрылымдардың күйін, сапасы мен функционалдығын бағалау үшін қолданылатын маңызды әдіс. Ол тексерілетін объектінің сыртқы түрі мен сипаттамаларын мұқият бақылауды және зерттеуді қамтиды. Көрнекі тексеруді әдетте кез келген көрінетін ауытқуларды, ақауларды немесе күтілетін стандарттардан ауытқуларды анықтау үшін көру өткірлігі мен тәжірибесіне сүйенетін дайындалған инспекторлар немесе кәсіпқойлар жүргізеді.

Бұл бақылау әдісі, ең алдымен, адамның мүмкіндіктеріне негізделген. Ең алдымен-көру қабілетінде. Яғни бақылау объектісі көрінетін сәулеленуде зерттеледі. Бұл кез-келген қымбат және күрделі жабдықсыз орындалатын және қарапайым өлшеу құралдарын қолдана отырып жасалатын бұзылмайтын бақылаудың жалғыз түрі. Көрнекі бақылаудың негізгі аспектілері: көрінетін ақауларды анықтау: көрнекі тексеру объектінің немесе жүйенің жұмысына, қауіпсіздігіне немесе сапасына әсер етуі мүмкін көрінетін ақауларды, зақымдарды немесе бұзылуларды анықтауға мүмкіндік береді. Бұған жарықтар, коррозия, ағып кету, тозу, бос қосылыстар, бұрмаланулар, беткі ақаулар немесе деградацияның немесе ақаулықтың кез келген басқа көрінетін белгілері кіруі мүмкін.

Өндіріс сапасын бағалау: визуалды тексеру өндіріс сапасы мен өндірілетін өнімнің немесе салынған құрылымдардың сапасын бағалауда шешуші рөл атқарады. Инспекторлар өнімнің күтілетін сапа мен эстетика стандарттарына сәйкес келетініне көз жеткізу үшін оның сыртқы түрін, әрлеуін, құрастырылуын және жалпы денсаулығын бағалайды.

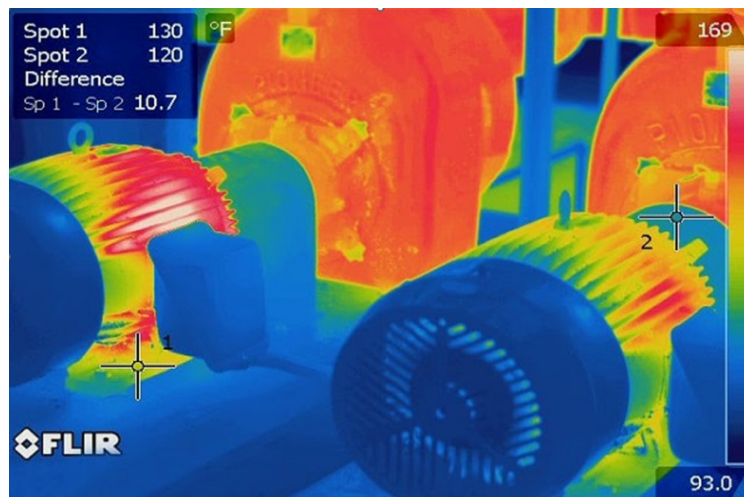
Ағымдағы техникалық қызмет көрсету және күйді бақылау: визуалды тексеру көбінесе тұрақты техникалық қызмет көрсету бағдарламалары мен күйді бақылау стратегияларының бөлігі болып табылады. Инспекторлар жабдықты, машиналарды және жүйелерді олардың жалпы жағдайын бағалау, тозу мен нашарлау белгілерін анықтау және ықтимал проблемаларды анықтау үшін көзбен тексереді. Тұрақты визуалды тексерулер уақыт өте келе активтердің күйін бақылауға көмектеседі, бұл техникалық қызмет көрсетуді уақтылы жүргізуге және алдын ала жоспарлауға мүмкіндік береді.

Жалпы, визуалды тексеру – бұл объектілердің, жүйелер мен құрылымдардың жай-күйін, сапасы мен қауіпсіздігін бағалаудың негізгі және

кеңінен қолданылатын әдіс. Мұқият визуалды бақылау және тексеру арқылы инспекторлар көрінетін ақауларды анықтай алады, жұмыс сапасын бағалайды, сәйкестікті тексереді, ағымдағы техникалық қызмет көрсетуді жеңілдетеді және сапаны бақылаудың жалпы күш-жігерін қолдайды. Визуалды тексеру әртүрлі объектілер мен құрылыстардың сенімділігін, қауіпсіздігін және жұмысқа қабілеттілігін қамтамасыз етудің маңызды құралы болып табылады.

1.5 Термография, термиялық сурет

Термография – бұл объектінің жылу сәулеленуін тіркеуге және талдауға негізделген бақылау әдісі. Жылу сәулеленуі – абсолютті нөлден жоғары температурасы бар барлық заттар шығаратын электромагниттік сәулелену. Термография, сондай — ақ инфрақызыл термография немесе термобейнелеу деп те аталады, объектілердің, беттердің және жүйелердің температурасының таралуын тіркеу және визуализациялау үшін инфрақызыл сәулеленуді қолданатын контактісіз диагностикалық әдіс. Ол объектілер шығаратын инфрақызыл сәулеленуді анықтау және өлшеу және температураның өзгеруін көрсететін визуалды кескінге айналдыру үшін жылу бейнелегіштерін пайдалануды қамтиды. Бұл объектіден келетін сәулеленуді анықтау, оны температураға айналдыру және нақты уақыт режимінде температураның таралу кескінін көрсету үшін жылу кескінін пайдалану процесі. Салыстыру үшін негізгі кескінмен жиі қолданылатын инфрақызыл термографиялық кескіндер актив қызып кеткен кезде анық және оңай көрсетілуі мүмкін. Өндірістік қызмет жылу энергиясының қайтымсыз шығындарымен қатар жүреді, сондықтан жылу процестерін (температура өрістері, жылу жоғалту және т.б.) талдау объектілердің жай-күйі мен онда жүріп жатқан үдерістер туралы жан-жақты ақпарат алуға мүмкіндік береді. Инфрақызыл термография қозғалтқыштардың электрлік және механикалық күйін бақылау, мойынтіректерді тексеру және отқа төзімді оқшаулауды зерттеу, газ, сұйықтық және тұнба деңгейін тексеру үшін қолданылады. Жылулық бақылаудың артықшылықтары: қашықтықтан бақылау мүмкіндігі (инфрақызыл жүйелер үшін: жылукамералар, жылулық дефектоскоптар), ақпаратты өңдеудің жоғары жылдамдығы; сынақтардың жоғары өнімділігі; жоғары сызықтық рұқсаттылығы; бұйымға бір жақты немесе екі жақты қолжетімділік кезінде бақылау мүмкіндігі; кез келген материалдарды бақылаудың теориялық мүмкіндігі; сынақтардың көппараметрлі сипаты; жылулық бұзбайтын бақылауды (ЖББ) басқа бұзбайтын бақылау әдістерімен үйлесімді біріктіру мүмкіндігі; ақпаратты өңдеудің стандартты жүйелерімен үйлесімділігі; ағындық бақылауды жүзеге асыру және технологиялық процестерді бақылау мен басқарудың автоматтандырылған жүйелерін құру мүмкіндігі.



1.1 Сурет – Сорғылардың инфроқызыл термография суреті

Термографияның көптеген қосымшалары бар және оны өндіріс орнында көптеген жұмыста жүзеге асыруға болады:

Мойынтіректерді бақылау: жабдықты қозғалысқа келтіріп жылжытуда мойынтіректер шешуші рөл атқарады және олардың температурасы бірнеше себептерге байланысты көтерілуі мүмкін. Негізгі себеп – қозғалатын элемент мойынтіректер жарысымен тікелей байланысқа түсіп, үйкеліс пен мерзімінен бұрын тозуды тудыратын майлаудың жеткіліксіздігінен үйкеліс. Шамадан тыс майлау сонымен қатар майлауды бұзу арқылы өндірілетін энергияның әсерінен температураның жоғарылауына әкелуі мүмкін, бұл мойынтірек үшін өнімділік мәселелерін тудыруы мүмкін. Мойынтіректердің істен шығуы жабдықтың істен шығуына және басқа компоненттердің зақымдалуына әкелуі мүмкін. Термографиялық тестілеу мойынтіректердің істен шығуын көрсететін факторларды анықтай алады және техниктерге бұл мәселені жұмысты тоқтатқанға дейін шешуге мүмкіндік береді.

Электр жабдықтарын инфрақызыл сынау: бұл жабдықтың мақсатына сай жұмыс істейтініне және сенімді жұмыс істей алатынына көз жеткізудің жылдам, сенімді және дәл әдіс. Электр жабдықтары нашарлай бастағанда, электр кедергісі артып, көбірек жылу пайда болады. Ақыр соңында, егер компонент толығымен істен шықса, оны ауыстыру үшін жүйені өшіру керек.

Бұзбайтын бақылау: термография жабдықтар мен жүйелерді бұзбайтын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл физикалық байланыс, бөлшектеу немесе үзіліссіз объектілер мен компоненттерді тексеруге мүмкіндік береді. Инвазивті емес сипат термографияны жабдықтың күйі мен өнімділігін бағалаудың тиімді және үнемді құралына айналдырады.

Ақауларды ерте анықтау: термографияның негізгі артықшылықтарының бірі оның ақаулардың немесе жабдықтың дұрыс жұмыс істемеуінің ерте белгілерін анықтау мүмкіндігі. Температура режимдерін түсіру және талдау арқылы термография компоненттердің қызып кетуі, жылудың қалыптан тыс таралуы немесе ыстық нүктелер сияқты дамып келе жатқан проблемаларды

көрсететін жылу ауытқуларын анықтауға мүмкіндік береді. Ерте анықтау алдын-ала техникалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді, қымбат бұзылулардың алдын алады және тоқтап қалуды азайтады.

Профилактикалық қызмет көрсету: термография жабдықтың күйі туралы құнды мәліметтер бере отырып, профилактикалық қызмет көрсету стратегияларын қолдайды. Тұрақты термографиялық зерттеулер техникалық қызмет көрсету топтарына уақыт өте келе жабдықтың күйін бақылауға, температура режимдерінің өзгеруін бақылауға және ықтимал проблемаларды көрсетуі мүмкін тенденцияларды анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай белсенді тәсіл техникалық қызмет көрсету кестесін оңтайландыруға, күтпеген ақаулардың алдын алуға және жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға көмектеседі.

1.5.1 Температураны бақылау құрылғысы FLIR. Flir тепловизоры кәсіби деңгейдегі құрылғыларға жатады. Ол жоғары ажыратымдылықтағы ИҚ сенсорымен (640x480 пиксель) жабдықталған, соның арқасында жеке элементтердің қосымша суреттерін жасамай-ақ жоғары егжей-тегжейлі жалпы жоспар нысандарын түсіруге болады. Камера абсолютті нөлден жоғары температурасы бар барлық заттар шығаратын инфрақызыл сәулеленуді түсіреді және оны көрінетін кескінге айналдырады.

Жұмыс барысында жабдықтың қызуы тән болғандықтан, термиялық бақылауды техникалық диагностиканың тиімді әдісі ретінде пайдалануға болады. FLIR тепловизоры зерттелетін объектілердің күйін қашықтан бақылауға, жасырын ақауларды олардың айқын көрінуіне дейін анықтауға мүмкіндік береді.



1.2 Сурет – Температураны FLIR бақылау құрылғысы

1.2 Кесте FLIR құрылғысының негізгі сипаттамалары

Параметр	Мағынасы
Детектор түрі	Фокустық жазықтықтағы матрица салқындатылмаған микроболометр
Температуралық өлшеу диапазоны, °C	- 40 дейін 2000
Температураны өлшеу дәлдігі, °C	±2
Температураға сезімталдық, °C	< 0,035
Инфрақызыл рұқсат	640 x 480
Спектрлік диапазон, мкм	7,5-14
Көру өрісі, °	15 x 11 немесе 25 x 19 немесе 45 x 34
Фокустау	Авто немесе қолмен
Минималды фокус қашықтығы, м	0,5
Сандық ұлғайту	8x
Кескінді жаңарту жиілігі, Гц	30

Термография жабдықтың күйі мен өнімділігін бақылаудың қуатты құралы. Оның бұзылмайтын сипаты, ақауларды ерте анықтау мүмкіндігі, профилактикалық қызмет көрсетуді қолдау, энергияны тұтынуды оңтайландырудың артықшылықтары, қауіпсіздікті арттыру және қолданудың кең ауқымы оны әртүрлі секторлардың салалары үшін баға жетпес активке айналдырады. Термография арқылы алынған деректерді пайдалана отырып, ұйымдар өз жабдықтарын белсенді басқара алады, сенімділікті арттырады және жұмыстың жалпы тиімділігін оңтайландырады.

1.6 Діріл диагностикасы

Діріл – бұл нүктенің немесе механикалық жүйенің қозғалысы, онда оны сипаттайтын скалярлық шамалардың тербелісі пайда болады. Нысанның тербелісін тудыратын бірнеше себептер бар. Олар қозғалатын бөлшектердің теңгерімсіздігімен байланысты. Ол мәжбүр етеді тепе-теңдік жағдайына қатысты бірлік ретінде тербелу механизмі. Бұл тербелістер төмен жиіліктермен (ондаған, сирек жүздеген герц), салыстырмалы түрде үлкен қозғалыс амплитудасымен және шағын үдеулермен сипатталады. Нысанның негізгі діріл жиілігі теңгерімсіз массасы бар біліктің айналу саны. Негізгі жиілікке еселік гармоника байқалуы мүмкін. Қазіргі уақытта диагностикалық объектінің діріл талдауына негізделген техникалық диагностика әдетте діріл диагностикасы деп аталады. Екінші жағынан, негізделген бұзбайтын бақылау бақылау объектісінде қозғалатын немесе пайда болатын серпімді тербелістерді өлшеу кезінде дірілді бұзбайтын бақылау деп аталады. Дірілдің ең қарапайым түрі — тепе-теңдік жағдайына жақын дененің тербелісі немесе қайталанатын

қозғалысы. Мұндай діріл «жалпы діріл» деп аталады, себебі дене біртұтас ретінде қозғалады және оның барлық бөліктері шамасы мен бағыты жағынан бірдей жылдамдыққа ие. Тепе-теңдік позициясы — дене тыныштықта болатын немесе оған әсер ететін күштердің қосындысы нөлге тең болған жағдайда дененің алатын орны.

Дірілді талдау (виброанализ немесе вибродиагностика) — ол шығаратын тербелістерді талдау арқылы жабдықтың күйін бағалау үшін машина жасау мен техникалық қызмет көрсетуде қолданылатын қуатты техника. Діріл көптеген механикалық жүйелерге тән және теңгерімсіздік, сәйкессіздік, мойынтірек ақаулары, резонанс және құрылымдық мәселелер сияқты әртүрлі көздерден туындауы мүмкін. Бұл тербелістерді бақылау жабдықтың өнімділігі мен тұтастығы туралы құнды ақпарат алуға мүмкіндік береді, бұл техникалық қызмет көрсетудің алдын-алу стратегияларын қолдануға және апатты ақаулардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Дірілді талдау машиналардың діріл деңгейлері мен жиіліктерін өлшеу және осы ақпаратты машиналар мен олардың компоненттерінің күйін талдау үшін пайдалану процесі ретінде анықталады. Дірілді талдау теңгерімсіздік, мойынтіректердің істен шығуы, механикалық босаңсу, мойынтірек ақауларын, резонанс, иілген біліктер және т.б. сияқты мәселелерді анықтауға көмектеседі. Ол ауытқуларды анықтау, ақауларды диагностикалау және жабдықтың жалпы денсаулығын бақылау үшін діріл сигналдарын өлшеуді және түсіндіруді қамтиды.

Дірілді талдау (VA) жабдықта табылған тербелістерді жинайды және ықтимал сәтсіздік нүктелерін анықтау үшін белгілі сәтсіздік тербелістерімен салыстырғанда өлшейді. VA техникалық қызмет көрсету мамандарына жабдық жұмыс орнында бұзылғанға дейін өнімділік мәселелерін алдын ала шешуге көмектесе алады. Виброанализдің ықтимал ақауларды болжау қабілеті оны техникалық қызмет көрсетуді жоспарлау, жабдықтың өнімділігін арттыру және жоспарланбаған тоқтап қалуды болдырмау үшін пайдалы құралға айналдырады. Бұл болжамды қызмет көрсету құралдарының (PdM) жиынтығындағы құралдардың бірі. Дірілді талдау ықтимал сәтсіздіктерді анықтау үшін жағдайды бақылауға көмектеседі:

- Жоспарланбаған үзілістерді қысқарту және ұйымның жоспарларына сәйкес жұмыс кестесін құру;
- Өнімділіктің белгіленген деңгейінде жабдықтың жұмысының арқасында өнім сапасын арттыру есебінен шығындарды үнемдеу;
- Жоспарланбаған жөндеуге өндірістік шығындардың шығындарын жою;
- Сенімді жабдықтың арқасында өнімді уақтылы жеткізу.



1.3 Сурет – Діріл диагностикасының жұмыс істеуі принципі

1.6.1 Діріл өлшеу құрылғысы. VibXpert II – айналмалы жабдықтың күйін диагностикалау үшін қолданылатын портативті дірілді талдау құралы. Оны Pruftechnik әзірлеген және дірілді егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік береді, бұл ерте сатыдағы ақауларды анықтауға және профилактикалық күтімді жоспарлауға көмектеседі.



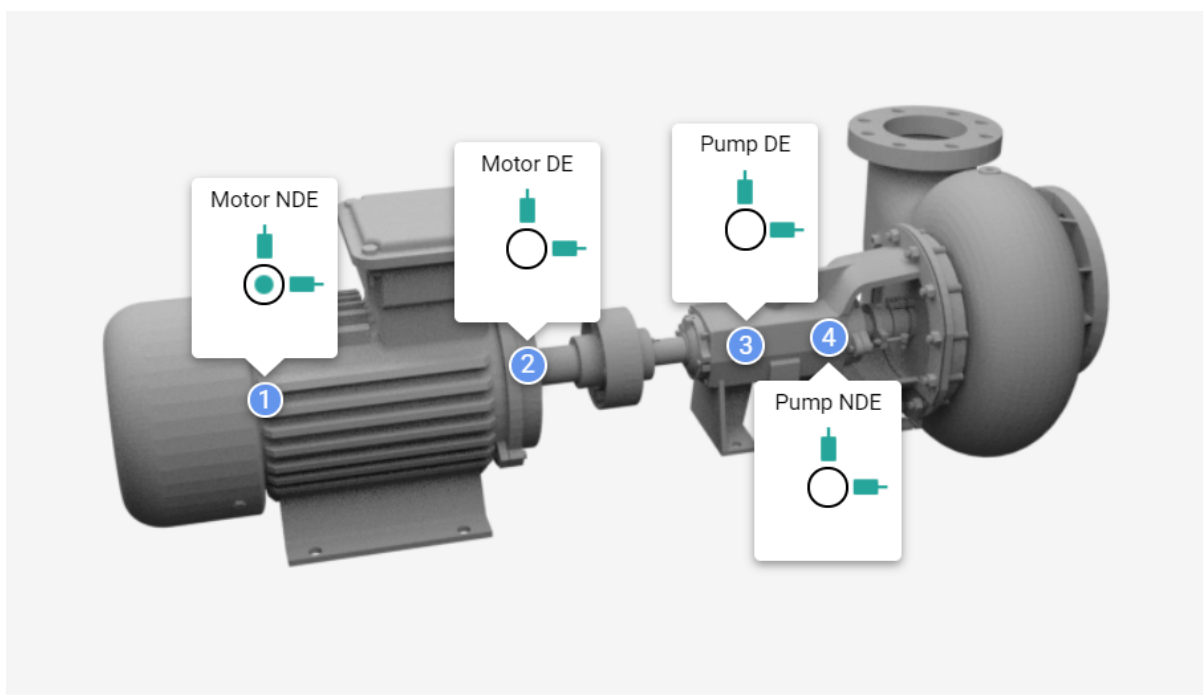
1.4 Сурет – Діріл өлшеу құрылғысы VibXpert II

VibXpert II жұмыс принципі жабдықтың әртүрлі бөліктеріне бекітілген діріл датчиктерін пайдаланады. Бұл датчиктер тербелмелі қозғалыстарды

өлшейді, оларды электрлік сигналдарға айналдырады, содан кейін олар құрылғымен талданады. Талдау мыналарды қамтиды:

Деректерді жинау: датчиктер жабдықтың белгілі бір нүктелеріндегі дірілді өлшейді. Құрылғы діріл жиілігі мен амплитудасы туралы деректерді жазады.

Дірілді өлшеу нүктелері: орталантепкіш сорғыда дірілді тексеру нүктелері мойынтірек корпусындағы біліктің осьтік сызығына сәйкес келуі керек. Қатты бөлікке тұрақты бекітуі қамтамасыз етілуі керек. Мүмкіндігінше әр мойынтіректің көлденең (H), тік (V) және осьтік (a) бағыттарында өлшемдер жасалынады.



1.5 Сурет – Ортадан тепкіш сорғының дірілді өлшеу нүктелері

Дірілді талдаудың маңыздылығы. Жабдықтың күйін бақылау үшін діріл диагностикасын асыра бағалау қиын. Оның маңызды болуына бірнеше негізгі себептері бар:

Ақаулықтарды ерте анықтау: дірілді талдау жабдықтағы ықтимал ақаулардың немесе ақаулардың ерте белгілерін анықтауға мүмкіндік береді. Дірілді үнемі бақылау қалыпты мінез-құлықтан ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді, бұл дамып келе жатқан ақаулардың болуын көрсетеді. Мұндай ерте ескерту жүйесі проблемалар елеулі бұзылуларға айналғанға дейін уақтылы араласуға және профилактикалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді.

Профилактикалық қызмет көрсету: дірілді талдау болжамды техникалық қызмет көрсету бағдарламаларының негізі болып табылады. Белгіленген техникалық қызмет көрсету аралықтарына немесе реактивті жөндеуге сенудің орнына, ол техникалық қызмет көрсету топтарына жабдықтың нақты күйіне негізделген араласуды жоспарлауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл қажетсіз

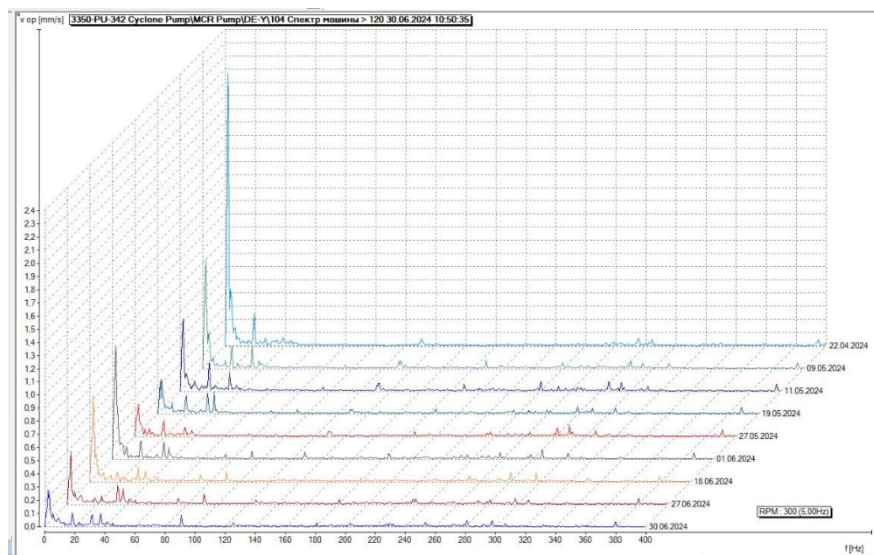
техникалық қызмет көрсету жұмыстарын болдырмауға, бос уақытты қысқартуға және ресурстарды бөлуді оңтайландыруға, күш-жігерді қажет жерге бағыттауға мүмкіндік береді.

Жабдықтың сенімділігін арттыру: дірілді талдау аппараттық ақаулардың негізгі себептері туралы құнды түсініктер береді, бұл жөндеу мен түзету әрекеттерін мақсатты түрде жүргізуге мүмкіндік береді. Негізгі проблемаларды жою арқылы жабдықтың сенімділігі артады және қайта істен шығу қаупі азаяды. Бұл жұмыс тиімділігінің жоғарылауына, өнімділіктің жоғарылауына және өнімнің тұрақты сапасына әкеледі.

Техникалық күй бойынша техникалық қызмет көрсету: дірілді талдау күйді бағалауға негізделген техникалық қызмет көрсету стратегияларының негізінде жатыр. Діріл мониторингін термография, май анализі және акустикалық эмиссия сияқты басқа диагностикалық әдістермен біріктіру жабдықтың күйінің толық бейнесін береді. Бұл кешенді тәсіл техникалық қызмет көрсету топтарына техникалық қызмет көрсету кестелерін оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және маңызды активтердің қолжетімділігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Дірілді талдау жабдықтың күйін бақылауда маңызды рөл атқаратынын атап өткен жөн. Ол ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді, профилактикалық күтімді жеңілдетеді, шығындарды азайтады, жабдықтың сенімділігін арттырады, қауіпсіздікті жақсартады және күйге негізделген техникалық қызмет көрсету стратегияларын қолдайды. Дірілді талдау мүмкіндіктерін пайдалана отырып, ұйымдар өз активтерін белсенді түрде басқара алады және оңтайлы өнімділікке қол жеткізе алады.

1.6.2 Діріл талдау үшін Omnitrend бағдарламасын қолдану. Omnitrend — бұл өнеркәсіптік жабдықтың техникалық жай-күйін бақылауға, диагностика жасауға және талдау нәтижелеріне негізделген шешімдер қабылдауға арналған қуатты бағдарламалық жасақтама. Ол Vibroexpert II сияқты заманауи өлшеу құралдары арқылы жиналған деректерді өңдеуге және визуализациялауға мүмкіндік береді. Бағдарлама діріл және акустикалық параметрлерді талдау арқылы жабдықтың жұмысын бақылауды оңтайландырады және оның сенімділігін арттырады. Omnitrend жабдықтың дірілдік сипаттамаларын терең талдауға арналған мамандандырылған платформа ретінде өнеркәсіптік секторда жоғары бағаланады.



1.6 Сурет – Omnitrend бағдарламаның интерфейсі

Omnitrend бағдарламасының негізгі ерекшеліктері

1) Деректерді жинау және өңдеу

Omnitrend бағдарламасы деректерді жинау кезеңінде Vibroexpert II сияқты құрылғылардан нақты уақыт режимінде ақпаратты қабылдайды. Бұл деректерге мыналар кіреді:

- Виброжылдамдық — жабдықтағы тербелістердің жылдамдығын өлшейді.

- Виброүдеу— діріл үдеуі арқылы динамикалық жүктемелерді анықтайды.

- Дыбыстық қысым деңгейлері — механикалық және жалпы акустикалық жағдайларды бағалайды.

Бағдарлама жиналған мәліметтерді орталықтандырылған дерекқорға сақтайды, бұл деректерді одан әрі талдау және ұзақ мерзімді тенденцияларды бақылау үшін маңызды.

2) Жабдықтың жағдайын диагностика жасау

Omnitrend жабдықтың жұмысын диагностикалауға арналған бірқатар мүмкіндіктерді ұсынады:

Ақауларды ерте анықтау: Бағдарлама арқылы діріл немесе акустикалық сигналдардағы аномалияларды ерте кезеңде анықтауға болады. Бұл мойынтіректердің тозуы, ротордың теңгерімсіздігі немесе механикалық компоненттердің зақымдалуы сияқты мәселелерді тез анықтауға көмектеседі.

Талдау нәтижелерінің визуализациясы: Omnitrend деректерді графиктер, спектрлер және диаграммалар түрінде визуализациялайды, бұл пайдаланушыларға діріл сипаттамаларындағы өзгерістерді анықтауға және дер кезінде шара қолдануға мүмкіндік береді.

3) Болжау және техникалық қызмет көрсетуді жоспарлау

Бағдарлама жабдықтың техникалық жағдайын болжауға арналған қуатты құрал ретінде пайдаланылады. Бұл мүмкіндіктер мыналарды қамтиды:

Машиналық оқыту әдістерін интеграциялау: Omnitrend арқылы алынған деректер MATLAB немесе басқа платформаларда машиналық оқыту модельдерін құру үшін қолданылады. Мұндай модельдер ықтимал ақауларды болжауға мүмкіндік береді.

Техникалық қызмет көрсету кестесін оңтайландыру: Жиналған мәліметтерге негізделген болжамдар жабдыққа профилактикалық қызмет көрсетуді уақытылы жоспарлауға мүмкіндік береді. Бұл жоспарланбаған тоқтап қалуды және жөндеу шығындарын азайтады.

4) Жабдықтың жұмыс тиімділігін арттыру

Omnitrend көмегімен жабдықтың сенімділігін арттыру және жұмыс тиімділігін жақсарту мүмкін:

Деректерге негізделген шешімдер қабылдау: Жабдықтың күйі туралы нақты уақыттағы деректер мен ұзақ мерзімді тенденциялар негізінде шешімдер қабылданады.

- Тоқтап қалу уақытын азайту: Проблемаларды ерте кезеңде анықтау жабдықтың жоспарланбаған тоқтап қалуын болдырмауға көмектеседі.

- Жабдықтың пайдалану мерзімін ұзарту: Механикалық ақаулардың алдын алу арқылы жабдықтың қызмет ету мерзімі артады.

Omnitrend-тің өнеркәсіптік процестердегі рөлі:

Діріл диагностикасының маңыздылығы: Omnitrend негізінде жүзеге асырылатын діріл диагностикасы өнеркәсіптік жабдықтың техникалық күйін бақылаудың маңызды аспектісі болып табылады. Діріл талдауы жабдықтың компоненттері арасындағы механикалық және динамикалық өзара әрекеттесулерді бағалауға мүмкіндік береді. Бағдарлама әртүрлі өлшеу параметрлерін біріктіріп, күрделі механикалық жүйелердегі ықтимал ақауларды нақты анықтауға мүмкіндік береді.

- Ақауларды ерте анықтау: Omnitrend жабдықтың жұмысындағы ақауларды ерте анықтау арқылы пайдаланушыларға жабдықты тексеру мен жөндеуді алдын ала жоспарлауға көмектеседі. Бұл жабдықтың сыну қаупін азайтып, техникалық қызмет көрсету шығындарын төмендетеді.

- Қауіпсіздікті қамтамасыз ету: Omnitrend арқылы жабдықтың күйін бақылау жұмысшылардың қауіпсіздігін арттыруға және қауіпті жағдайларды азайтуға ықпал етеді. Бұл әсіресе тау-кен және мұнай-газ салаларында өте маңызды.

Omnitrend — бұл өнеркәсіптік жабдықтың күйін бақылау және диагностика жасау үшін таптырмас құрал. Оның негізгі артықшылықтары:

- Деректерді нақты уақыт режимінде жинау және сақтау.
- Жабдықтың күйін диагностикалау және ақауларды ерте анықтау.

Болжау модельдерін құру арқылы техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру.

Жабдықтың сенімділігі мен тиімділігін арттыру: Omnitrend жабдықтың күйін бақылаудың заманауи тәсілдерін ұсыну арқылы өнеркәсіптік процестердің үздіксіздігін қамтамасыз етіп, шығындарды азайтуға және жұмыс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

1.7 Акустикалық диагностика

Акустикалық бақылау – материалдардың, бұйымдардың, биологиялық объектілердің, қоршаған ортаның жай-күйін диагностикалаудың негізгі физикалық әдістерінің бірі. Диагностикалық операциялардың жоғары сезімталдығы, ақпараттылығы, сенімділігі, жеделдігі акустикалық бақылаудың бірқатар басқа бақылау әдістерінде жетекші орынға ие болуына әкелді. Акустика арқылы жабдықты диагностикалау – акустикалық жабдықтың күйін, өнімділігі мен сапасын бағалау, талдау және диагностикалау үшін арнайы құралдар мен әдістерді пайдалану.

Акустикалық диагностика арқылы жабдықты бақылау акустикалық өлшеу және талдау арқылы нақты уақыт режимінде жабдықтың өнімділігі мен күйін үздіксіз бағалауды қамтиды. Бұл тәсіл проблемаларды алдын-ала анықтауға, уақтылы техникалық қызмет көрсетуге және жабдықтың жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Акустикалық диагностика арқылы жабдықты бақылау әдетте осылай жүреді:

Нақты уақыттағы талдау: түсірілген акустикалық сигналдар акустикалық диагностикаға арналған арнайы бағдарламалық жасақтама немесе аппараттық жүйелер арқылы нақты уақыт режимінде талданады. Бұл жүйелер сигналдарды өңдейді және жиілік мазмұны, амплитудасы және спектрлік сипаттамалары сияқты тиісті параметрлерді шығарады.

Негізгі немесе анықтамалық деректермен салыстыру: нақты уақыттағы өлшемдер мен параметрлер негізгі немесе анықтамалық деректермен салыстырылады. Негізгі деректер жабдықтың оңтайлы жағдайда күтілетін немесе қалыпты әрекетін білдіреді. Нақты уақыттағы өлшемдерді негізгі деректермен салыстыру ауытқуларды немесе ауытқуларды анықтауға және оларды ықтимал проблемалар ретінде белгілеуге мүмкіндік береді.

Негізгі себептерді диагностикалау және талдау: егер ақау немесе аномалия анықталса, техниктер одан әрі диагноз қою үшін бақылау жүйесін қолдана алады. Бұл қосымша параметрлерді талдауды, мақсатты сынақтарды жүргізуді немесе мәселенің негізгі себебін анықтау үшін өлшеу нәтижелерін тарихи деректермен салыстыруды қамтуы мүмкін.

Техникалық қызмет көрсету және түзету әрекеттері: диагностика мен негізгі себепті талдау нәтижелері негізінде техникалық қызмет көрсету немесе ақаулықтарды жою бойынша тиісті шараларды қабылдауға болады. Олар техникалық қызмет көрсету кестесін құруды, ақаулы компоненттерді ауыстыруды, параметрлерді өзгертуді немесе қосымша тексерулер мен сынақтарды жүргізуді қамтуы мүмкін.

Тұрақты өнімділікті бағалау: акустикалық диагностика арқылы жабдықты бақылау жабдықтың өнімділігі мен күйі туралы үздіксіз кері байланысты қамтамасыз етеді. Өлшеу және талдау нәтижелерін үнемі қарап отырып, техниктер техникалық қызмет көрсету әрекеттерінің тиімділігін бағалай алады, жабдықтың жалпы жағдайын бағалай алады және одан әрі оңтайландыру немесе жаңарту туралы негізделген шешімдер қабылдай алады.

Акустикалық диагностика арқылы жабдықты бақылаудың артықшылықтары:

Мәселелерді ерте анықтау: акустикалық диагностика жабдықтың жұмысындағы ақауларды немесе ауытқуларды ерте анықтауға мүмкіндік береді, бұл техникалық қызмет көрсетуді уақтылы жүргізуге немесе түзету шараларын қабылдауға мүмкіндік береді. Бұл жабдықтың істен шығуын болдырмауға, бос уақытты азайтуға және қымбат жөндеу қаупін азайтуға көмектеседі.

Сенімділік пен тиімділікті арттыру: үздіксіз бақылау жабдықтың оңтайлы деңгейде жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, күтпеген сыну немесе өнімділіктің төмендеу ықтималдығын азайтады. Бұл әртүрлі қолданбаларда сенімділікті, тиімділікті және өнімділікті сақтауға көмектеседі.

Шығындарды үнемдеу: проблемаларды ерте кезеңдерде анықтау және жою, акустикалық диагностика арқылы бақылау жөндеу шығындарын азайтуға, жабдықтың зақымдануын болдырмауға және оның қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Ол сондай-ақ реактивті қызмет көрсету және апаттық жөндеу қажеттілігін азайтады.

Деректерге негізделген шешім қабылдау: акустикалық диагностика жабдықты күтіп ұстауға, жаңартуға немесе ауыстыруға қатысты шешімдер қабылдау үшін пайдаланылуы мүмкін құнды деректер мен мәліметтерді алуға мүмкіндік береді. Бұл жабдықтың өнімділігі мен ресурстарды бөлуді оңтайландыру үшін деректерге негізделген стратегияларды қолдануға мүмкіндік береді.

Жалпы, акустикалық диагностика арқылы жабдықтың күйіне мониторинг жасау нақты уақыт режимінде үздіксіз өлшеуді, акустикалық параметрлерді талдауды және базалық деректермен салыстыруды қамтиды. Бұл тәсіл проблемаларды ерте кезеңдерде анықтауға, алдын-ала техникалық қызмет көрсетуге және жабдықтың жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді, бұл сенімділікті арттыруға, шығындарды үнемдеуге және негізделген шешімдер қабылдауға әкеледі.



1.7 Сурет – Акустикалық-эмиссиялық бақылау

1.8 Майды талдау

Майды талдау жабдықтың жай-күйінің мониторингінің негізгі әдістерінің бірі болып табылады, өйткені ол тозу дәрежесін, майлау күйін және ластанудың болуын инвазивті емес бағалауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде техникалық қызмет көрсету қажеттілігін анықтайтын және компоненттердің қызмет ету мерзімін ұзартатын жабдықтың ішкі жағдайы туралы ақпарат береді. Сынақтың әртүрлі түрлері, соның ішінде тұтқырлықты тексеру, бөлшектердің құрамы және басқа ластаушы заттар майдың өнімділігін және оның жабдықты тозудан және қызып кетуден қорғау қабілетін бағалауға мүмкіндік береді

Майды талдау арқылы стационарлық жабдықты бақылаудың артықшылықтары:

Мәселелерді ерте анықтау: майды талдау жабдықтың тозуы, ластануы немесе деградациясы сияқты ықтимал проблемаларын ерте анықтауға мүмкіндік береді. Бұл үлкен бұзылулардың немесе қымбат жөндеудің алдын алу үшін техникалық қызмет көрсету шараларын уақтылы қабылдауға мүмкіндік береді.

Күйге негізделген техникалық қызмет көрсету: май күйін бақылау жабдықтың нақты күйіне негізделген техникалық қызмет көрсету шараларын жоспарлауға, техникалық қызмет көрсету әрекеттерін оңтайландыруға, бос уақытты қысқартуға және қажетсіз техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Жабдықтың күйін бағалау: майды талдау стационарлық жабдықтың жалпы жағдайы мен өнімділігі туралы түсінік береді. Бұл техникалық қызмет көрсету әрекеттерінің тиімділігін бағалауға, жабдықтың қалған қызмет ету мерзімін бағалауға және жөндеу, ауыстыру немесе жаңарту туралы шешімдерді қолдауға көмектеседі.

Шығындарды үнемдеу: майды талдау деректері негізінде белсенді қызмет көрсету туралы жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға, күтпеген істен шығуды азайтуға және жөндеу шығындарын азайтуға көмектеседі. Ол сондай-ақ майлау материалдарын пайдалануды оңтайландырады және қажетсіз май ауыстыруды болдырмайды.

Сәйкестік және сапа кепілдігі: майды талдау жабдық өндірушілерінің салалық стандарттарына, нормаларына және ұсыныстарына сәйкестігін қамтамасыз етеді. Ол сондай-ақ стационарлық жабдықта қолданылатын майлау материалдарының сапасы мен өнімділігін сақтауға көмектеседі.

Май сынамаларын алу жабдық пен майлау материалдарының күйінің бірнеше маңызды аспектілерін анықтауға мүмкіндік береді. Сынамаларды алу және талдау арқылы алуға болатын кейбір негізгі мәліметтер:

Тозу металдары және ластаушы заттар: майды талдау темір, мыс, алюминий және т.б. сияқты тозу металдарының болуын және концентрациясын анықтауға мүмкіндік береді. Металдардың тозу деңгейінің жоғарылауы жабдық компоненттерінің қалыпты тозуын немесе деградациясын

көрсетеді. Сонымен қатар, майды талдау майлау жүйесіне еніп, жабдықтың өнімділігін төмендетуі мүмкін кір, шаң, су және отын сияқты ластаушы заттарды анықтауға мүмкіндік береді.

Майлау материалының деградациясы: уақыт өте келе майлау материалдары жылу, тотығу және ластану сияқты факторлардың әсерінен бұзылуы мүмкін. Май сынамаларын алу тұтқырлықтың, қышқыл санының, негізгі санның және басқа қасиеттердің өзгеруін қоса алғанда, жағармайдың деградация дәрежесі туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді. Бұл майлау материалын ауыстыру немесе қоспаларды толтыру қажет пе екенін анықтауға көмектеседі.

Ластану деңгейі: майды талдау майлау жүйесіндегі ластану деңгейін бағалауға көмектеседі. Бұл жабдықтың өнімділігі мен сенімділігіне әсер етуі мүмкін бөлшектердің, судың немесе басқа қажетсіз заттардың болуын анықтауға мүмкіндік береді. Ластану деңгейін бақылау сүзгіні ауыстыру немесе жүйені тазарту сияқты тиісті техникалық қызмет көрсету шараларын қабылдауға мүмкіндік береді.

Май күйі: май сынамаларын алу майлау материалының жалпы жағдайы туралы түсінік береді. Ол тотығу белгілерін, термиялық кернеуді, қоспалардың сарқылуын немесе майлау материалының тиімді майлау мен қорғауды қамтамасыз ету қабілетіне әсер ететін басқа факторларды анықтай алады. Майдың күйін бақылау майлау материалын ауыстыру немесе қосымша техникалық қызмет көрсету шараларын қажет ететіндігін анықтауға көмектеседі.

Жабдықтың жағдайы және тозу сипаты: май үлгісіндегі металдар мен бөлшектердің тозуын талдау жабдықтың тозу сипатын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл ақпарат компоненттердің күйін диагностикалауға, қалыптан тыс тозуды анықтауға және ықтимал сәтсіздік режимдерін болжауға көмектеседі. Бұл алдын-ала техникалық қызмет көрсетуді жоспарлауға және мақсатты компоненттерді тексеруге мүмкіндік береді.

Сұйықтықтың үйлесімділігі және араласуы: майды талдау жабдықта сәйкес келмейтін немесе аралас майлау материалдарының болуын анықтауға мүмкіндік береді. Әр түрлі майлау материалдарын араластыру өнімділіктің төмендеуіне, тез тозуға немесе майлаудың жеткіліксіздігіне әкелуі мүмкін. Осындай проблемаларды анықтай отырып, үйлесімді майлау материалдарын пайдалануды қамтамасыз ету үшін тиісті түзету шараларын қолдануға болады.

Трендті талдау: сынамалар үнемі іріктеу және талдау белгілі бір уақыт кезеңіндегі тенденцияларды талдауға мүмкіндік береді. Майды талдаудың бірнеше нәтижелерін салыстыра отырып, металдардың тозуына, ластану деңгейіне немесе майдың күйіне қатысты тенденцияларды анықтауға болады. Трендті талдау жабдықтың күйін бақылауға, техникалық қызмет көрсету әрекеттерінің тиімділігін бағалауға және олардың өршуіне дейін ықтимал проблемаларды болжауға көмектеседі.

1.9 Ультрадыбыстық қалыңдық тексеру

Ультрадыбыстық қалыңдықты тексеру (UTM) – ультрадыбыстық толқындардың көмегімен материалдың қалыңдығын анықтау үшін қолданылатын бұзбайтын бақылау әдісі. Ол құрылымдық компоненттердің тұтастығын бағалау және олардың қауіпсіздік стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз ету үшін өндіріс, құрылыс және техникалық қызмет көрсетуді қоса алғанда, әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Әдетте, УЗ қалыңдығын өлшеу әдісі механикалық өлшеу құралымен қалыңдығын өлшеу үшін қол жетпейтін жерлерде қолданылады. Бұл әдіс әсіресе құбырлардың, қазандықтардың, ыдыстардың, яғни жабық типтегі немесе бір жақты қол жетімді заттардың қабырғаларының қалыңдығын анықтау үшін қолданылады. Әдетте өлшеулер эквиденттік (бір-бірінен бірдей қашықтықта) беттерде немесе беттің бөліктерінде жасалады, дегенмен басқа жағдайларда да өлшеулер түбегейлі мүмкін.

Ультрадыбыстық қалыңдықты өлшеу материал арқылы жоғары жиілікті дыбыстық толқындардың берілуіне және шағылысуына негізделген. Түрлендіргіш ультрадыбыстық толқындарды жасайды, олар тексерілетін материалға жіберіледі. Толқындар материал арқылы өтеді және олардың бір бөлігі шекарамен соқтығысқан кезде сенсорға қайта шағылысады, мысалы, артқы беті немесе материалдағы ақау.

Жабдық: ультрадыбыстық қалыңдықты өлшеу үшін қолданылатын жабдық ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіш немесе қалыңдық өлшегіш деп аталатын қолмен немесе стационарлық құрылғыдан тұрады. Қалыңдық өлшегіш түрлендіргіштен, импульсті қабылдағыш құрылғыдан және индикатор блогынан тұрады. Түрлендіргіш ультрадыбыстық толқындар шығарады және шағылысқан толқындарды қабылдайды. Импульсті қабылдау құрылғысы толқындардың өту уақытын бақылайды және алынған сигналдарды күшейтеді. Дисплей қалыңдығын өлшеу нәтижелерін көрсетеді.

Процедура: ультрадыбыстық қалыңдығын өлшеу үшін сенсор зерттелетін материалдың бетімен жанасады. Сенсор мен материал арасындағы жақсы акустикалық байланысты қамтамасыз ету үшін гель немесе май сияқты байланыстырғыш зат жиі қолданылады. Түрлендіргіш материал арқылы өтетін және одан шағылысатын ультрадыбыстық толқындарды шығарады. Толқындардың материал арқылы өту және кері қайту уақыты өлшенеді.

Өлшемдер мен есептеулер: ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіш ультрадыбыстық толқындардың өту уақытын өлшейді және материал арқылы дыбыс жылдамдығына негізделген материалдың қалыңдығын есептейді. Материалдағы дыбыс жылдамдығы әдетте белгілі немесе калибрлеу арқылы анықталуы мүмкін. Есептегіш экранда қалыңдықты өлшеу нәтижелерін көрсетеді.

Калибрлеу: өлшеу алдында ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіштерді белгілі қалыңдықтағы үлгілерді немесе белгілі акустикалық қасиеттері бар материалдарды пайдаланып калибрлеу керек. Бұл өлшеулердің дәлдігі мен

сенімділігін қамтамасыз етеді. Калибрлеу қалыңдық өлшегіш параметрлерін орнатуды немесе белгілі қалыңдығы бар калибрлеу блоктарын пайдалануды қамтуы мүмкін.

Ультрадыбыстық қалыңдықтың бірқатар артықшылықтары бар:

Бұзбайтын бақылау: UTM – бұзбайтын бақылау әдісі, яғни ол өлшенетін материалға зақым келтірмейді немесе өзгертпейді.

Жылдамдық және портативтілік: ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіштер әдетте портативті және пайдалану оңай. Өлшеулерді тез жасауға болады, бұл оларды далалық тексерулер мен бағалауға жарамды етеді.

Әмбебаптық: UTM металдар, пластмассалар, композиттер және т.б. қоса алғанда, материалдардың кең ауқымына қолданылуы мүмкін. Ол әртүрлі пішіндер мен өлшемдердің компоненттеріне қолданылады.

Дәлдік : дұрыс орындалған және калибрленген кезде ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіші дәл және сенімді қалыңдық көрсеткіштерін береді.

Қалыңдықты бақылау: UTM уақыт өте келе материалдардың қалыңдығын бақылауға, коррозияға, эрозияға немесе басқа факторларға байланысты ықтимал жұқаруды анықтауға пайдалы.

Қалыңдықты дәл және сенімді ультрадыбыстық өлшеу үшін жабдықты және өлшеу техникасын дұрыс дайындау және түсіну қажет екенін ескеру маңызды.



1.8 Сурет – Ультрадыбыстық қалыңдық тексеру

Ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіші (UTM) материалдардың қалыңдығы мен тұтастығын бағалау үшін әртүрлі салаларда маңызды рөл атқаратын бұзбайтын бақылаудың құнды әдісі екенін атап өткен жөн. Ультрадыбыстық толқындарды қолдана отырып, UTM коррозия, эрозия немесе

жұқару сияқты ықтимал мәселелерді анықтауға мүмкіндік беретін жылдам, дәл және портативті өлшемдерді ұсынады. Уақыт өте келе материалдың қалыңдығын бақылау мүмкіндігі құрылымның тұтастығын сақтауға, ақаулардың алдын алуға және қауіпсіздік стандарттарына сәйкес келуге көмектеседі. Ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіші әртүрлі материалдар мен компоненттердің құрылымдық тұтастығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ететін құнды құрал болып табылады. Оның бұзылмайтын, дәл және портативті өлшемдерді қамтамасыз ету қабілеті оны көптеген салаларда техникалық қызмет көрсету, сапаны бақылау және сәйкестік үшін таптырмас әдіс етеді.

1.3 Кесте – Мониторинг түрі, артықшылықтары мен кемшіліктері

Мониторинг түрі	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Пайдаланылатын ақпарат	Тиімділігі
Термография	-Байланыссыз; -Жылу ауытқуларын анықтау; -Жедел нәтиже; -Жабдықтың әртүрлі түрлеріне жарамды; -Оператордың қауіпсіздігі	-Жабдықтың жоғары құны; -Нәтижелерді түсіндіру үшін тәжірибе мен біліктілікті қажет етеді; -Сыртқы жағдайларға сезімталдық (температура, ылғалдылық); -Ішкі ақауларды талдау кезінде шектеулі мүмкіндіктер	-Жылу суреттері (жылу түсіргіштер); -Жылу карталары; - Температураны өлшеу	-Электр жүйелеріндегі қызып кетуді анықтау; -Жылу ағып кетуін анықтау; -Оқшаулау және жылу алмасу диагностикасы; -Мойынтіректер мен басқа қозғалмалы бөлшектердің күйін тексеру
Дірілді талдау	-Жоғары дәлдік; -Сәтсіздіктерді болжау мүмкіндігі; -Проблемаларды ерте анықтау; -Тұрақты бақылау үшін қолайлы; -Талдауды автоматтандыру	-Аппараттық және бағдарламалық қамтамасыз етудің жоғары құны; -Арнайы жабдықтар мен дағдыларды қажет етеді; -Қоршаған дірілге сезімталдық; -Бекітілген бөліктер үшін тиімсіз	-Діріл сигналдары; -Жиілікті талдау; -Діріл спектрлері	-Айналмалы жабдықты диагностикалау (мойынтіректер, біліктер, моторлар); - Теңгерімсіздікпен теңестіруді анықтау; -Редукторлар мен берілістердің күйін бағалау

1.3 Кестенің жалғасы

Акустикалық талдычу	-Ақауларды ерте анықтау; -Қашықтан бақылау мүмкіндігі; -Жоғары сезімталдық; -Жету қиын жерлерге қолайлы	-Жабдықтың жоғары құны; -Деректерді түсіндіру үшін жоғары біліктілікті қажет етеді; -Қоршаған ортаның шуылына сезімталдық; -Шектеулі қолдану саласы	-Акустикалық сигналдар (ультрадыбыстық детекторлар); -Жиілікті талдау; -Дыбыс спектрлері	-Газ бен сұйықтықтың ағып кетуін анықтау; Мойынтіректердегі, сорғыдағы, желдеткіштердегі ақауларды диагностикалау;
Майды талдау	- Жабдықтың күйін ерте диагностикалау. - Ішкі ақауларды анықтау. - Жабдықтың сенімділігін арттыру. - Майды ауыстыру мерзімдерін болжау мүмкіндігі.	- Арнайы жабдықты қажет етеді. - Зертханалық талдаулардың жоғары құны. - Нәтижелерді ұзақ күту.	- Ластаушы заттардың құрамы (металдар, бөлшектер, су). - Тұтқырлық. - Тұтану және тотығу температурасы. - Химиялық құрамы.	- Мойынтіректер мен берілістердің тозуын анықтау. - Май мен майлау жүйелерінің күйін бағалау. - Майды ауыстыру қажеттілігін анықтау.

2 Фибробетон негізінде композициялық корпус дайындау технологиясы

2.1 Ортадан тепкіш сорғы корпустарын жасаудағы мәселелер

Ортадан тепкіш сорғы корпустарын жасаудағы басты мәселе – өндіріс процесінің ұзақтығы. Сорғы корпусы – құрамдас бөліктер мен жекелеген бөлшектер орнатылатын негізгі бөлшек болып табылады. Бұл бөлшектер өзара белгілі бір дәлдікпен орналасуы тиіс. Корпус бөлшектердің статикалық күйінде де, сорғы жұмыс істеп тұрған кездегі жағдайында да өзара орналасуының дәлдігін қамтамасыз етеді, сондай-ақ жабдықтың тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

Ортадан тепкіш сорғытардың істен шығуының негізгі себебі – үйкелетін беттердің тозуы мен зақымдануы. Зақымдалған ортадан тепкіш сорғы бөлшектерін тексеру олардың үйкелу беттерінің айтарлықтай тозғанын көрсетті. Бұл бөлшектер су ортасында жұмыс істейтін болғандықтан, үйкелу кезіндегі негізгі тозу факторы – сутектік тозу (водородное изнашивание) болып табылады.

Фибробетондардың жоғары механикалық беріктігі мен тозуға төзімділігі олардың машинажасау саласында металдың орнына қолданылуына мүмкіндік береді. Бұл машиналар бөлшектерінің салмағын айтарлықтай азайтады және сирек кездесетін түсті металдарды үнемдеуге септігін тигізеді. Әсіресе, шыны талшық негізінде дайындалған, бөлшектенген түрде немесе мата түрінде болатын, жіптері эпоксидті, полиэфирлі немесе басқа да шайырлармен біріктірілген фибробетондар ерекше беріктікке ие, кейбірі болаттың беріктігіне дейін жетеді. Фибробетоннан жасалған бұйымдарды қосымша механикалық өңдеусіз жасауға болады, сондықтан жоңқа (стружка) түріндегі қалдықтар болмайды. Фибробетондар металдар сияқты коррозияға ұшырамайды, сондықтан олар машинажасау, сондай-ақ химия және тағам өнеркәсібінде кеңінен қолданылады.

2.1 Кесте – Полиэфирлі және эпоксидті шайырлар негізіндегі фибробетондардың сипаттамалары

Композиттегі (асбест-үйкеліс қалдықтарының) құрамы, %	Фибралық матрица			
	эпоксидті		полиэфирлі	
	Қысуға төзімділік шегі, МПа	Созылуға төзімділік шегі (иілу кезінде), МПа	Қысуға төзімділік шегі, МПа	Созылуға төзімділік шегі (иілу кезінде), МПа
0	37,83	11,68	39,78	11,05
3	40,46	12,5	39,92	12,51
5	36,9	12,0	34,26	14,94

2.2 Кесте – Әртүрлі фибралардың салыстырмалы сипаттамасы

Көрсеткіш	Базальт фибрасы	Полипропилен фибрасы	Стекловолокон фибрасы	Болат фибрасы
Материал	Базальт талшығы	Полипропилен	Шыныталшық	Көміртекті болат сымы
Созылу беріктігі МПа	3500	150-600	1500-3500	600-2500
Талшық диаметрі	13–17 мкм	10–25 мкм	13–15 мкм	0,5–1,2 мм
Талшық диаметрі	3,2 -15,7 мм	6–18 мм	4,5–18 мм	30–50 мм
Созылу модуль Гпа	Кемінде 75	35	75	190
Созылу коэффициенті %	3,2	20-150	4,5	3-4
Балку температура С°	1450	160	850	1550
Сілті мен коррозияға төзімділігі	Жоғары	Жоғары	Тек сілтіге төзімді түрінде	Төмен
Тығыздық г/см ²	2,60	0,91	2,60	7,80

2.2 Фибробетон құрамын зерттеу және құрастыру

Фибробетон технологиясында құрамды дұрыс анықтау — маңызды операциялардың бірі болып табылады. Бұл анықтаудың мақсаты – технологиялық талаптарға толықтай сай келетін және мүмкіндігінше үнемді фибробетон құрамын өндіріске тағайындау.

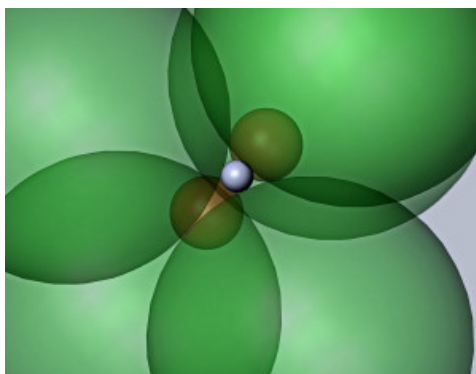
Фибробетон құрамын дұрыс анықтау үшін оның беріктігі мен төселуге икемділігіне әртүрлі факторлардың әсерін білу қажет, мысалы: толтырғыштардың сапасы, олардың әртүрлі фракцияларының және қатайтқыштың арақатынасы және т.б. Тәжірибеде фибробетонды дайындау кезінде материалдар мен технологиялар өндіріс барысында өзгермейді, яғни бізде "басқа жағдайлар бірдей болғанда" түрі орын алады.

Фибробетон қоспасына қойылатын талаптар кешені бар, ол талаптардың орындалуы нәтижесінде композициялық материал алынады, оның сипаттамалары дәстүрлі түрде машинажасауда қолданылатын металдардан асып түсуі тиіс. Фибробетонның кепілді сипаттамаларын қамтамасыз ететін негізгі фактор — қоспа құрамының оңтайлы құрылымы, яғни құрамдас бөліктердің (компоненттердің) ұтымды арақатынасы, одан кейін барып қоспаны дайындау тәсілі мен технологиясы — компоненттерді сапалы араластыру болып табылады.

Осы мақсатта қоспа құрылымының оңтайлығын негіздеу үшін арнайы зерттеулер жүргізілді, нәтижесінде толтырғыштар мен байланыстырушының сандық арақатынасы анықталды. Зерттеудің негізіне алынған негізгі идея — фибробетонның беріктігі оның қоспа тығыздығына, яғни толтырғыш түйірлерінің оралу тығыздығына тікелей тәуелді деген гипотеза болды.

Фибробетон қоспасының оңтайлы құрылымы. Теориялық зерттеулердің, атап айтқанда көлемдік модельдеудің нәтижесінде, қоспадағы ауа қуыс орындарын барынша тығыз толтыру үшін, қоспа үзілісті гранулометриялық құрамға ие болуы тиіс, яғни 2–3 түрлі фракциядан тұруы қажет. Әр фракцияның түйір өлшемдері бір-бірінен шамамен он еседей ерекшеленуі керек. Бұл толтырғыштың кеуектілігіне байланысты. Құм бөлшектерінің пішіні дөңгелекке ұқсамаса да, қарапайымдылық үшін оны шар түрінде деп аламыз. Егер барлық түйірлерді көлемде бейнелесек, ірілері ұсақтарын жауып қалады. Көрнекілік үшін тек бірнеше түйір көрсетілген, ал ірі түйірлер — мөлдір етіп берілген.

Бұл жағдайда ірі түйірлердің (мысалы, ірі қиыршық тас) қуыстары ұсақ бөлшектермен (кварц құмы), ал ұсақ толтырғыштың қуыстары өте майда толтырғышпен (кварц ұны) толтырылады. Нәтижесінде тығыз құрылым түзіледі, бұл құрылым фибробетонның қату кезінде жоғары беріктігін қамтамасыз етеді. Осы тұжырым фибробетон құрамын редуктор корпусын дайындауға арналған оңтайлы құрамын таңдау әдістемесінің негізіне алынды.



2.1 Сурет – Қоспада 1,2 мм; 0,2 мм және 0,02 мм өлшемдегі түйірлердің орналасуы

Ең ұсақ фракция 0–0,02 мм болуы тиіс. Қоспаға ұсақ фракция аз мөлшерде қосылатындықтан, оның өзіндік құнына әсері аса жоғары емес. Сондықтан кварц ұнын табу қиын болған жағдайда, оны алюминий гидроксидімен ауыстыруға болады. Көлемдік модель құру арқылы қоспаның тығыз құрылымына қолайлы құм түйірлерінің өлшемдері анықталды. Алайда мұнда маңызды фактор — фибробетон қоспасындағы компоненттердің сандық арақатынасы. Толтырғыш фракцияларының ұтымды арақатынасын Фуллер формуласы арқылы анықтауға болады :

$$S = 100\sqrt{d/D} . \quad (2.1)$$

S – әр фракциядағы түйір өлшемінің жалпы массасындағы үлесі, %;

d – әр фракциядағы түйірдің максималды өлшемі, мм;

D – қажетті ең үлкен түйір өлшемі, мм.

Фракция өлшемдері есептік мәндерден ауытқуы мүмкін болғандықтан, фракцияларға байланысты толтырғыш мөлшерін автоматты есептеу матрицасы пайдаланылады.

2.3 Кесте – Толтырғыштың жалпы мөлшерінен фракциялардың үлесін есептеу

Толтырғыштың жалпы мөлшерінен фракциялардың үлесін есептеу, % (Фуллер формуласы бойынша)		
Фракция (максималды мәні), мм	Ең үлкен фракция, мм	Аталған фракцияның қажетті үлесі, %
0,02	1,2	13
0,2	1,2	28
1,2	1,2	59

Сюда вводите Ваши фракции

Расчет фракций смеси по Фуллеру.

Здесь
смотрите
процент
данной
фракции
в смеси.

Расчет фракций по Фуллеру:			
Фракция, мм	Макс. Фр.	/	% в смеси
0,02		13	13
0,2		41	28
1,2		100	59
		0	-100
	1,2	0	0
		0	0
		0	0
		0	0
		0	0
		0	0

Сюда введите размер самой крупной частицы

2.2 Сурет – Есептеу кестесінің үлгілік нысаны

Осы әдістеме бойынша фибробетон қоспасының оңтайлы құрамы одан әрі зерттеулер жүргізу үшін таңдалды:

- гранитті қиыршық тас – 49–52 %;
- кварц құмы – 23–27 %;
- болат фибра – 2–4 %;
- кварц ұны – 10–13 %;
- эпоксидті шайыр – 8–12 %;
- қатайтқыш – 1–3 %.

2.3 Фибробетонның беріктік сипаттамаларын зерттеу

Ортадан тепкіш сорғытардың корпустарын дайындауға арналған фибробетон үшін негізгі сипаттамалардың бірі – қысуға және иілуге беріктік. Осы сипаттамаларды анықтау мақсатында таңдалған фибробетон құрамына арнайы зерттеулер жүргізілді.

Фибробетонның қысуға және иілуге беріктігінің өзгеру заңдылықтарын зерттеу зертханалық жағдайда, балка түріндегі үлгілер негізінде жүргізілді. Негізгі үлгі ретінде жұмыс қимасының өлшемі 40×40×160 мм болатын призмалық үлгі қабылданды.

Қалыптарды дайындау кезінде келесі талаптар басшылыққа алынды:

- Үлгілердің өлшемдері МЕМСТ 10180 стандартына сәйкес болуы және бүкіл қызмет ету мерзімінде сақталуы тиіс;
- Қалыптың виброплатформаға мықтап бекітілуі;
- Қатқан үлгілерді зақымдамай алу мүмкіндігі;
- Жинау және бөлшектеу қарапайым құралдармен (гаека кілттері, бұрау құралдары және т.б.) жүзеге асырылуы;
- Ауыстырмалы элементтер бір-бірімен өзара үйлесімді болуы;
- Қалып конструкциясы вибрациялық әсер кезінде өздігінен босап кетпеуі тиіс;
- Қалыптар ең аз бөлшектелетін элементтерден тұруы қажет;
- Қалыптардың ішкі өлшемдерінің ауытқуы номинал мәнінен $\pm 0,5$ %, бірақ ± 1 мм-ден аспауы тиіс;
- Қалып беттерінің жазықтықтан ауытқуы (дөңестігі/ойыстығы) 100 мм ұзындыққа 0,06 мм-ден аспауы керек;
- Жанама қабырғалардың перпендикулярлық ауытқуы 100 мм ұзындыққа 0,5 мм-ден аспауы тиіс;
- Бөлшектелетін түйіндер мен бөлшектер арасындағы саңылаулар – 0,2 мм-ден, ал қалқалар үшін – 0,4 мм-ден аспауы тиіс.

Жоғарыда аталған талаптарды ескере отырып, қалыптың негізгі бөлшектері Ст3 маркалы болаттан (МЕМСТ 380) жасалды. Тез тозатын элементтер (гайкалар, бекіткіштер, тіреуіштер және т.б.) мен ойықтарда бекітілетін алынбалы қалқалар Ст35 болатынан (МЕМСТ 1050) термиялық

өңдеумен дайындалды. Жұмыс беттерінде жарықтар, майысулар, төмпешіктер, сызаттар болмауы тексерілді.

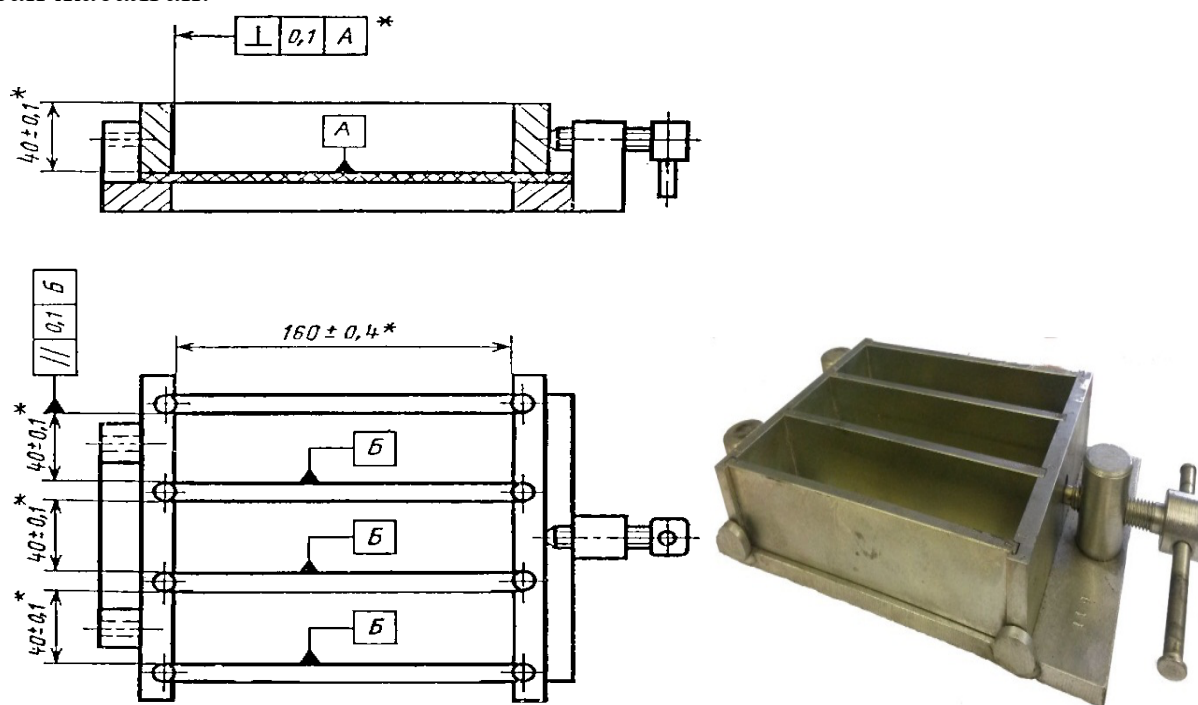
Қалыптың жанама жұмыс беттерінің кедір-бұдырлығы $Ra \leq 3,2$ мкм, ал түбі мен басқа да беттер үшін $Ra \leq 25$ мкм болуы тиіс (МЕМСТ 2789 бойынша).

Өндірістік бақылау кезінде фибробетон үлгілері иілу кезіндегі созылуға және қысуға беріктігі бойынша бір мезгілде бағаланады. Бұл жағдайда, иілу сынағынан кейін қалған призма үлгілерінің жартысын қысуға сынауға рұқсат етіледі.

Қалыпталған үлгілердің қырлары мен қималарының ұзындығы бойынша ауытқуы ± 1 % шегінен аспады. Престеу плиталарына жанасатын тірек беттердің тегіс еместігі 100 мм-ге 0,05 мм-ден аспады. Қысуға арналған призма үлгілерінің жақын беттерінің перпендикулярлық ауытқуы – 100 мм-ге 1 мм-ден аспады.

Үлгілер үш призмадан тұратын сериялармен дайындалды. Әр үлгіге белгі (маркировка) қойылып, сынақ кезінде көрінетін бетке жазылды.

Бақылау үлгілеріне арналған қалыптар МЕМСТ 22685-77 талаптарына сай жасалған.



2.3 Сурет – Бақылау үлгілерін дайындауға арналған қалыптар – квадрат қималы призмалар

Үлгілерді дайындау алдында жиналған қалыптардың ішкі беттері мұқият тазартылып, фибробетонның қалыпқа жабыспауы үшін бөлу қабаты жағылды.

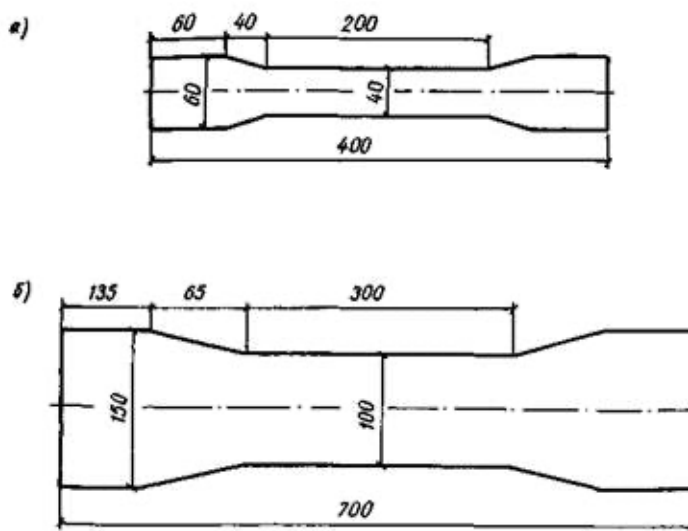
Бақылау үлгілерін жасауға арналған фибробетон қоспасының сынамасы араласпаның ортаңғы бөлігінен алынды. Алынған сынама қалыпқа құю

алдында қосымша араластырылып, үлгілерді қалыптау сынама алынғаннан кейін 10 минуттан кешіктірілмей жүргізілді.

Фибробетон қоспасы СН-525-80 Нұсқаулығының талаптарына сәйкес дайындалды.

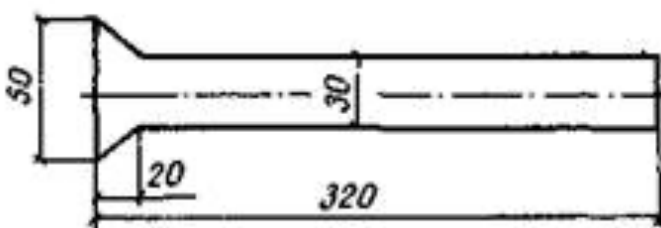
Қалыптарға қоспаны төсеу және тығыздау жұмыстары МЕМСТ 10180–2012 және СН-525-80 Нұсқаулығының талаптарына сәйкес орындалды.

Фибробетон үлгілерінің қатаюы де осы СН-525-80 нұсқаулығы бойынша жүргізілді. Үлгінің биіктігі МЕМСТ 22372–77 талаптарына сәйкес анықталды.



а– 40х40; б– 100х100;

2.4 Сурет – Бақылау үлгілері – «сегіздік» пішінді. Ортаңғы бөлігінің жұмыс қимасының өлшемі, мм



2.5 Сурет – Бақылау үлгілері – ұштары кеңейтілген балка түріндегі үлгілер

Фибробетондардың қатаюы молекулалық құрылымның қайта топтасуы (молекулалардың іріленуі және кеңістіктік торлы байланыстардың түзілуі) нәтижесінде фибралық байланыстырушы көлемінің азаюынан туындайтын шөгу процесімен қатар жүреді.

Эпоксидті шайырлар үшін шөгу мөлшері 1...2% дейін жетеді, сондықтан оны өтеу үшін қосымша шаралар қолданылмады.

2.4 Кесте – Пробниктердің құрамы

№ п/ п	Құрамдас бөліктер	Құрам 1		Құрам 2		Құрам 3	
		Шығын , %	Шығын , г	Шығын , %	Шығын , г	Шығын , %	Шығын , г
1	Гранитті қиыршық тас	51	1000,0	52	1040,0	—	—
2	Бут қиыршық тас	—	—	—	—	51	1000,0
3	Кварц құмы	25,5	502,0	—	—	25,5	502,0
	Кварц ұны	11	220,0	—	—	11	220,0
	Андезит ұны	—	—	33,6	620,0	—	—
4	Фибра:						
	Болат сым фибрасы	3,5*	70*	—	—	—	—
	Шыныталшы қ фибрасы	—	—	3,5*	70*	—	—
	Анкерлік болат фибрасы	—	—	—	—	3,5*	70*
5	Шайыр (смола)	10,6	200,0	12	240,0	10,6	200,0
6	Қатайтқыш	2,0	40,0	2,4	50,0	2,0	10,0

*- + жалпы массаға

2.4 Фибробетондардың сипаттамаларын лабораториялық зерттеу

Қысқа мерзімді қысуға, созылуға және иілу кезіндегі созылуға беріктігін анықтау бойынша сынақтарды жүргізуге арналған жабдықтар, аспаптар мен құралдар МЕМСТ 10180-2012 стандартына сәйкес қабылданды.

Сынақтарға дайындық. Сынақ алдында призма үлгілеріне визуалды тексеру мен өлшеу жүргізілді. Үлгілерді өлшеу кезінде олардың сынақ кезіндегі жұмыс жағдайы анықталып, тіреу беттері ретінде қызмет ететін қырлар қызыл бояумен белгіленді. Призма үлгілерінің тірек беттерінде сынақ сұлбасына сәйкес тіреу нүктелері мен жүктеме түсетін нүктелер бояумен белгіленді.

Фибробетонның тіреу қырларындағы артық бөлшектері таразы немесе тегістегіш дискімен алынып тасталды.

МЕМСТ 10180-78 талаптарына сәйкес тексерілді:

- Қабырғалардың перпендикулярлықтан ауытқуы;
- Тірек беттердің жазықтығы;
- Үлгінің нақты өлшемдері;
- Үлгіге маркировка (белгі) қойылды;

Ақаулар анықталып, нәтижелері сынақ журналына жазылды.

Сынақ алдында келесі параметрлер белгіленді:

- Ұзындық бойындағы деформацияны өлшеу базасы (үлгі биіктігінің 2/3 бөлігінен аспауы тиіс), ол үлгінің ұштарынан бірдей қашықтықта орналасуы қажет;

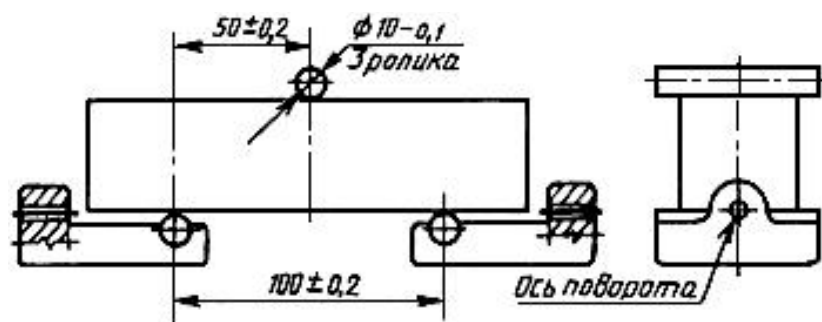
- Көлденең деформацияны өлшеу базасы, әдетте үлгінің бүйір қырына тең

болып белгіленеді, бірақ кемінде 40 мм болуы тиіс;

- Үлгінің жанама беттеріне орталық сызықтар түсіріліп, олар үлгіні сынау машинасының (престің) осіне дәл орналастыру үшін қызмет етеді.

Сынақ алдында үлгілер зертхана бөлмесінде 10–20 сағат бойы сақталды. Сынақ жүргізілген бөлмедегі жұмыс температурасы 20 ± 5 °C, салыстырмалы ылғалдылық 70 %-дан аспауы тиіс. Бұл МЕМСТ 18957-73 талаптарына сәйкес келеді.

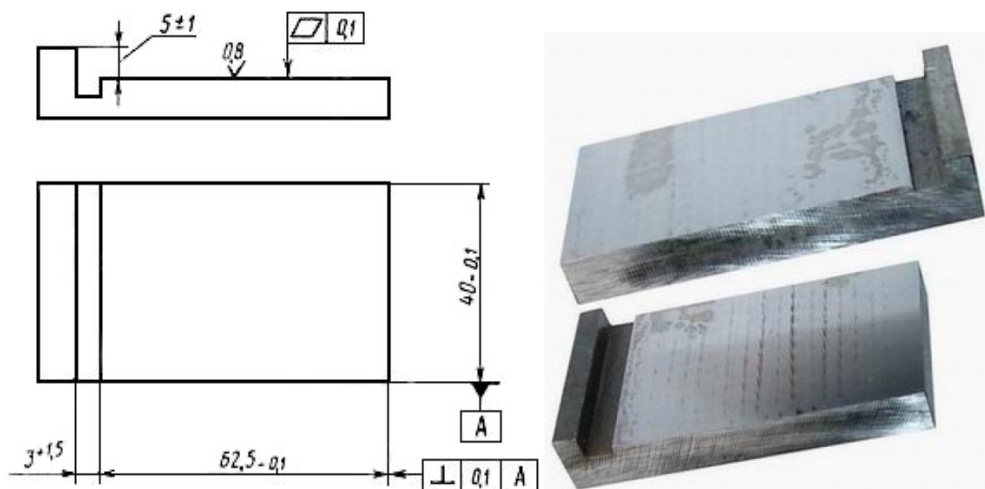
Қысқа мерзімді беріктік және серпімділік сипаттамаларын анықтау әдістемесі. Қысқа мерзімді қысуға, созылуға және иілу кезіндегі созылуға беріктікті анықтау сынақтары МЕМСТ 10180-2012 стандарты талаптарына сәйкес жүргізіледі. Иілу кезіндегі созылуға беріктікті анықтау сынақтарында призма үлгілеріндегі кернеу жүктеме кезінде ($0,15 \pm 0,05$) МПа/с жылдамдықпен үзіліссіз артуы тиіс. Қысқа мерзімді қысуға, созылуға және иілу кезіндегі созылуға беріктікті анықтау нәтижелерін өңдеу МЕМСТ 10180-2012 талаптарына сәйкес жүзеге асырылады.



2.6 Сурет – Үлгінің тірек элементтеріндегі орналасу сұлбасы

Қысуға беріктік шегін анықтау үшін максималды жүктемесі 1000 кН болатын гидравликалық пресс қолданылуы тиіс. Ол үлгіге таза қысу режимінде жүктеме түсіруді қамтамасыз етуі қажет. Үлгінің тірек қырларының параллель еместігін өтемдеу үшін престо жылжымалы шар тірегі және жүктемені үлгіге дәл түсіретін орталықтау құрылғысы болуы керек. Үлгі-

балкалардың жартысына жүктеме түсіретін қысым плиталары 56...61 бірлік қаттылықтағы болаттан жасалуы тиіс. Қысым плитасының пішіні мен өлшемдері 2.7-суретте көрсетілген.

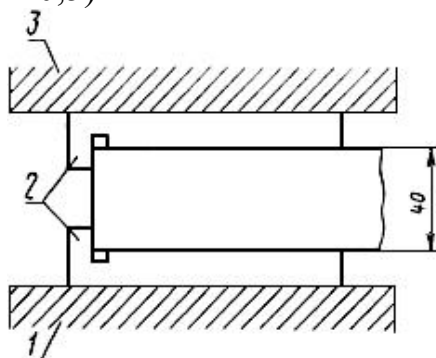


2.7 Сурет – Призма үлгілерінің жартысына жүктеме беру үшін қолданылатын плиталар

Иілу сынағынан кейін алынған алты балка жартысы бірден қысуға беріктікке сынауға жіберілуі тиіс. Балка жартысы екі қысым плитасының арасына орналастырылып, оларды келесі тәртіппен орнату қажет:

- Балка үлгісі жасалған кезде қалып қабырғасына жанасқан бүйір жақтары плиталардың жазық беттерімен жанасуы тиіс;
- Плиталардың тірек бөліктері үлгінің тегіс торцына тығыз жанасуы керек.

Үлгі плиталармен бірге престің тірек плитасының дәл ортасына орналастырылып центрленуі тиіс. Сынақ кезінде жүктеме артуының орташа жылдамдығы – $(2,0 \pm 0,5)$ МПа/с.



1 – прессаның төменгі плитасы; 2 – қысым плиталары; 3 – прессаның жоғарғы плитасы

2.8 Сурет – Қысу кезіндегі үлгінің қысым плиталары арасындағы орналасуы

Үлгілерді иілуге сынау. Зерттеулер ұзындығы $L = 160$ мм, орта бөлігінің қимасы 40×40 мм болатын бақылау призмаларында жүргізілді. Үлгінің орта бөлігіндегі биіктігі мен енін штангенциркуль арқылы $0,1$ мм дәлдікпен анықтады.

Сынақтар максималды күші 100 кН болатын қолмен басқарылатын гидравликалық преста жүргізілді.

Зерттеулерді жүргізу үшін арнайы преста арналған қондырма әзірленді, ол болат дисктен тұрады. Бұл дискке диаметрі $d = 10$ мм болатын екі тірек өзекшесі бекітілген. Үлгілерге түсірілетін жүктеме параметрлерін бақылау үшін престаң штаттық манометрі, ал $P_{изг}$ есептеу үшін престаң поршень диаметрі $d_{порш}$ өлшенді.

$P_{изг}$ формула бойынша есептеледі:

$$P_{изг} = d_{порш} \cdot p, \quad (2.2)$$

мұндағы, p – престаң жұмыс қуысындағы қысым, Па (Н/см^2);

A – поршеньнің ауданы (мм^2 немесе м^2).

Иілуге беріктік шегін есептеу формуласы:

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{c \cdot h^2}, \quad (2.3)$$

6

мұндағы, $\sigma_{изг}$ – иілуге беріктік шегі, Па;

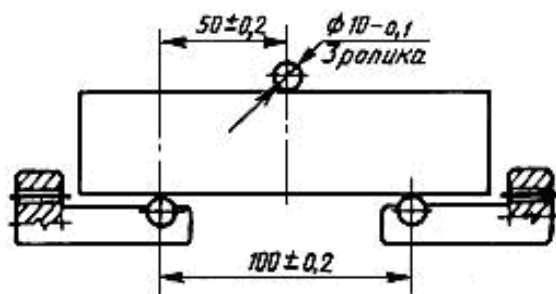
c – үлгінің сынған жеріндегі ені, м;

h – үлгінің сынған жеріндегі биіктігі, м;

$P_{изг}$ – үлгінің ортасындағы жүктеме, Н;

W_{x-x} – үлгі қимасының кедергі моменті, м^2 ;

l – тіректер арасындағы қашықтық, м.



2.9 Сурет – Иілу сынағына арналған престаң қондырмасы

Тәжірибе нәтижелері 2.5-кестеде көрсетілген

2.5 Кесте – Фибробетон үлгілерінің иілу кезіндегі беріктік шегі

№ үлгі	Өлшемдері с, см	Өлшемдері h, см	Престің жұмыс қысымы Р, МПа	Үлгі қимасының кедергі моменті W_{x-x} , см ³	Иілудегі жүктеме Р _{изг} , кН	Иілуге беріктік шегі, МПа
1.1	4,0	4,2	51	11,76	1,62	73,6
1.2	4,0	4,0	45	10,67	17,31	81,12
1.3	4,1	4,3	51	12,63	19,62	77,67
2.1	3,9	4,2	51	11,47	19,62	85,53
2.2	4,2	4,2	53	12,35	20,38	82,55
2.3	4,2	4,1	50	11,77	19,23	81,71
3.1	4,0	4,4	55	12,91	21,16	81,95
3.2	4,0	4,2	53	11,76	20,39	86,69

2.5 Үлгілерді қысуға сынау

Зерттеулер иілу сынағынан кейін алынған тоғыз үлгі-жартысында жүргізілді. Үлгінің орта бөлігіндегі биіктігі мен енін штангенциркуль арқылы 0,1 мм дәлдікпен анықтады. Сынақтар максималды күші 100 кН болатын гидравликалық пресе орындалды.



2.10 Сурет – Пробниктерді қысу сынағы кезінде орналастыру

Жекелеген үлгінің қысуға беріктік шегі үлгіні қирауына әкелетін жүктеме шамасын (кН) қысым плитасының жұмыс ауданына $S_{пл}$ (см²), яғни 4,0 см²-ге бөлумен есептелді. Қысуға беріктік шегінің соңғы мәні – алты үлгінің ішіндегі төрт ең жоғары нәтижесінің арифметикалық ортасы болып қабылданды.

$R_{сж}$ келесі формула бойынша есептеледі

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{сж}}{S_{пл.}}, \quad (2.4)$$

Мұндағы:

$S_{пл.}$ — Қысым плиталарының тірек ауданы

2.6 Кесте – Қысуға беріктік шегі

№	Пресстің манометр көрсеткіші p , МПа	Үлгінің бұзылу жүктемесі, кН	Қысуға беріктік шегі, МПа
1.1	80	30,77	136,76
1.2	82	31,55	140,22
1.3	81	31,16	138,49
2.1	131	50,40	224,00
2.2	130	50,01	222,67
2.3	128	49,24	218,84
3.1	138,0	53,09	235,96
3.2	136,0	52,31	232,49
3.3	140,0	53,85	239,33

2.6 1К20/30 маркалы консольды түрдегі ордалықтан тепкіш сорғының тәжірибелік үлгісін стендте сынау

Ортадан тепкіш сорғы параметрлерін тәжірибелік тұрғыдан зерттеу үшін Satbayev University университетінің «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасында арнайы сынақ стенді жасалды.

Лабораториялық сынақтар фибробетон корпусымен жасалған сорғы үлгісінің өміршеңдігін дәлелдеу, сонымен қатар оның сипаттамаларын бастапқы болат корпуспен жасалған конструкциямен салыстыру мақсатында жүргізіледі.

Сынаққа 1К 20/30 маркалы консольді типтегі ортадан тепкіш сорғы пен қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды электр қозғалтқыштан тұратын сорғытық қондырғы таңдалды. Фибробетоннан жасалған сорғы корпусы металл корпус орнына орнатылды. Фибробетон корпусын сорғытың басқа бөлшектерімен болтты және шпилькалы қосылыстар арқылы біріктірді. Корпустың кіру және шығу патрубкарларымен қосылатын жерлері силиконды герметикпен тығыздалды.



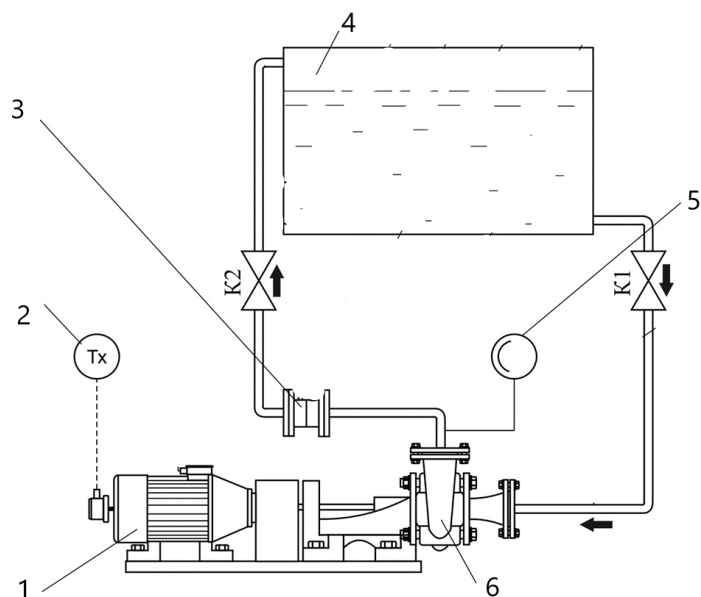
2.11 Сурет – Сорғы жабдығының жалпы көрінісі

Сыйымдылығы 200 литр болатын пластикалық шығын резервуары ғимараттың екінші қабатында орнатылған. Еденнен резервуардың сору тесігіне дейінгі қашықтық – 3,5 метр. Құбырлар ретінде ішкі диаметрі 20 мм пластикалық құбырлар пайдаланылды. Су беру мен төгуді реттеу үшін сору және айдау құбырларына шарикті түрдегі крандар орнатылған. Айдау құбырының учаскесіне су қысымын өлшейтін манометр және су шығынын өлшейтін шығынөлшегіш орнатылған.



2.12 Сурет – Өлшеу құралдары

Зертханалық қондырғы мыналардан тұрады: электрлі сорғы агрегаты; тұщы сумен толтырылған айналмалы контур; бақылау-өлшеу құралдары. Электрлі сорғы агрегаты 6-ортадан тепкіш сорғыдан және қысқа тұйықталған роторы бар айнымалы тоқты 1-асинхронды электр қозғалтқышынан тұрады.



1 – электрқозғалтқыш; 2 – тахометр; 3 – су шығынөлшегіші; 4 – шығын резервуары; 5 – манометр; 6 – ортадан тепкіш сорғы; K1 – сору құбыры бөлігіндегі клапан; K2 – айдау құбыры бөлігіндегі клапан

2.13 Сурет – Сынақ стендінің принциптік сұлбасы

Эксперименттер келесі ретпен жүргізіледі.

Сорғыны дайындау және іске қосу:

- Клапан K1 толық ашылады, ал K2 клапаны жабық күйінде қалады. Сорғы суға толтырылады. Электрқозғалтқыштың іске қосылу моменті максималды болатынын ескеру қажет. Қозғалтқышты шамадан тыс жүктемес үшін, оның іске қосылуы K2 клапаны толық жабық кезде жүзеге асырылуы тиіс.

- Сорғы іске қосылады, амперметр мен тахометрдің көрсеткіштері бақыланады. Іске қосу тогының мәні жазылып алынады.

Жұмыс істеу барысындағы қызмет көрсету:

- 2 минут өткеннен кейін іске қосу кезеңі аяқталды деп есептеледі және сорғы тұрақты жұмыс режиміне өтеді;
- Сорғы жұмыс істеп тұрған кезде манометр, амперметр және тахометрдің көрсеткіштерін бақылау қажет. Құралдардың көрсеткіштеріндегі күрт өзгерістер сорғының дұрыс істемей тұрғанын білдіреді.

Сорғының сипаттамаларын өлшеу:

- 1) Бастапқы өлшеу K2 клапаны жабық күйде жүргізіледі, бұл кезде $Q = 0$.
- 2) Келесі өлшеулер K2 клапанының әртүрлі аралық ашылу жағдайларында жүргізіледі. K2 клапаны толық ашық кезде соңғы өлшеу жасалады. Өлшеулер саны 5-тен 10-ға дейін болуы тиіс.
- 3) Әрбір өлшеу кезінде келесі аспаптардың көрсеткіштері жазылады:
 - Манометр 5 бойынша артық қысым;
 - Шығынөлшегіш 3 бойынша сорғы беруі;
 - Тахометр 2 бойынша қозғалтқыш білігінің айналу жиілігі n .

4) Эксперимент кезінде алынған аспап көрсеткіштері алдын ала дайындалған кестелерге енгізіледі.

Сорғыты тоқтату:

- К2 клапанын толығымен жабу қажет;
- Сорғыты тоқтату;
- К1 клапанын да толық жабу;
- Стендті электр қорегінен ажырату.

Сынақ нәтижелерін өңдеу:

1) Жоғарыда сипатталған әдістеме бойынша фибробетонды және металл корпусы сорғы үшін параметрлерді есептеу жүргізіледі.

2) Сорғытың сипаттамаларын құрастыру: $H = f(Q)$, $N_{\text{потр}} = f(Q)$, $\eta = f(Q)$, берілген $n = \text{const}$ кезінде, пропорционалдық теңдеулерін қолданып жүргізіледі.

$$Q_i = Q \cdot n_i/n, \quad (2.5)$$

$$H_i = H \cdot (n_i/n)^2, \quad (2.6)$$

$$N_i = N \cdot (n_i/n)^3, \quad (2.7)$$

Олар осы сорғы үшін айналу жиілігі n_i белгілі болған кезде Q , H , N және n мәндері арқылы беру мөлшерін Q_i , напор H_i және қуатты N_i анықтауға мүмкіндік береді.

3) Сорғытың оңтайлы жұмыс режимін анықтап, оған сәйкес келетін Q , η , N және H мәндерін жазып алу қажет.

4) Екі түрлі корпуспен алынған сорғы сипаттамаларын салыстырып, фибробетон корпусымен жұмыс істеу тиімділігіне баға беру қажет.

2.7 Фибробетон корпусымен жасалған ортадан тепкіш сорғыға өндірістік жағдайда гидравликалық сынақ жасау

Фибробетон құрамының оңтайлы нұсқасын анықтау және ортадан тепкіш сорғытардың корпусын фибробетоннан дайындау технологиясын жетілдіру бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде 1К 20/30 маркалы консольді типтегі ортадан тепкіш сорғы үлгілері фибробетон корпусымен жасалды. Күнтізбелік жоспарға сәйкес, фибробетон корпусымен жасалған ортадан тепкіш сорғыға гидравликалық сынақтар "Алматы ауыр машина жасау зауыты" АҚ (АЗТМ) жағдайында жүргізілді. Сынақ стендін құру үшін 1К 20/30 сорғы қондырғысы пайдаланылды, ол "АЗТМ" АҚ жағдайында сынақ стендіне қосылды.

2.8 Сынақ стенді

Стенд қазіргі уақытта су құбырларында қолданылатын ортадан тепкіш сорғытарды сынауға арналған. Стендте су құбырларын автоматтандыруда қолданылатын жекелеген құрылғыларды зерттеуге де мүмкіндік бар.

Стенд келесі параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді:

- потенциометриялық деңгей датчигінің (ДУ) сипаттамаларын;
- электромагнитті релесінің сипаттамаларын;
- ортадан тепкіш сорғының жұмыс сипаттамаларын;
- сұйықтық шығынын әртүрлі тәсілдермен өлшеуді;
- қысым релесі мен температура мен қысымды өлшейтін аспаптардың құрылымын зерттеуді;
- қысым релесінің іске қосылу шектерін анықтауды;
- температура мен қысымды өлшеуді.

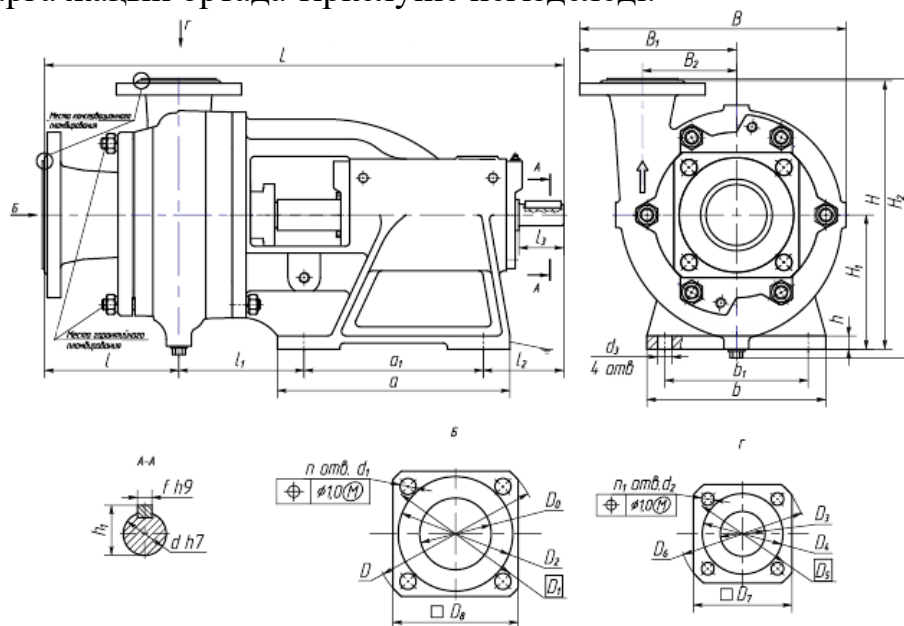


2.14 Сурет – Сынақ стендінің жалпы көрінісі

Стенд келесі негізгі құрылғылардан тұрады:

- 1 – сорғы қондырғысы, оның құрамына 1К20/30 (Н) маркалы консольді типтегі ортадан тепкіш сорғы пен жетек электрқозғалтқышы кіреді;
- 2 – пневматикалық бак (ПБ);
- 3 – гидравликалық басқару модулі (ГБМ);
- 4 – электрлік басқару модулі;
- 5 – жоғарғы гидробак (Б2);
- 6 – потенциометриялық деңгей датчигі (ДУ);
- 7 – жоғарғы гидробактағы су деңгейінің көрсеткіші (УУ);
- 8 – төменгі гидробак (Б1);
- 9 – төменгі гидробактағы су деңгейінің көрсеткіші
- 10 – стенд рамасы.

Сынақ стендінің тиімділігі ортадан тепкіш сорғы параметрлерінің өндірістік жағдайларға жақын ортада тіркелуіне негізделеді.



L	l	l_1	l_2	l_3	a	a_1	b	b_1	B	B_1	B_2	h	h_1	h_2	f	H	H_1	H_2
46	12	11	9	5	19	140 ± 0.7	16	130 ± 0.7	27	16	9	1	2	8	27	12		
6	0	5	1	0	5		0		5	3	8	2	8		0	0		

d	d_1	d_2	n	n_1	d_3	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	Масса, кг
25	14	14	4	4	25	160	65	130	100	40	80	100	130	125	30,5

2.15 Сурет – Ортадан тепкіш сорғы 1К20/30-тың габариттік және қосылу өлшемдері (бастапқы конструкция)

2.9 Зерттеу нәтижелерін өңдеу

Зерттеу нәтижелерін өңдеу кезінде келесі жорамалдар қабылданды:

- 1) Сорғы кірісіндегі қысым (рв) атмосфералық қысымға тең деп қабылданды. Бұл жорамалды негіздейтін екі фактор бар: – төменгі бактағы судың деңгейі сорғы орналасқан деңгейден жоғары болғандықтан сұйықтың өздігінен ағып келуі (подпор); – сорғыш құбырдағы қысым шығындарының аз болуы.
- 2) Сорғы кірісі мен шығысындағы тік координаталар бірдей, яғни $z_H = z_B$ (сорғының тік өлшемі ескерілмейді).
- 3) Сұйықтың орташа ағыс жылдамдықтары кірісте де, шығыста да бірдей, яғни $V_H = V_B$.

Сорғы берілімі (Q) келесі түрде анықталады:

$$Q = \frac{W}{t}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.8)$$

Сорғы қуаты:

$$N = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{эл}}, \text{ кВт} \quad (2.9)$$

мұндағы $\eta_{\text{эл}}$ – электрқозғалтқыштың ПӘК-і (тұрақты деп алынады, 0,7-ге тең). Сорғы напоры келесі формула бойынша анықталады:

$$H = \frac{P_{\text{н}}}{\rho \cdot g}, \text{ м} \quad (2.10)$$

Сорғының пайдалы қуаты:

$$N_{\text{п}} = P_{\text{н}} \cdot Q, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

ПӘК:

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} \quad (2.12)$$

Жоғарыда көрсетілген әдістеме бойынша сорғының негізгі параметрлері анықталды, және есептеу нәтижелері 2.7 және 2.8-кестелерге енгізілді. Осы мәндер негізінде сорғының жұмыс сипаттамалары құрастырылды: $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$. Сондай-ақ, фибробетон және металл корпустары бар сорғылардың салыстырмалы сипаттамалары келтірілді.

2.7 Кесте – Фибробетон корпусымен жасалған сорғыны сынау нәтижелері

№	$P_{\text{н}}$ – сорғы шығысын дағы қысым, МПа	W – шығынөлш егіш арқылы өткен су көлемі, м^3	t – уақыт ішінде W көлемі нің өту уақыт ы, с	$N_{\text{эл}}$ – қозғалтқы штың шыққандағ ы қуаты кВт	Q – сорғы берілі мі, $\text{м}^3/\text{сағ}$	N – сорғ ы қуат ы, кВт	H – сорғын ың напор ы, м	$N_{\text{п}}$ – пайда лы қуат, кВт	η
1	0,25	0	0	3,0	0	2,1	25,3	0	0
2	0,20	0,116	60	3,0	6,96	2,1	20,2	1,392	0,6 63
3	0,15	0,158	60	3,0	9,48	2,1	15,2	1,422	0,6 67
4	0,10	0,240	60	3,0	14,4	2,1	10,1	1,44	0,6 85
5	0,05	0,332	60	3,0	19,92	2,1	5,1	0,996	0,4 74

2.8 Кесте–Металл корпусымен жасалған сорғыны сынау нәтижелері

№	Рн – сорғы шығысындағы қысым, МПа	W – шығынөлшегіш арқылы өткен су көлемі, м³	t – уақыт ішінде W көлемінің өту уақыты, с	NЭЛ – қозғалтқыш қуаты, кВт	Q – сорғы берілімі, м³/с	N – сорғы қуаты, кВт	H – сорғының напоры, м	НП – пайдалы қуат, кВт	η
1	0,25	0	0	3,0	0	2,1	25,3	1,09	0
2	0,20	0,110	60	3,0	6,6	2,1	20,2	1,32	0,628
3	0,15	0,150	60	3,0	9,0	2,1	15,2	1,35	0,642
4	0,10	0,228	60	3,0	13,68	2,1	10,1	1,368	0,651
5	0,05	0,315	60	3,0	18,9	2,1	5,1	0,945	0,45

1К20/30 маркалы ортадан тепкіш сорғының металл және фибробетон корпустарымен жүргізілген салыстырмалы гидравликалық сынақтарының нәтижелері 2.9-кестеде келтірілген.

2.9 Кесте– 1К20/30 ортадан тепкіш сорғыны гидравликалық сынау нәтижелері

Параметрлер*	Фибробетон корпусымен сорғы	Металл корпусымен сорғы
Масса, М, кг	20,3	30,5
Шығынөлшегіш арқылы өткен су көлемі, W, м³	0,332	0,315
W су көлемінің өту уақыты, с	60	60
Сорғы берілімі, Q, м³/сағ	19,92	18,9
Сорғының напоры, Н, м	25,3	25,3
Шығысындағы қысым, рн, МПа	0,25	0,25
Электрқозғалтқыштың кіріс қуаты, NЭЛ, кВт	3,0	3,0
Сорғының толық қуаты, N, кВт	3,0	3,0
Пайдалы қуат, НП, кВт	1,44	1,368
ПӘК, η	0,685	0,651

Жүргізілген сынақ нәтижелері көрсеткендей, фибробетон корпусымен жасалған сорғының сипаттамалары металл корпусымен жасалған сорғыдан кем түспейді. Сонымен қатар, сорғының өнімділігі мен пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) 4–5 % артады, бұл фибробетон корпус бетінің тегіс ішкі құрылымымен түсіндіріледі. Фибробетон қолдану арқылы сорғы корпусының массасы 33,4 % азаяды.

2.10 Фибробетоннан жасалған ортадан тепкіш сорғы корпусының ішкі бетінің төзімділігін зерттеу

Зерттеулер барысында теориялық және эксперименттік зерттеулерден тұратын, нәтижелерін математикалық статистика әдістерімен өңдеуді қамтитын кешенді әдістеме қолданылды. Лабораториялық жағдайда фибробетоннан жасалған ортадан тепкіш сорғы корпусының бетіне су-құм қоспасының әсер ету құбылысын құм ағынды (пескоструйный) әдісі арқылы іске асырып, қажалуға қажетті әсер туғызылды. Үйкеліс тозуы көбінесе абразивтік әсермен байланысты екені белгілі, сондықтан фибробетон корпусы құм ағынының тікелей әсеріне ұшыратылды. Абразивтік әсер негізінен су молекулаларын және гидравликалық қысымды, қатты бөлшектердің соққысын, шекті қажалуды, шекті эффектілер мен жыртылуға байланысты шекті тозуды қамтыды. Сонымен қатар, су ағынымен тасымалданатын құмның әсерінен болатын үйкеліс және ығысуға төзімділік пен беткі қаттылыққа қарсы тұру сияқты факторлар қолданылды. Зерттеулеріміз фибробетон корпустарын, редукторларды және өңдеу станоктарының рамаларын өнеркәсіптік өндірісте қолдануға болатынын көрсетті.

Тау-металлургиялық кешен кәсіпорындарындағы жабдықтарға жүргізілген мониторинг нәтижесінде ортадан тепкіш сорғылардың істен шығуының негізгі себебі үйкелетін беттердің тозуы мен зақымдануы болып табылатыны анықталды. Сорғы жабдықтарының сенімділігі мен ұзақ қызмет ету көрсеткіштерін арттыру, сорғы бөлшектерін жасау үшін тозуға және коррозияға төзімді материалдарды қолдану арқылы қамтамасыз етіледі. Бұл бөлшектер су ортасында жұмыс істейтіндіктен, үйкеліс тозуына әсер ететін негізгі фактор — экзоэмиссия, адсорбция және трибодеструкция сияқты беткі құбылыстардың бірлескен әсерінен туындайтын сутекті тозу болып табылады.

Қалпына келтіру жұмыстарында композициялық материалдарды қолдану технологиясы дәнекерлеу, дәнекерлеу, қаптау, бүрку сияқты технологияларға тән энергия ресурстарын айтарлықтай үнемдеумен сипатталады.

Композициялық материалдарды қолдану жөніндегі жөндеу технологиясын соңғы жылдары енгізумен айналысатын мамандардың практикалық тәжірибесіне сүйене отырып, олардың физикалық және химиялық қасиеттерін ұтымды пайдалану жұмыстың өзіндік құнын және

еңбек сыйымдылығын 50-60%-ға төмендетуге, ал қымбат металдың шығынын 40-50%-ға азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

Мұндай жөндеу технологияларының негізгі артықшылығы - жөндеу мерзімін дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 5-10 есе қысқарту болып табылады. Қалпына келтірілген нысандарды пайдалану олардың қызмет ету мерзімін 2-4 есе ұзартуға болатынын көрсетті.

Фибробетондар – бұл минералды толтырғыштар мен толтырғыштардың мөлшері материал массасының 90-95%-на дейін жететін жаңа тиімді химиялық төзімді материалдар. Бұл жаңа материалдар фибробайланыстырғыш шығыны бойынша басқа толтырылған композициялармен салыстырғанда теңдесі жоқ: ол фибробетон массасының небәрі 5-10%-ын құрайды, сондықтан материалдың өзіндік құны барынша төмен. Фибробайланыстырғыштың салыстырмалы түрде аз шығыны кезінде фибробетондар жоғары тығыздықпен, беріктікпен, химиялық төзімділікпен және басқа да бірқатар оң қасиеттермен ерекшеленеді. Сонымен қатар, толтырудың жоғары дәрежесі шөгу шамасын күрт төмендетуге мүмкіндік береді, ол цементті бетондардың шөгуімен теңеседі, ал серпімділік модулі айтарлықтай артады, бұл мұндай бетондарды тірек және аса жауапты конструкцияларда қолдануға мүмкіндік береді.

Сынақ әдістемелері. Фибробетоннан жасалған композициялық материалдарды корпус бөлшектері ретінде қолдану мәселелерімен Satbayev University ғалымдары айналысады. Қазақстан Республикасы патенттерімен қорғалған авторлар ұсынған фибро және фибробетон құрамы 1К20/30 ортадан тепкіш сорғы мен редуктор корпустарын жоғары механикалық қасиеттері мен құрылымдық өлшемдерімен жасауға мүмкіндік берді. Физика-механикалық қасиеттері зерттеліп, корпус бөлшектерін құю технологиясы пысықталды. Зертханалық жағдайда жұмыс істеп тұрған жабдықта сынақтар жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері. Бақылау және жүргізілген зерттеулерге сәйкес, үйкеліс тозуы негізінен су мен құм қоспасының әсерінен туындайтын абразивтік әсермен байланысты. Осылайша, болат фибрамен күшейтілген фибробетон қажалуға жоғары төзімділікті көрсетті.

Жалпы алғанда, құм ағынына ұшыраған фибробетон үшін абразивтік әсер негізінен су молекулаларын және гидравликалық қысымды, қатты бөлшектердің соққысын, шекті қажалуды, шекті эффектілер мен жыртылуға байланысты шекті тозуды қамтыды. Сонымен қатар, су ағынымен тасымалданатын құм ағыны тудыратын үйкеліс және ығысуға беріктік пен беткі қаттылыққа қарсы тұру сияқты факторлар қолданылды.

Құм ағынды әдісімен қажалуға төзімділікке сынау кезінде фибробетоннан жасалған корпусстар елеусіз тозуды және, тиісінше, массаның азаюын көрсетті.

Кесте 2.10—Ортадан тепкіш сорғы корпус массасының тозудан кейінгі азаюы

Ауа қысымы, МПа	Кварц құмының фракциялары					
	Ортаға 0,1-0,4 мм		Ірі 0,5-1,0 мм		1 мм-ден жоғары кварц үгіндісі	
	Корпус шойын	Корпус фибробетон	Корпус шойын	Корпус фибробетон	Корпус шойын	Корпус фибробетон
0,45	0,2%	1,57%	1,2%	3,07%	1,9%	4,57%
0,55	0,32%	2,96%	1,32%	4,46%	2,02%	5,96%
0,7	0,37%	6,64%	1,48%	8,14%	2,18%	9,64%

Фибробетон композиттік материалын сорғы корпусы ретінде қолдану мүмкіндігін талдау нәтижесінде, оның дәстүрлі металл корпусқа балама бола алатыны дәлелденді. Материалдың төмен тығыздығы мен жоғары коррозияға төзімділігі оның салмағын 30%-ға дейін азайтып, ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді. Жүргізілген механикалық сынақтар фибробетонның қажетті беріктік сипаттамаларын растады, ал оңтайландырылған құрам өндірістік жағдайда тиімді және технологиялық тұрғыдан қолдануға жарамды екенін көрсетті.

3 Зерттеу объектілері мен әдістемесі

3.1 PU-341 және PU-342 сорғыларының техникалық сипаттамасы

Қазіргі заманғы тау-кен кәсіпорындарында сорғы жабдықтары үздіксіз және тиімді өндіріс процесін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Мұндай жүйелердің негізгі элементтері әртүрлі сұйықтықтарды, соның ішінде абразивті суспензиялар мен ерітінділерді жеткізу үшін қолданылатын ортадан тепкіш сорғылар болып табылады. Мұндай сорғылардың сенімділігі мен тиімділігі бүкіл кәсіпорынның өнімділігі мен тұрақтылығына тікелей әсер етеді. Бұл жұмыста Қазминералс кәсіпорнында пайдаланылатын екі ірі ортадан тепкіш сорғылардан тұратын сорғы паркі қарастырылады.

Көлденең үздіксіз ортадан тепкіш сорғылар өнеркәсіптің әртүрлі салаларында шламды айдау үшін кеңінен қолданылады. Бұл сорғылар тұтқырлығы жоғары, абразивті немесе қатты бөлшектері бар сұйықтықтарды тиімді және сенімді тасымалдауға арналған, бұл оларды шламмен жұмыс істеуге өте қолайлы етеді. Бұл сорғылар ұнтақтау алаңында орналасқан және циклондарды қуаттандырады, бұл технологиялық тізбектің тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді.

Көлденең центрифугалық суспензия сорғысы центрифугалық сорғылардың стандартты принципі бойынша жұмыс істейді. Суспензия сорғы корпусына сорғы құбыры арқылы кіргенде, жұмыс дөңгелегі жоғары жылдамдықпен айналады, бұл сұйықтықты корпустың қабырғаларына түсіретін ортадан тепкіш күш жасайды. Бұл процестің нәтижесінде сорғының орталық бөлігінде (осьтің айналасында) төмен қысымды аймақ пайда болады, бұл үздіксіз қозғалысты сақтай отырып, сұйықтықтың жаңа бөлігінің тұрақты ағынын қамтамасыз етеді.

Сорғылардың стандартты центрифугалық сорғылардан басты айырмашылығы – олардың құрамында қатты заттар бар тұтқырлығы жоғары сұйықтықтармен жұмыс істеу қабілеті, сонымен бірге жоғары сенімділік пен тозуға төзімділікті сақтау.

3.1 Кесте –341 және 342 сорғылардың төлқұжаты

Негізгі ақпарат	
Бастапқы циклонды қоректендіру сорғылары	PU-341 және PU-342
Түрі	Көлденең ортадан тепкіш
Жұмыс режимі	Үздіксіз
Орналасқан жері	Зауыт іші

3.1 Кесте жалғасы

Қолданылуы		Циклонға алғашқы беру		
Сорғыны басқару		ВСД		
Суспензияның сипаттамасы		Түсіруге арналған шлам		
Сұйық композициясы		Шлам		
Сору температурасы	° С	25		
Суспензия тығыздығы	Кг/м3	1550		
Суспензияның тұтқырлығы	сР	2		
Сұйықтықтың бу қысымы	кПа	Су тәрізді		
Сұйықтық рН		6-8		
Қатты заттардың құрамы	% вт	57.2		
Бөлшектердің тығыздығы	Кг/м3	2740		
Бөлшектердің мөлшері F20	микрон	84		
F50	микрон	376		
F80	микрон	1262		
F100	микрон	10000		
		минимальды		
Ағын жылдамдығы	м 3/сағ	5138	номиналь ды	максимальды
Жұмыс нүктесіндегі сорғының ПӘК	%		6422	7685
НПШ нақты	М			83.8
НПШ талап етілетін	М	3.1	7	
Сорғы жылдамдығы	РПМ	271	3.8	4.6
Сіңірілетін қуат	кВт	1100	283	310
Орнатылған қуат	кВт		1335	1820
Сору күйі			2000	
Сору қысымы	к Па.г			
Түсіру шарттары			15	
Дифференциалды бас	М сұйық ық	38		

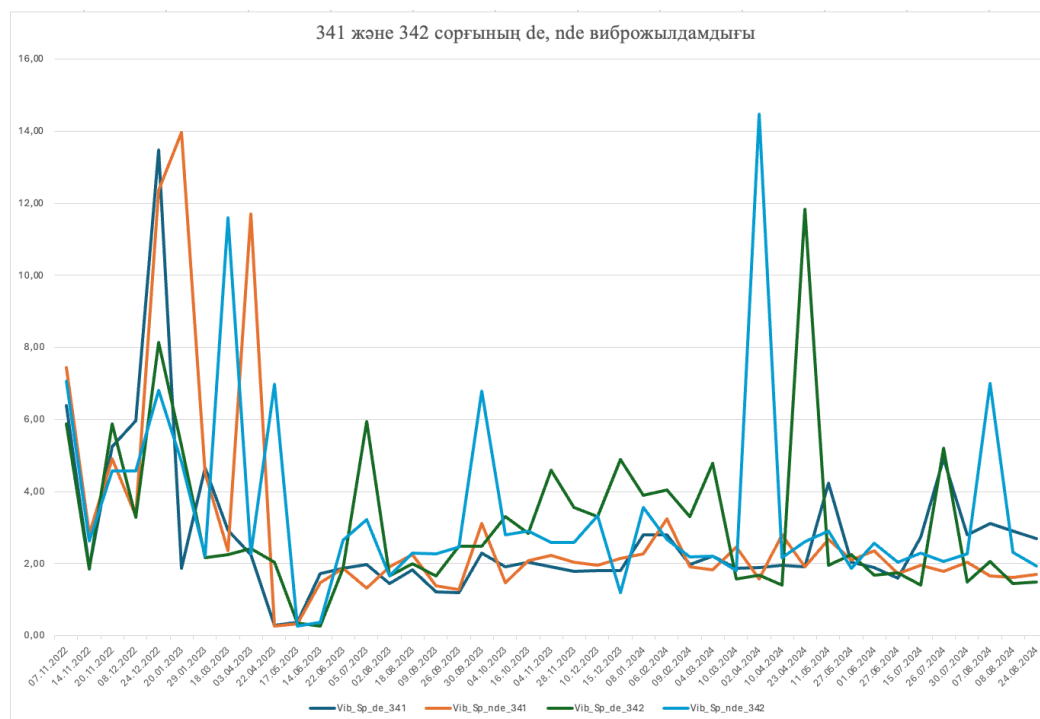
3.2 Талдау үшін жиналған параметрлердің сипаттамасы

341 және 342 сорғыларын бақылау кезінде жабдықтың техникалық күйін диагностикалау мен болжауда шешуші рөл атқаратын бірнеше маңызды діріл параметрлері жиналды. Деректер 07.11.2022 мен 24.08.2024 аралығында Omnitrend бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып және жабдықтың техникалық жай-күйіне мониторинг жасау арқылы жиналды. Деректер стандартты жұмыс тәртібі бойынша белгілігі күн аралығында алынды. Бұл деректер және опцияларға діріл жылдамдығы, үдеу және дыбыс қысымының деңгейлері кіреді. Осы параметрлердің әрқайсысы сорғылардың жұмысының белгілі бір аспектілерін сипаттайды және олардың техникалық күйін бағалауға мүмкіндік береді.

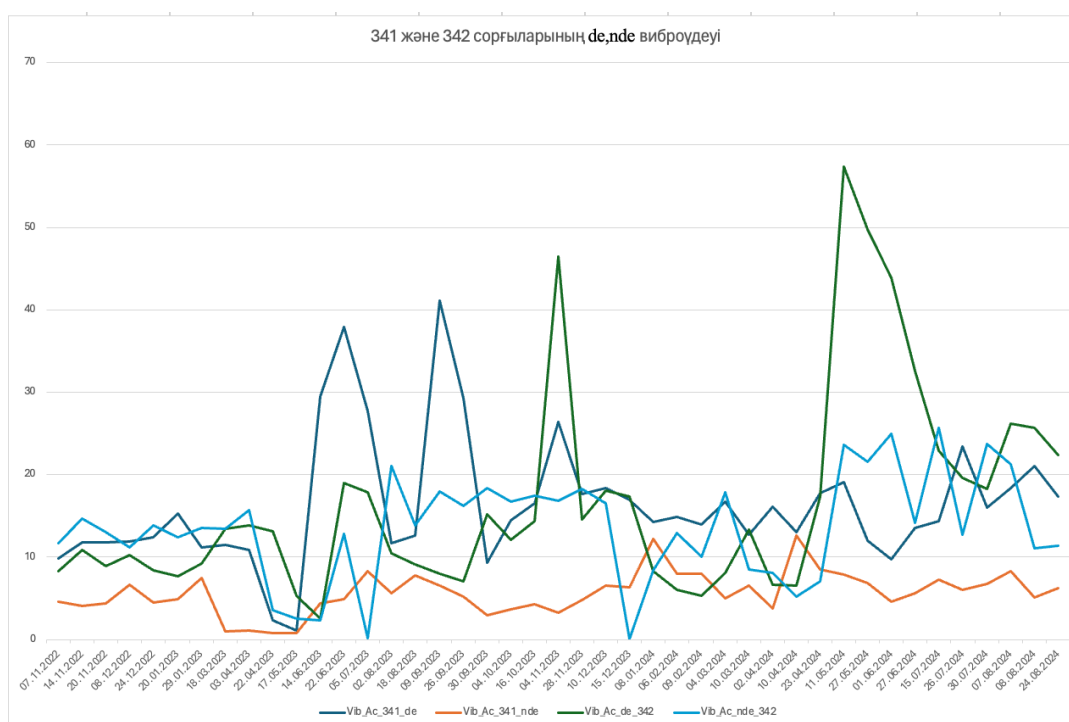
Деректерді жинау және талдау үшін сорғылардың әртүрлі діріл параметрлерін өлшеуге мүмкіндік беретін vibroexpert II бақылау жүйесі қолданылды. Жүйе жоғары өлшеу дәлдігін және үздіксіз бақылау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Жиналған деректер визуализациялау және алдын ала өңдеу үшін пайдаланылған Omnitrend бағдарламалық құралына жіберілді. Vibroexpert II-бұл сорғылардың әртүрлі нүктелеріндегі діріл параметрлерін тіркейтін діріл датчиктерінен тұратын күрделі құрал, соның ішінде DE (жетек жағынан) және NDE (жетекке қарама-қарсы жағынан) мойынтіректерден деректер жинақтары.

Date	dBm	dBc	Diameter_mm	RPM	dBa	dBla	Vib_Speed_Peak	Vib_Speed	Vib_Accel	Vib_Accel	Vib_Accel	Vib_Accel	Vib_Accel	Vib_Accel	Significance_spectrf_Hz	Significance_Ogib_Podsh	Significance_Ogibf_Hz_Machine	Significance_Machine_mm_s
07.11.2022	3	-9	260	240	0	10	7,45	12,24	1,93	4,583	8,958	0,665	373,25	0,136	32	0,061	2	1,96
14.11.2022	2	-9	260	240	0	10	2,83	5,34	0,78	4,035	7,799	0,696	381,75	0,091	16,5	0,034	2	1,08
20.11.2022	11	-7	260	240	0	10	4,91	8,3	1,48	4,403	8,558	0,779	381,75	0,133	33	0,05	2	1,46
08.12.2022	-1	-12	260	240	0	10	3,32	6,55	1,11	6,678	12,579	0,728	365	0,113	31,5	0,104	2	1,23
24.12.2022	-1	-10	260	240	0	10	12,37	23,61	3,42	4,519	8,816	0,739	372,5	0,088	32	0,098	2	6,64
20.01.2023	2	-7	260	240	0	10	13,97	25,13	3,87	4,864	9,381	0,805	0,25	0,066	32,5	0,068	0,5	1,25
29.01.2023	0	-10	260	240	0	10	4,51	8,49	1,29	7,431	13,997	0,713	384	0,075	2	0,056	0,5	1,24
18.03.2023	-14	-20	260	240	0	10	2,35	4,37	0,86	0,957	1,836	0,129	0,25	0,048	33,5	0,013	0,5	1,09
03.04.2023	-18	-20	260	240	0	10	11,7	19,92	3,61	1,092	2,058	0,128	0,25	0,04	34	0,02	1,5	1,01
22.04.2023	-16	-20	260	240	0	10	0,26	0,49	0,07	0,818	1,502	0,17	376,5	0,023	32,5	0,02	0,5	0,12
17.05.2023	-14	-20	260	240	0	10	0,33	0,65	0,1	0,753	1,488	0,169	384,75	0,031	4	0,014	0,5	0,12
14.06.2023	-12	-20	260	240	0	10	1,48	2,85	0,37	4,411	8,687	0,714	384,25	0,064	14,5	0,109	0,5	1,01
22.06.2023	-15	-20	260	240	0	10	1,87	3,39	0,49	4,87	9,658	0,953	398,5	0,059	19	0,079	0,5	0,9
05.07.2023	-6	-17	260	240	0	10	1,32	2,63	0,35	8,263	15,514	1,572	393,75	0,094	4,5	0,204	0,5	0,98
02.08.2023	5	-7	260	240	0	10	1,91	3,5	0,54	5,659	9,908	0,761	378,5	0,083	18,5	0,07	0,5	1,33
18.08.2023	1	-13	260	240	0	10	2,26	4,26	0,67	7,747	15,395	0,792	384,25	0,069	33	0,085	0,5	1,12
06.09.2023	7	-20	260	240	0	10	10,92	21,5	4,02	21,212	34,761	1,372	0,25	0,169	39	0,735	2	24,15
09.09.2023	-3	-16	260	240	0	10	1,39	2,57	0,34	6,524	12,989	0,967	378,5	0,119	39	0,551	0,5	1,04
26.09.2023	-2	-20	260	240	0	10	1,28	2,5	0,37	5,213	10,249	0,654	378	0,121	39	0,181	0,5	0,93
30.09.2023	4	-19	260	240	0	10	3,12	5,36	0,82	2,997	5,97	0,613	395,25	0,062	4,5	0,039	2	1,34
04.10.2023	-20	-20	260	240	0	10	1,46	2,79	0,42	3,676	6,839	0,714	0,25	0,072	68,5	0,05	0,5	1,36
16.10.2023	-8	-20	260	240	0	10	2,09	3,84	0,54	4,311	8,457	0,567	0,25	0,069	32	0,155	18,5	0,16

3.1 Сурет – Жиналған деректердің мысалы



3.2 Сурет – 341және 342 сорғылардың жиналған виброжылдамдық деректері



3.3 Сурет – 341және 342 сорғылардың жиналған вибрүдеу деректері

Сорғылардың күйін бақылау үшін келесі діріл параметрлері жинақталды:

- Vib_Speed_Peak (мм/с) – дірілдің ең жоғары жылдамдығы;
- Vib_Accel_Peak (м/с²) – дірілдің ең жоғары үдеуі;
- Vib_Speed_Pk_Pk(мм/с)—"пик-пик" дірілінің амплитудалық жылдамдығы;
- Vib_Accel_Pk_Pk (м/с²) — "пик-пик"дірілінің амплитудалық үдеуі;
- Vib_Speed_RMS (мм/с) — дірілдің орташа квадраттық жылдамдығы;
- Vib_Accel_RMS (м/с²) — дірілдің орташа квадраттық үдеуі;
- dBm және dBc – дыбыстық қысым деңгейлері (механикалық және жалпы).

1) Vib_Speed_Peak (мм/с) – дірілдің ең жоғары жылдамдығы

Анықтама: Vib_speed_peak дірілінің ең жоғары жылдамдығы (мм/с) белгілі бір уақыт ішінде тербелістер арқылы қол жеткізілетін жылдамдықтың максималды амплитудасын көрсетеді.

Талдау мәні: дірілдің ең жоғары жылдамдығы жабдықта пайда болатын дірілдің қарқындылығын анықтауға мүмкіндік береді. Діріл техникалық жағдайдың маңызды көрсеткіші болып табылады, өйткені шамадан тыс діріл механикалық ақаулардың болуын, мойынтіректердің тозуын немесе ротордың теңгерімсіздігін көрсетуі мүмкін.

Қолдану: сорғылардың күйін бақылау үшін осы параметрді пайдалану діріл рұқсат етілген деңгейден асатын қалыптан тыс жағдайларды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

2) Vib_Accel_Peak (м/с²) – дірілдің ең жоғары үдеуі

Анықтама: Vib_accel_peak дірілінің ең жоғары үдеуі (м/с²) және жабдықтың жұмысы кезінде тербелістер арқылы қол жеткізілетін үдеудің максималды амплитудасын сипаттайды.

Талдау мәні: дірілдің үдеуі сорғы компоненттеріне әсер ететін өзгеретін күштерді көрсетеді. Пиктік үдеуінің жоғары мәндері жарықтар, туралау проблемалары немесе элементтердің тозуы сияқты ақаулардың болуын көрсетуі мүмкін. Бұл параметр тербелістердің қарқындылығы мен айқындылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Қолдану: дірілдің үдеуін бақылау механикалық элементтердің бұзылуының басталуы немесе құрылымдық ақаулар сияқты сорғылардағы динамикалық өзгерістерді анықтау үшін маңызды.

3) dBc (дыбыстық қысымның жалпы деңгейі)

Анықтама: dBc-децибелмен (дБ) өлшенген дыбыстық қысымның жалпы деңгейі. Ол сорғылар жұмыс істеп тұрған кезде пайда болатын шудың жалпы деңгейін сипаттайды.

Талдау мәні: dBc мәнінің жоғарылауы сорғыда дірілдің жоғарылауы, мойынтіректердің тозуы немесе ротордың тепе-теңдік мәселелері сияқты мәселелердің болуын көрсетуі мүмкін. dBc деңгейін бақылау маңызды, себебі ол компоненттер тозған сайын өсуі мүмкін, бұл техникалық қызмет көрсету немесе ауыстыру қажеттілігін көрсетеді.

Қолдану: dBc өлшеу жабдықтың жалпы күйін бағалауға мүмкіндік береді. Шу деңгейінің күрт өзгеруі жедел араласуды қажет ететін ақаулардың дамуын көрсетуі мүмкін.

4) *dBm (дыбыстық қысымның механикалық деңгейі)*

Анықтама: dBm-бұл децибелмен (дБ) өлшенетін дыбыстық қысымның механикалық деңгейі, ол сорғылардағы механикалық процестермен байланысты шу деңгейін көрсетеді.

Талдау мәні: бұл параметр мойынтіректер мен айналмалы бөліктер сияқты механикалық сорғы элементтері шығаратын шуды өлшейді. dBm деңгейінің жоғарылауы мойынтіректердің тозуы немесе зақымдануы сияқты механикалық ақауларды көрсетуі мүмкін, бұл уақтылы диагноз қою және жөндеу үшін маңызды.

Қолдану: dBm талдауы сорғыдағы Шу мен діріл көзін оқшаулауға көмектеседі, әсіресе механикалық компоненттерге қатысты мәселелер болса.

5) *Vib_Speed_Pk_Pk — (мм/с) - "пик-пик"діріл жылдамдығының амплитудасы*

Анықтама: vib_speed_pk_pk "пик-пик" діріл жылдамдығының амплитудасы секундына миллиметрмен (мм/с) өлшенеді және цикл ішіндегі діріл жылдамдығының максималды және минималды мәндерінің арасындағы айырмашылықты көрсетеді.

Талдау мәні: бұл параметр тербеліс күшінің көрсеткіші болып табылатын жабдықтың тербеліс амплитудасын бағалауға мүмкіндік береді. Шамадан тыс діріл амплитудасы ротордың теңгерімсіздігі немесе бекітпелердің әлсіреуі сияқты ақаулардың болуын көрсетуі мүмкін.

Қолдану: діріл жылдамдығының амплитудасын бақылау ротордың біркелкі емес жүктемесіне немесе компоненттердің әлсіреуіне байланысты ақауларды уақтылы анықтауға мүмкіндік береді.

6) *Vib_Accel_Pk_Pk (м / с²)-"пик-пик"дірілінің үдеу амплитудасы*

Анықтама: Vib_Accel_Pk_Pk "пик-пик" діріл үдеуінің амплитудасы (м/с²) және діріл үдеуінің максималды және минималды мәндерінің арасындағы айырмашылықты көрсетеді.

Талдау мәні: бұл параметр дірілдің күші мен айқындылығын бағалауға мүмкіндік береді. Үдеу амплитудасының жоғары мәндері динамикалық жүктемелердің болуын және дірілдің күрт көтерілуін көрсетуі мүмкін, бұл маңызды механикалық ақауларды көрсетуі мүмкін.

Қолдану: бұл параметр жабдықтың динамикалық жүктемелерін бақылау үшін маңызды. Бұл мойынтіректерге және басқа механикалық компоненттерге қатты діріл әсерінен болатын төтенше жағдайлардың алдын алуға мүмкіндік береді.

7) *Vib_Speed_RMS (мм/с) - дірілдің орташа квадраттық жылдамдығы*

Анықтама: Vib_speed_rms дірілінің орташа квадраттық жылдамдығы (мм/с) берілген уақыт кезеңіндегі діріл жылдамдығының орташа деңгейін сипаттайды.

Талдау мәні: бұл параметр белгілі бір кезеңдегі дірілдің орташа деңгейін бағалауға және діріл әсерінің жоғарылау тенденцияларын анықтауға мүмкіндік береді. RMS жоғары мәндері мойынтіректердің немесе механикалық бөлшектердің тозуы сияқты созылмалы мәселелердің дамуын көрсетуі мүмкін.

Қолдану: уақыт өте келе дірілдің өзгеруін бақылау үшін қолданылады және сорғының біртіндеп нашарлауын анықтауға көмектеседі.

8) *Vib_Accel_RMS (м/с²) - дірілдің орташа квадраттық үдеуі*

Анықтама: *Vib_accel_rms* дірілінің орташа квадраттық үдеуі (м/с²) белгілі бір уақыт кезеңіндегі дірілдің орташа үдеу деңгейін көрсетеді.

Талдау мәні: бұл параметр дірілдің жалпы қарқындылығын бағалау және динамикалық жүктемелерге байланысты ықтимал мәселелерді болжау үшін маңызды. RMS үдеуінің біртіндеп артуы бөлшектердің центрленуі немесе тозуы сияқты мәселелердің пайда болуын көрсетуі мүмкін.

Қолдану: бұл параметр жабдықтың техникалық күйін ұзақ мерзімді бақылау және болжау үшін қолданылады.

4 Математикалық модельдеу және нәтижелері

Сорғы жабдықтарының жай-күйін зерттеу 341 және 342 сорғыларының сенімділігін арттыру үшін машиналық оқыту әдістерін, атап айтқанда кездейсоқ орман (Random Forest) әдісі және нейрондық желі әдісі қолданылды. Зерттеудің мақсаты – діріл деректері негізінде сорғылардың техникалық күйін болжай алатын математикалық модельдерді құру. Бұл модельдерді профилактикалық қызмет көрсету және жабдықтың істен шығу мүмкіндігін азайту үшін пайдалануға болады.

Сорғылар үшін деректерді жинау ең жоғары және амплитудалық жылдамдық пен дірілдің үдеуі және дыбыстық қысым деңгейлері сияқты параметрлерді қамтыды. Деректерді талдау MATLAB көмегімен жүргізілді, онда модельдерді үйреттіп, олардың дәлдігін бағалап және 341,342 сорғы үшін негізінде нәтижелер жақсартылырды.

4.1 341 сорғы үшін кездейсоқ орман әдісін қолдану

341 сорғы үшін DE және NDE мойынтіректерінен жиналған діріл деректерін қолданатын кездейсоқ орман моделі қолданылды. Негізгі мақсат діріл параметрлерінің өзгеруін болжау және ықтимал ақаулардың алдын алу және оның қызмет ету мерзімін ұзарту үшін сорғының техникалық күйін бағалау болды.

1-қадам: Деректерді жүктеу:

Алдымен 341 сорғы үшін деректер жүктелді. Бұл деректерде дірілдің ең жоғары жылдамдығы, ең жоғары үдеу және кездейсоқ орман үлгісінде қолданылатын басқа параметрлер сияқты әртүрлі діріл параметрлері бар. 341 сорғының DE және NDE мойынтірегіннің діріл деректері біріктірілді.

```
data_DE = readtable('341number1.xlsx', 'Sheet', '341de');
```

```
data_NDE = readtable('341number1.xlsx', 'Sheet', '341nde');
```

```
data_combined = [data_DE; data_NDE]; % Data merging
```

2-қадам: Деректерді алдын ала өңдеу:

Деректерді өткізіп жіберуден тазартып, одан әрі модельдеу үшін маңызды болжаушылар мен мақсатты айнымалыны таңдаймыз:

```
predictors=[data_combined.Vib_Speed_Peak_mm_s,
```

```
data_combined.Vib_Accel_Peak_m_s2]; % Predictors
```

```
response = data_combined.dBc; % Target variable
```

3-қадам: Кездейсоқ орман үлгісі:

Деректерді өңдегеннен кейін 100 ағашы бар кездейсоқ орман үлгісі үйретілді. Кездейсоқ орман әдісі – болжау үшін көптеген шешім ағаштарын қолданатын және қайта оқытуды азайтуға көмектесетін қуатты алгоритм.

```
Mdl_rf= TreeBagger(100, predictors, response, 'Method', 'regression',  
'OOBPrediction', 'on', 'OOBPredictorImportance', 'on');
```

4-қадам: Модельдің дәлдігін болжау және бағалау:

Модельді оқытқаннан кейін кездейсоқ орман үлгісіне негізделген болжамдар алынды және R-squared және RMSE көрсеткіштерін пайдаланып дәлдік бағаланды. Бұл көрсеткіштер модельдің діріл параметрлеріне негізделген dBc мәндерін қаншалықты жақсы болжайтынын түсінуге мүмкіндік береді.

RMSE (Root Mean Squared Error) және R^2 (анықтау коэффициенті) — бұл машиналық оқыту мен регрессиялық талдау модельдерінің сапасын бағалау үшін қолданылатын статистикалық көрсеткіштер.

RMSE (орташа квадраттық қатенің түбірі): RMSE болжамды және нақты мәндер арасындағы қатенің орташа мәнін өлшейді. Ол қате квадраттарының орташа мәнінің квадрат түбірі ретінде есептеледі.

R^2 (анықтау коэффициенті): R^2 модель деректердің өзгеруін қаншалықты жақсы түсіндіретінін бағалайды. Ол тәуелді айнымалының өзгергіштігінің қандай үлесін модель түсіндіретінін көрсетеді.

```
Y_pred_rf = predict(Mdl_rf, predictors);
SS_res_rf = sum((response - Y_pred_rf).^2);
SS_tot_rf = sum((response - mean(response)).^2);
R_squared_rf = 1 - (SS_res_rf / SS_tot_rf);
rmse_rf = sqrt(mean((response - Y_pred_rf).^2));
fprintf('R-squared (Random Forest): %.4f\n', R_squared_rf);
fprintf('Root Mean Squared Error (RMSE): %.4f\n', rmse_rf);
```

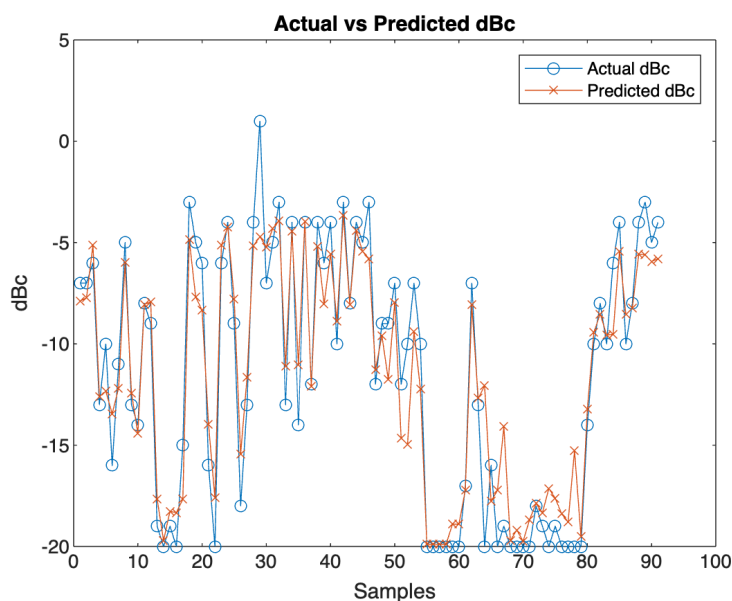
Нәтижелер:

$R^2=0.9045$, RMSE: 1.9429

5-қадам: Болжамды және нақты мәндерді визуализациялау

Төмендегі графикте (-сурет) нақты dBc мәндері мен кездейсоқ орман моделі болжаған салыстырулар көрсетілген. Графикте кездейсоқ орман моделі көптеген деректер нүктелері үшін dBc-ді дәл болжайтынын көруге болады.

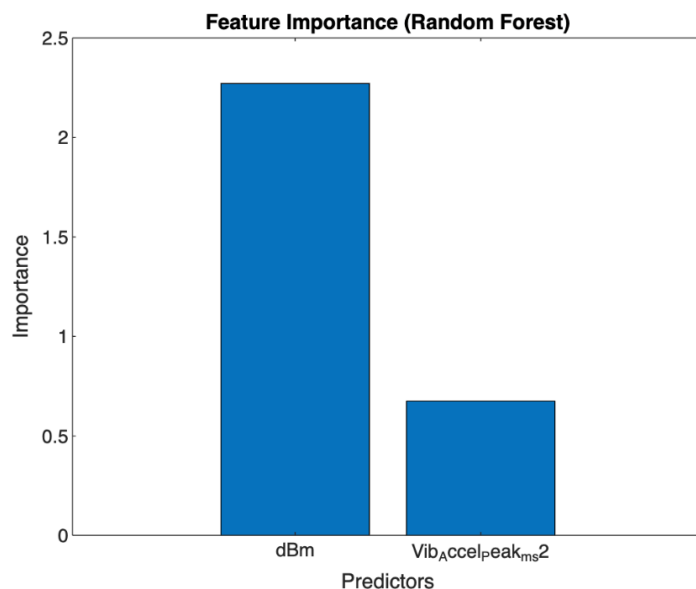
```
figure;
plot(response, 'o-');
hold on;
plot(Y_pred_rf, 'x-');
legend('Actual dBc', 'Predicted dBc (Random Forest)');
xlabel('Samples');
ylabel('dBc');
title('Actual vs Predicted dBc (Random Forest for Pump 341)');
hold off;
```

4.1 Сурет – Кездейсоқ орманды қолдана отырып, 341 сорғының нақты (көк шеңберлер) және болжамды (қызыл кресттер) мәндерін салыстыру графигі.

6-қадам: Болжаушылардың маңыздылығын бағалау:

Кездейсоқ орман үлгісіндегі болжаушылардың маңыздылығын анықтау үшін қандай параметрлердің (болжаушылардың) болжамға ең үлкен әсер еткенін көрсететін кірістірілген функция қолданылды. Графикте dBm параметрі ең көп әсер еткенін көруге болады, ал Vib_Accel_Peak_m_s2 мәні аз болды.



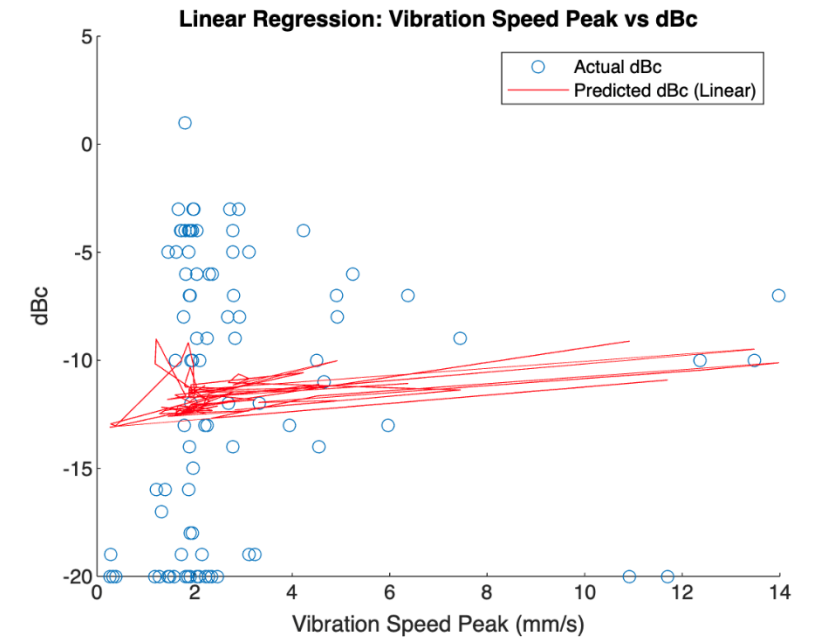
4.2 Сурет – Кездейсоқ орман үлгісіндегі болжаушылардың маңыздылығының графигі. Қолданылған параметрлердің (dBm және Vib_Accel_Peak_m_s2) модельге әсер ету деңгейі көрсетілген

```
figure;
bar(Mdl_rf.OOBPermutedPredictorDeltaError);
xlabel('Predictors');
ylabel('Importance');
```

```
title('Feature Importance (Random Forest)');
xticklabels({'dBm', 'Vib Accel Peak'});
```

7-қадам: Басқа модельдермен салыстыру:

Кездейсоқ орман әдісінің тиімділігін салыстыру үшін сызықтық және көпмүшелік регрессиясы қолданылды. Бұл модельдердің нәтижелері дәл емес болып шықты.



4.3 Сурет – Сызықтық регрессия моделін болжау нәтижелерінің графигі. Көк шеңберлер — нақты dBc деректері, қызыл сызықтар — сызықтық регрессия моделі арқылы алынған болжамдар.

```
% Linear regression
```

```
X=[ones(height(data_combined),1),data_combined.Vib_Speed_Peak_mm_s]
```

```
;
```

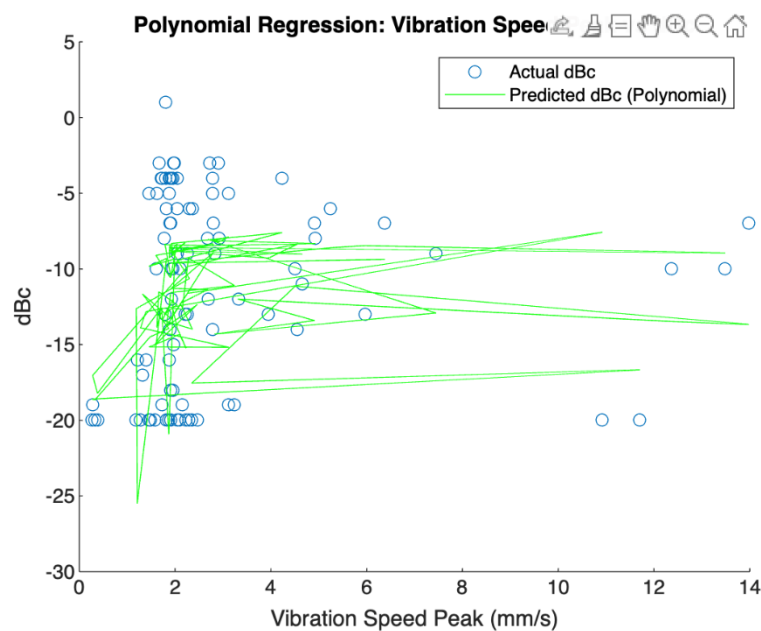
```
b = X \ response;
```

```
Y_pred_lin = X b;
```

```
% Polynomial regression
```

```
p=polyfit(data_combined.Vib_Speed_Peak_mm_s, response,
```

```
2); Y_pred_poly=polyval(p, data_combined.Vib_Speed_Peak_mm_s);
```

4.4 Сурет – Регрессияның әртүрлі модельдерін салыстыру (көк шеңберлер — нақты мәндер, жасыл сызықтар — болжамды қисықтар). Полиномдық модель сызықтық моделге қарағанда күрделі тәуелділіктерді анықтауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер:

R^2 (Linear Regression): 0.0191

RMSE (Linear Regression): 6.2277

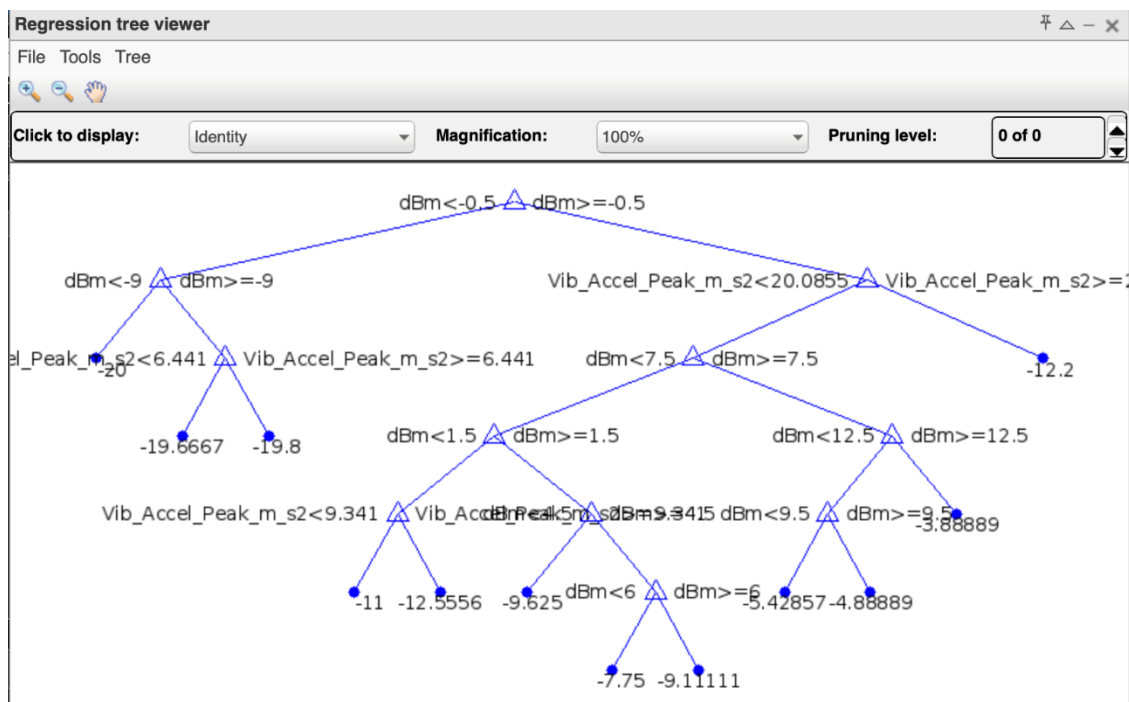
R^2 (Polynomial Regression): 0.2763

RMSE (Polynomial Regression): 5.3492

Сызықтық және көпмүшелік регрессия графиктері осы модельдердің әлсіз болжау қабілетін көрсетеді:

8-қадам: Кездейсоқ орманның шешім ағашы:

Кездейсоқ орман моделін тереңірек түсіну үшін шешім ағашының графигі жасалды, ол модельдің шешім қабылдау процесін көрсетеді. Шешім ағашында кездейсоқ орман моделі dBc болжау үшін dBm және Vib_Accel_Peak_m_s2 мәндеріне негізделген деректерді қалай бөлетінін көруге болады.



4.5 Сурет – Кездейсоқ орманның шешім ағашы сипатталған, бұл модельдің болжамдарды қалай жасайтынын көрсетеді. Бұл ағаш арқылы dBm және Vib_Accel_Peak_m_s2 параметрлерінің белгілі бір диапозондардағы ықпалы анықталады.

`view(Mdl_rf.Trees{1}, 'Mode', 'graph');`

Қорытынды: 341 сорғысының кездейсоқ орман моделі R^2 (анықтау коэффициенті) шамамен 0.9 көрсетті. Бұл модель діріл деректеріндегі өзгерістердің 90% түсіндіре алатынын көрсетеді, бұл тиімділік пен сенімділіктің жоғары көрсеткіші. R^2 мәні модельдің сорғының жалпы күйіне ең жоғары жылдамдық пен діріл үдеуі сияқты әртүрлі параметрлердің әсерін ескеру қабілетін көрсетеді.

Дірілді бақылау үшін кездейсоқ орманды пайдалану сорғының жұмысындағы ауытқуларды алдын ала анықтауға мүмкіндік береді, бұл жабдықтың сенімді жұмысын қамтамасыз ету үшін маңызды. $R^2 = 0.9$ мәні модельдің дірілдің өзгеруін болжаудың жоғары қабілетін растайды, бұл мойынтіректердің немесе сорғының басқа бөліктерінің тозуының бастапқы кезеңдерін көрсетеді. Модельде қолданылатын негізгі параметрлер (мысалы, dBc) ерте диагностика үшін ең айқын болатын діріл өзгерістеріне назар аударуға мүмкіндік береді.

Кездейсоқ орман үлгісімен алынған нәтижелер мүмкіндік береді:

Профилактикалық қызмет көрсетуді жоспарлау: модельдің болжамды мүмкіндіктері сорғы жоспардан тыс аялдамаларды азайту арқылы техникалық қызмет көрсетуді қажет ететін уақытты алдын ала анықтауға көмектеседі.

Техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту: дірілдегі ауытқуларды болжау ресурстарды үнемдейтін және жөндеу шығындарын азайтатын

жабдықтың күйіне бағытталған техникалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді.

Сорғының сенімділігін арттыру: діріл деректерін үнемі бақылау және болжау мүмкіндігі сорғының сенімділігін арттыра отырып, оның қызмет ету мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді.

Кездейсоқ орман әдісі 341 сорғысының күйін талдау үшін жоғары дәлдік пен сенімділікті көрсетті. R^2 мәні шамамен 0.9 модель діріл өнімділігінің өзгеруін егжей-тегжейлі қарастыра алатынын және оны сорғылардың күйін болжау құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Бұл тәсіл күрделі діріл тәуелділіктерін есепке алу қабілетінің жеткіліксіздігін көрсеткен дәстүрлі әдістерге (сызықтық және көпмүшелік регрессиялар) қарағанда айтарлықтай артықшылықтарға ие. Модельді ұзақ мерзімді перспективада қолдану пайдалану шығындарын едәуір төмендетіп, сорғы жабдықтарының сенімділігін арттыруы мүмкін.

4.2 Нейрондық желілерді қолдана отырып, 342 сорғының техникалық күйін зерттеу

342 сорғысының күйін бақылау үшін нейрондық желі әдісі қолданылды. Бұл әдіс деректердегі күрделі қатынастарды талдауға және нақты болжамдар жасауға мүмкіндік беретін қуатты машиналық оқыту құралы болып табылады. Сорғының жұмысындағы ықтимал ақауларды немесе ауытқуларды болжауға көмектесетін модель жасау үшін ең жоғары діріл жылдамдығы, ең жоғары үдеу және dBc діріл деңгейі сияқты параметрлер қолданылды. Нейрондық желілердің есептеу ресурстарын тиімді пайдалануды арттырып, дәстүрлі архитектураларға қарағанда есептеу тапсырмаларының кең спектрінде артықшылық беретін ең маңызды бірінші артықшылығы — желінің барлық элементтері арқылы ақпаратты параллель өңдеу (оны «ұсақ түйіршікті параллелизм» деп атайды). Көптеген нейрондар мен одан да көп нейрондар арасындағы байланыстардың (синапстардың) параллель жұмысы ақпаратты өңдеу процесін айтарлықтай жылдамдатуға мүмкіндік береді. Мұндай есептеу архитектурасы жиі сигналдарды өңдеу тапсырмаларын нақты уақыт режимінде шешуге мүмкіндік береді.

1-қадам: Деректерді дайындау:

342 сорғы деректері DE және NDE түйіндерден жиналды. Деректер біріктірілгеннен кейін бірнеше негізгі параметрлер таңдалды:

Vib_Speed_Peak (мм/с) – дірілдің ең жоғары жылдамдығы;

Vib_Accel_Peak (м / с²) – дірілдің ең жоғары үдеуі;

dBc – діріл деңгейі.

Талдау үшін нормаланған деректер пайдаланылды, бұл модельдің оқу сапасын жақсартуға мүмкіндік берді.

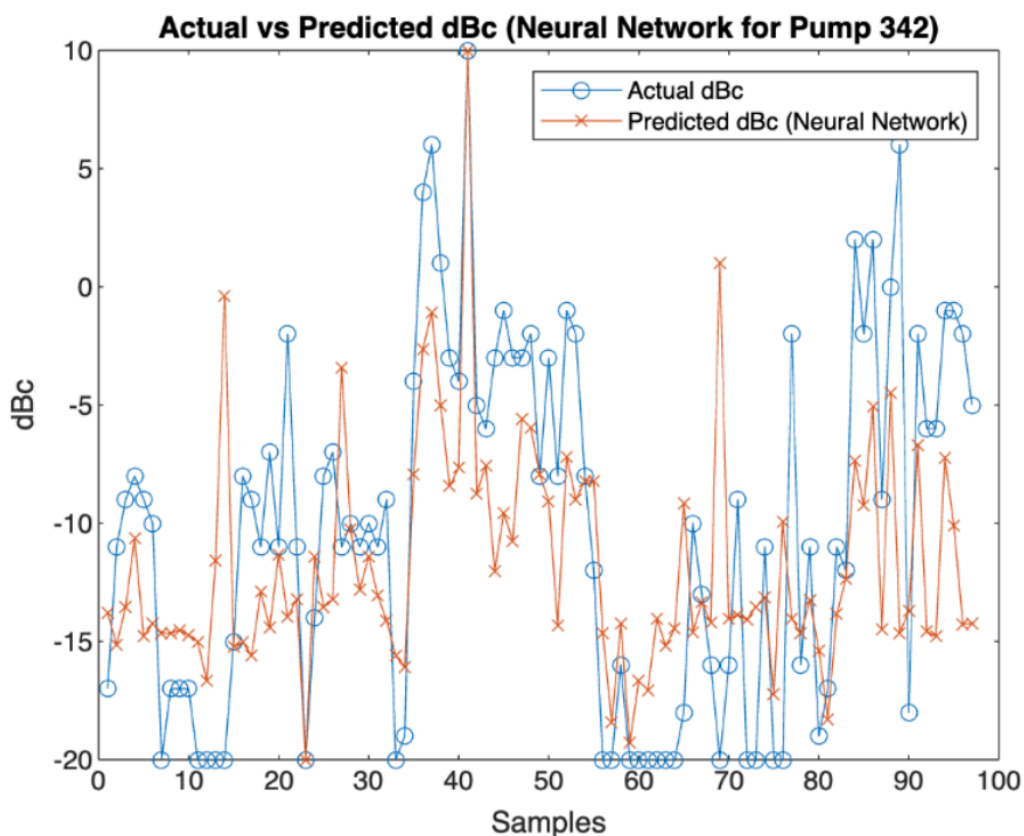
2-қадам: Нейрондық желі архитектурасы:

10 нейроннан тұратын бір жасырын қабаты бар нейрондық желі қолданылды. Модельді қайта оқытудың алдын алу үшін регуляризация орнатылды.

3-қадам: Модельді оқыту:

```
% Step 1: Loading data for pump 342
data_342_DE = readtable('342number.xlsx', 'Sheet', '342de');
data_342_NDE = readtable('342number.xlsx', 'Sheet', '342nde');
% Step 2: Combining the data
data_342_combined = [data_342_DE; data_342_NDE];
% Step 3: Prepare the data
predictors_342=[data_342_combined.Vib_Speed_Peak_mm_s,
data_342_combined.Vib_Accel_Peak_m_s2];
response_342 = data_342_combined.dBc;
% Step 4: Normalize data
X_norm = normalize(predictors_342);
Y_norm = normalize(response_342);
% Step 5: Defining the neural network architecture (10 neurons in the hidden
layer)
hiddenLayerSize = 10;
net = fitnet(hiddenLayerSize);
% Step 6: Train the network
net.trainParam.showWindow = true;
[net, tr] = train(net, X_norm', Y_norm');
% Step 7: Prediction on test data
Y_pred_nn = net(X_norm(tr.testInd,:));
% Step 8: Inverse scaling of predictions
Y_pred_nn=rescale(Y_pred_nn,min(response_342), max(response_342));
% Step 9: Estimate model accuracy (RMSE and R^2)
rmse_nn = sqrt(mean((Y_pred_nn' - response_342(tr.testInd)).^2));
SS_res_nn = sum((response_342(tr.testInd) - Y_pred_nn').^2);
SS_tot_nn=sum((response_342(tr.testInd)-mean(response_342(tr.testInd))).^2
);
R_squared_nn = 1 - (SS_res_nn / SS_tot_nn);
fprintf('R-squared (Neural Network for Pump 342): %.4f\n', R_squared_nn);
fprintf('Root Mean Squared Error (RMSE) for Pump 342: %.4f\n', rmse_nn);
4-қадам: Нәтижелерді визуализациялау:
```

Модельді оқыту аяқталғаннан кейін болжамдардың сапасын бағалау үшін нақты және болжамды мәндердің графиктері салынды.



4.6 Сурет – Бұл графикте сорғы №342 үшін нейрондық желі арқылы есептелген dBc көрсеткішінің болжамды (қызыл кресттер) және нақты (көк шеңберлер) мәндері салыстырылып көрсетілген.

% Step 10: Plot actual and predicted values

Figure;

plot(response_342(tr.testInd), 'o-');

hold on;

plot(Y_pred_nn, 'x-');

legend('Actual dBc', 'Predicted dBc (Neural Network)');

xlabel('Samples');

ylabel('dBc');

title('Actual vs Predicted dBc (Neural Network for Pump 342)');

hold off;

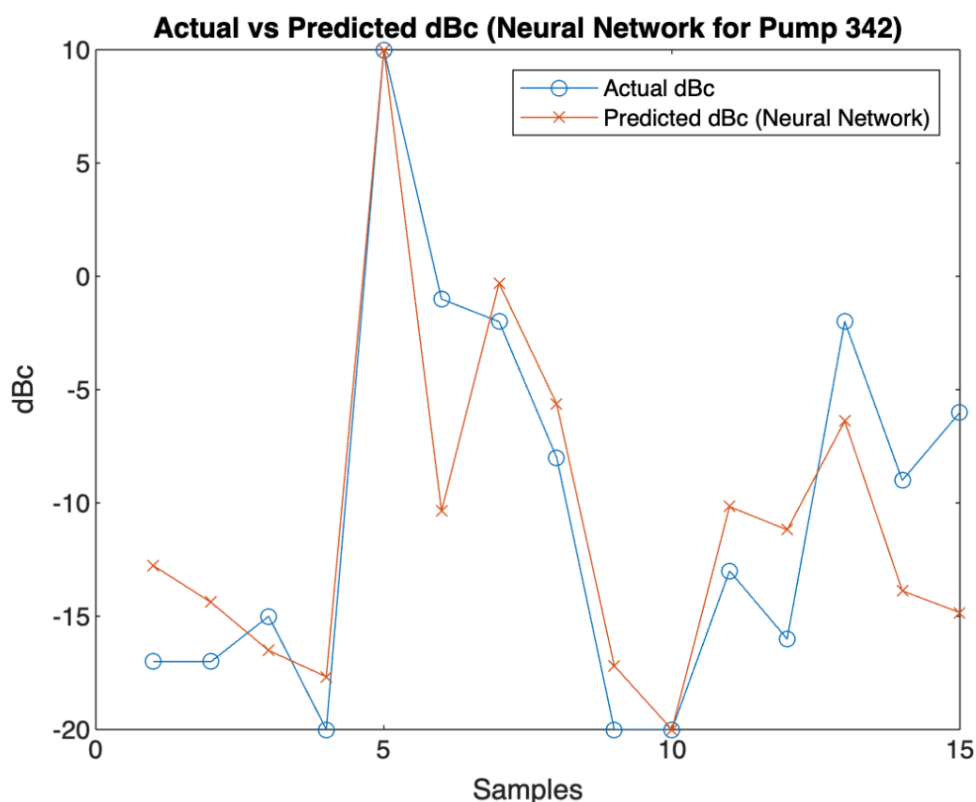
Нәтижелер:

342 сорғыға арналған нейрондық желі келесі нәтижелерді көрсетті:

R^2 (анықтау коэффициенті): 0.7365

RMS (RMS қатесі): 4.3874

Бұл нәтижелер модель деректердің шамамен 73% вариациясын түсіндіреді, бұл тапсырманың берілген түрі үшін қанағаттанарлық нәтиже.



4.7 Сурет – Сорғы №342 деректерінің қысқа бөлімін (15 сынама шамасында) көрсетеді. Көк шеңберлер — нақты dBc мәндері, ал қызыл кресттер — нейрондық желі болжаған dBc.

Қорытынды: 342 сорғысының діріл деректерін талдау үшін нейрондық желілерді қолдану айтарлықтай нәтиже берді және жабдықтың күйін бақылауда осы тәсілдің тиімділігін растады. Нейрондық желілерді қолданудың негізгі мақсаты мойынтірек түйіндерінің дірілінің өзгеруіндегі үлгілерді анықтау және сорғының техникалық күйін болжау болды.

Нейрондық желі моделі $R^2=0.73$ детерминация коэффициентін көрсетті, бұл оның діріл деректеріндегі өзгерістердің 73% түсіндіру қабілетін көрсетеді. Бұл дәлдік деңгейі мойынтірек түйіндерінің күйін талдауға көмектесетін және барлық әсер етуші факторларды ескеруге мүмкіндік беретін модельдің жақсы болжау қабілетін көрсетеді.

Нейрондық желіні пайдалану сызықтық және көпмүшелік регрессия сияқты негізгі әдістермен салыстырғанда оң нәтиже берді, бұл оның dBc және дірілді жеделдету сияқты әртүрлі діріл параметрлері арасындағы күрделі тәуелділіктерді анықтау қабілетінің жоғары екенін көрсетеді. Жоғары R^2 нейрондық желі 342 сорғысының күйін болжау және бақылау тапсырмалары үшін жақсы жұмыс істейтінін көрсетеді.

Нейрондық желі арқылы алынған нәтижелер мойынтірек түйіндері мен басқа сорғы элементтерінің жұмысындағы ауытқулар мен ықтимал ақауларды болжауға мүмкіндік береді. Нейрондық желі дірілдегі стандартты емес

өзгерістерді анықтай алады, бұл жабдықтың тозуын алдын ала болжауға көмектеседі.

- Мойынтірек жинағы үшін: діріл параметрлері бойынша жоғары болжау дәлдігі dBc ауытқуларды алдын ала анықтауға көмектеседі, бұл мойынтіректердің күйін тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе тозуды ерте анықтау үшін өте маңызды, өйткені мойынтіректердегі ақаулар көбінесе діріл сипаттамаларының ауытқуы арқылы көрінеді.

- Жалпы сорғы үшін: нейрондық желіні пайдалану 342 сорғыны оңтайлы жұмыс күйінде ұстауға көмектеседі. Дірілдегі өзгерістерді болжау уақтылы техникалық қызмет көрсетуге және елеулі бұзылулардың алдын алуға мүмкіндік береді, бұл пайдалану тәуекелдерін азайтады және сорғының сенімділігін арттырады.

- Сорғы жабдықтарының сенімділігі үшін: нейрондық желі моделі сорғылардың сенімділігін арттырудың тиімді құралы ретінде қызмет етеді. Ықтимал ақауларды болжау MTBF көрсеткішін арттыруға көмектеседі (ақаулар арасындағы орташа уақыт), бұл жоспардан тыс жөндеу жиілігін азайтады және жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартады.

342 сорғысының күйін талдау үшін нейрондық желіні пайдалану бұл тәсіл діріл параметрлеріндегі өзгерістерді жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік беретінін көрсетті. $R^2 = 0.73$ бар нейрондық желі моделі мойынтірек түйіндерін және жалпы сорғы күйін бақылаудың тиімді құралы болып табылады. Бұл жабдықтың сенімділігін арттыратын және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтатын ықтимал мәселелерді ерте анықтауға көмектеседі.

4.3 Математикалық модель: 341 және 342 сорғылардың техникалық күйін бақылауға арналған математикалық модель

Осы зерттеу аясында 341 және 342 сорғылардың күйін болжау үшін машиналық оқыту алгоритмдері негізінде математикалық модель жасалды және жүзеге асырылды. Бұл модельдердің мақсаты – сорғы жабдықтарының техникалық жағдайын бақылау, ықтимал ақауларды уақтылы анықтау және діріл параметрлері негізінде төтенше жағдайлардың алдын алу. Атап айтқанда, дірілдің максималды жылдамдығы (VIB Speed Peak), дірілдің максималды үдеуі (VIB Accel Peak) және дыбыс қысымының деңгейі (dBm және dBc) сияқты параметрлер қарастырылады. 341 сорғы үшін кездейсоқ орман моделі, ал 342 сорғы үшін нейрондық желілерге негізделген модель тандалды.

Кездейсоқ орман әдісі – көптеген шешуші ағаштардың болжамдарын біріктіретін ансамбльдік алгоритм. Әрқайсысы ағаш деректер мен болжаушылардың жиынтығына негізделген, бұл қайта даярлау мүмкіндігін азайтады және модельдің дәлдігін арттырады. Кездейсоқ орман моделі сенімді болжамдарды қамтамасыз етеді, өйткені ол әр кіріс параметрінің әсерін ескере отырып, көптеген ағаштардың нәтижелерін орташалайды. Кездейсоқ

орман әдісі – болжау үшін көптеген шешім ағаштарын қолданатын және қайта оқытуды азайтуға көмектесетін қуатты алгоритм. Әдіс шешім ағаштарының үлкен санын (ансамблін) құруға негізделген, олардың әрқайсысы бастапқы оқыту жиынтығынан бутстреп (яғни, қайталанып таңдау) арқылы алынған таңдама бойынша құрылады. Шешім ағаштарын құрудың классикалық алгоритмдерінен айырмашылығы, бэггинг Бреймандар әдісінде әрбір ағашты құру кезінде түйіндерді бөлу сатыларында оқыту жиынтығынан кездейсоқ таңдалған белгілердің тек бекітілген саны ғана пайдаланылады және толық ағаш (қысқартусыз) құрылады, яғни ағаштың әрбір жапырағы тек бір класстың бақылауларын қамтиды.

Кездейсоқ орманның математикалық өрнегі:

Мақсатты у айнымалысы үшін кездейсоқ орманды болжау формуласы (бұл жағдайда dVc) келесідей ұсынылған:

$$\hat{y}_{341} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(x), \quad (4.1)$$

$\hat{y}_{341}$ – 341 сорғы үшін болжамды dVc мәні,

N – кездейсоқ ормандағы ағаштардың жалпы саны (біздің жағдайда $N=300$);

$T_i(x)$ -болжаушылар жиынтығына негізделген i -ші ағашты болжау нәтижесі;

X – діріл жылдамдығы, діріл үдеуі, спектр жиілігі және спектрдің маңыздылық деңгейін қамтитын кіріс жиынтығы.

Әрбір шешім ағашы $T_i(x)$ ол типтік ережелерге сәйкес құрылады:

$$T_i(x) = \begin{cases} b_1, \text{ егер } X_1 < \alpha_1 \text{ және } X_2 > \alpha_2 \\ b_2, \text{ егер } X_1 \geq \alpha_3 \text{ және } X_2 < \alpha_4 \\ \vdots \end{cases} \quad (4.2)$$

b_1, b_2 – ағаштың әртүрлі бұтақтары үшін болжау мәндері.

Әр ағаш $T_i(x)$ болжаушылардың ішкі жиынын пайдаланады және болжау шарттарын белгілейді. Мысалы:

- Егер Vib Accel Peak < 6.44, онда dVc мәнінің болжамы -11.5 болады. Бұл дегеніміз, егер тербеліс үдеуі 6.44-тен төмен болса, модель dVc мәнін -11.5 деп болжайды.
- Егер Vib Speed Peak ≥ 1.5 және Vib Accel Peak ≥ 7.5 , онда болжам dVc мәні 3.4-ке тең болады. Бұл дегеніміз, тербеліс жылдамдығы 1.5-тен жоғары және үдеуі 7.5-тен жоғары болған жағдайда, модель сәйкес dVc мәнін 3.4 деп болжайды.

Бұл ережелер модельдің әртүрлі шарттар бойынша қандай нәтижелер беретінін және нақты жағдайлар бойынша қандай мәндер күтілетінін көрсетеді.

341 сорғыға арналған кездейсоқ орман моделінің нәтижелері:

$$\hat{y}_{341} = \frac{1}{300} \sum_{i=1}^{300} T_i(x), \quad (4.3)$$

Детерминация коэффициенті (R^2) = 0.9045, бұл модельдің деректердің 90% дан астамын түсіндірудің жоғары дәлдігі мен қабілетін көрсетеді.

Орташа квадраттық қате (RMSE) = 1.9429, бұл dBc деңгейінің ауытқуын болжаудағы модельдің дәлдігін көрсетеді.

Модельді қолдану: бұл модель мойынтіректердің тозуын немесе басқа ықтимал ақауларды көрсететін ауытқуларды анықтау арқылы 341 сорғысының күйін тиімді бақылауға мүмкіндік береді. Модельдің жоғары дәлдігінің арқасында жабдықтың мінез-құлқындағы ауытқуларды болжауға және авариялық аялдамалардың алдын алу арқылы профилактикалық қызмет көрсетуді жоспарлауға болады.

342 сорғы үшін діріл параметрлері мен мақсатты айнымалы арасындағы күрделі және сызықтық емес тәуелділіктерді модельдеу қабілетіне байланысты нейрондық желі таңдалды. Нейрондық желі кірістерді түрлендіру және болжам жасау үшін бірнеше қабаттарды (кіріс, бір немесе бірнеше жасырын және шығыс) пайдаланады.

Нейрондық желінің математикалық өрнегі: жасырын қабаттағы әрбір нейрон келесі теңдеумен сипатталады:

$$z_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \cdot x_i + b_j \quad (4.4)$$

мұндағы, x_i – Кіріс параметрлері (діріл жылдамдығы, діріл үдеуі және т.б.);

ω_{ij} – Деректер бойынша оқытылатын салмақ коэффициенттері;

b_j – Нейронның ауысуы (bias);

z_j – Активтендіру функциясына берілетін кіріс параметрлерінің сызықтық тіркесімі (мысалы, ReLU).

Белсендіру функциясы, мысалы, түрінде ұсынылуы мүмкін сигмоидтар:

$$a_j = \frac{1}{1+e^{-z_j}} \quad (4.5)$$

342 сорғы үшін нейрондық желіні болжауды келесідей жазуға болады:

$$\hat{y}_{342} = \sigma(W_2 \cdot \sigma(W_1 \cdot X + B_1) + B_2) \quad (4.6)$$

мұндағы, W_1 , W_2 – бірінші және екінші қабат үшін таразы матрицалары;

B_1 , B_2 – нейрондардың ауысуы;

σ – белсендіру функциясы (мысалы, сигмоидты);

X – кіріс векторы.

342 сорғыға арналған нейрондық желі моделін орнатқаннан және оңтайландырғаннан кейін нәтижелер көрсетті:

Анықтау коэффициенті $R^2 = 0.7365$, яғни модель деректердің 73% вариациясын түсіндіреді.

Орташа квадраттық қате $RMSE=4.3874$, бұл модельдің тұрақтылығы мен қолайлы дәлдігін көрсетеді.

Модельді қолдану: нейрондық желі моделі діріл параметрлері арасындағы сызықтық емес тәуелділіктерді талдауға және қалыптан тыс ауытқуларды болжауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе күрделі діріл үлгілері бар сорғыларды бақылау үшін тиімді, мұнда қарапайым модельдер жеткілікті дәлдікті қамтамасыз етпеуі мүмкін.

4.4 Математикалық модельдерге негізделген сорғыларды пайдалану бойынша ұсыныстар

341 сорғы – кездейсоқ орман әдісі бойынша:

Мониторингтің негізгі параметрлері: Ең жоғары діріл жылдамдығы (VIB Speed Peak): кездейсоқ орман моделі бұл параметр 341 сорғысының күйіне әсер ететін негізгі болжаушы екенін көрсетті. Діріл жылдамдығының ең жоғары мәнін ≤ 6.5 мм/с шегінде ұстап тұру ұсынылады, егер бұл деңгейден асып кетсе, мойынтірек жинағының тозуы және сыну қаупінің жоғарылауы мүмкін.

Дірілді жеделдету үдеуі (VIB Accel Peak): дірілді жеделдету мәндері 6.44 м/с^2 -тан асатын мойынтіректерде ақаулардың пайда болу ықтималдығы жоғарылайды. Бұл параметрді үнемі бақылау ауытқуларды ерте кезеңдерде анықтауға көмектеседі. Діріл үдеткіші $\geq 6.0 \text{ м/с}^2$ деңгейіне дейін көтерілген кезде жабдықты тексеру және қызмет көрсету ұсынылады.

Техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру: R^2 анықтау коэффициенті: $R^2 = 0.90$ моделі болжамдардың жоғары дәлдігін растайды. Бұл профилактикалық күтімді стандартты бақылау әдістеріне қарағанда 25-30% аз аралықпен жоспарлауға мүмкіндік береді, бұл техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады.

RMSE қатесі : $RMSE=1.94$ көмегімен модельдің дәлдік көрсеткіштері діріл мониторингін теңшеу үшін нұсқаулық бола алатындай жоғары, бұл ең аз ауытқулармен тозуды болжауға мүмкіндік береді.

Мерзімді бақылау және жедел ден қою:

341 сорғы үшін ағымдағы күй деректері мен болжамдарды оңтайлы тексеру кезеңін таңдау үшін пайдалануға болады — тұрақты жұмыс жағдайында шамамен 3-4 апта. Бұл жиі техникалық қызмет көрсету қажеттілігін азайтады.

Діріл үдеуінің немесе діріл жылдамдығының қалыптыдан 1.5 есе артуы кезінде дереу техникалық тексеру және мойынтіректерді ауыстыру

ұсынылады, өйткені модель келесі 2-4 апта ішінде істен шығудың ықтимал қаупін көрсетеді.

342 сорғы нейрондық желі әдісі бойынша :

Мониторингтің негізгі параметрлері: Дірілдің ең жоғары жылдамдығы және дірілдің үдеуі: нейрондық желі бұл параметрлерді, әсіресе $R^2 = 0.73$ дәлдігімен болжанатын dBc (дыбыстық қысым деңгейі) бақылаудың маңыздылығын растады. dBc-ді қалыпты деңгейде ұстау мойынтіректердің сыну мүмкіндігін азайтады.

Діріл шегі (dBc): dBc мәні 11.5 – 12.0 дейін көтерілген кезде жабдықты дереу тексеру ұсынылады, өйткені желі деректері зақымдану қаупінің жоғарылауын көрсетеді. Бұл шектен асып кетпеу маңызды, себебі бұл мойынтіректердің тозуын күрт жеделдетуге және жоспарланбаған тоқтауға әкелуі мүмкін.

Тоқтап қалу ықтималдығын азайту:

R^2 және RMSE анықтау коэффициенті: 0.73 деңгейіндегі R^2 және rmse 4.39 нейрондық желі күрделі жұмыс режимдерінде 342 сорғысына тән сызықтық емес тәуелділіктерді бақылауға қабілетті екенін көрсетеді. Сәтсіздіктерді дәлірек болжау және профилактикалық күтімді жоспарлау үшін нейрондық желілерді пайдалану ұсынылады.

Қызмет көрсету аралықтарын оңтайландыру: тексерулер арасындағы кезеңді белгіленген стандарттармен салыстырғанда 15% - ға арттыруға болады, өйткені модель ауытқуларды дәл болжауға мүмкіндік береді. Бұл сонымен қатар техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

Жүктеменің жоғарылауын үнемі бақылау: нейрондық желі 342 сорғының жүктеме мен қысымның жоғарылауы сияқты жұмыс жағдайларының өзгеруіне сезімтал екенін көрсетеді. Максималды қуатта жұмыс істегенде әр 1-2 апта сайын бақылау ұсынылады.

Ауытқуларға жауап беру: dBc-дегі ауытқуларды қалыпты деңгейден 20% - дан жоғары байқаған кезде, модель келесі 3 апта ішінде ақаулардың пайда болуын болжайды, бұл жедел қызмет көрсетуді қажет етеді.

Қорытынды және сорғыны эксплуатациялау бойынша ұсыныс:

341 сорғы үшін мәндерді критикалық деңгейге көтерген кезде жедел тексерумен, ең жоғары діріл жылдамдығы мен дірілді жеделдетуді қоса алғанда, негізгі параметрлерді мерзімді бақылаумен жұмысты жалғастыру ұсынылады.

342 сорғы үшін жүктемелердің өзгеруі және жиі dBc шыңдары үшін күтпеген бұзылулардың алдын алу үшін нейрондық желі деректері негізінде профилактикалық жұмыстарды жоспарлаған жөн.

Машиналық оқыту әдістеріне негізделген бұл нұсқаулар сорғылардың жұмыс параметрлерін жақсарту және техникалық қызмет көрсету тиімділігін арттыру арқылы сенімділіктің оңтайлы деңгейін сақтауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы зерттеу аясында сорғы паркінің сенімділігін арттыру үшін екі өзара толықтыратын бағыт – конструктивтік (фибробетоннан жасалған композициялық корпус) және эксплуатациялық (вибромониторинг, машиналық оқыту) тәсілдер – бірлесіп қарастырылды.

Конструктивтік жаңарту бойынша фибробетоннан жасалған композиттік корпус салмағы 30 % төмендеп, оның коррозияға төзімділігі мен қызмет мерзімі артты, соның арқасында металл корпусқа қарағанда ұзағырақ және сенімді қызмет етеді.

Жүргізілген зерттеу барысында діріл сипаттамаларын талдау негізінде сорғы жабдықтарының техникалық жай-күйіне мониторинг жүргізу әдістері әзірленіп, енгізілді. Зерттеу нысаны сорғы паркіндегі екі сорғы болды (341 және 342), олар үшін vibroexpert II жүйесін қолдана отырып, діріл жылдамдығы, діріл үдеуі және басқа да негізгі параметрлер туралы мәліметтер жиналды. Сорғылардың күйін талдау және болжау үшін машиналық оқыту әдістері, атап айтқанда кездейсоқ орман және нейрондық желілер қолданылды, бұл болжамды модельдерді құруға мүмкіндік берді.

341 сорғы үшін R -squared анықтау коэффициенті 90% деңгейінде жоғары болжау дәлдігін көрсететін кездейсоқ орман әдісі таңдалды. Бұл нәтиже сорғы жабдығын бақылау тапсырмалары үшін кездейсоқ орман әдісінің жоғары тиімділігін және оның мойынтіректер мен импеллерлер сияқты негізгі компоненттердің тозуын дәл болжау қабілетін көрсетеді. Модель жабдықтың күйіне қатты әсер ететін діріл жылдамдығы мен діріл үдеуі сияқты ең маңызды болжаушыларды анықтауға мүмкіндік берді.

342 сорғы үшін R^2 детерминация коэффициенті шамамен 73% болатын қанағаттанарлық нәтиже көрсеткен нейрондық желі әдісі қолданылды. Бұл көрсеткіш 341 сорғы үшін кездейсоқ орман әдісінен төмен болғанымен, нейрондық желілер 342 сорғының күйін барабар модельдеу және болжау мүмкіндігін көрсетті, бұл осы әдістің басқа діріл сипаттамалары бар жабдыққа қолданылуы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

Тұтастай алғанда, зерттеу нәтижелері машиналық оқыту әдістері мен фибробетон композиттік корпусарды қолдану сорғы жабдығының жай-күйін дәл болжауға және ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл тәсілдер жабдықтың сенімділігін арттырып, күтпеген тоқтауларды едәуір азайтады және техникалық қызмет көрсету шығындарын оңтайландырады, осылайша өндіріс процестерінің үздіксіздігін қамтамасыз етуге маңызды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Науменко, А. П. Теория и методы мониторинга и диагностики : [учеб. пособие]. – Омск, 2018.
- 2 Beebe, R. S. Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. – Oxford : Elsevier Science, 2004. – P. 1–20.
- 3 Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Staub, S. A Comprehensive Review of Machine Learning Techniques for Condition-Based Maintenance // International Journal of Prognostics and Health Management. – 2019. – Vol. 10, No. 2. – P. 1–21.
- 4 Петрухин, В.В., Петрухин, С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учебное пособие. – Москва: Инфра-инженерия, 2010. – 176с.
- 5 Нестерук, Д. А., Вавилов, В. П. Тепловой контроль и диагностика : учеб. пособие. – Томск, 2007.
- 6 Idhammar, T. Condition Monitoring Standards. – Vol. 1. – Raleigh : IDCON, Inc., 2001.
- 7 Чистяков, С. П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра РАН. – 2013.
- 8 Костюков, В. Н., Науменко, А. П. Основы виброакустической диагностики и мониторинга машин : учеб. пособие. – Омск, 2011.
- 9 Капранов, Б. И., Коротков, М. М. Акустические методы контроля и диагностики. – Томск, 2002.
- 10 Доррер, М. Г. Моделирование нейронных сетей в системе MATLAB. – Красноярск, 2021.
- 11 Антонов, А. А. Визуально-измерительный контроль (ВИК). – Москва, 2016.
- 12 Латышенко, К. П., Чуриков, А. А. Неразрушающий контроль : Ч. 1. – Тамбов, 2016.
- 13 Колобов, А. Б. Вибродиагностика: теория и практика : учеб. пособие. – 2-е изд. – Москва ; Вологда : Инфра-инженерия, 2024.
- 14 Дьяконов, В. П. MATLAB: полный самоучитель. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
- 15 Левин, В. Е., Патрикеев, Л. Н. Вибродиагностика машин и механизмов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – 106 с.
- 16 Гаврилин А. Н., Мойзес Б. Б. Диагностика технологических систем. — Томск: Издательство ТПУ, 2014. – 128 с.
- 17 Левин В. Е., Патрикеев Л. Н. Вибродиагностика машин и механизмов. — Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. — 106 с.
- 18 Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль.—М.:ИД Спектр,2009.-544с.
- 19 Николаева С. Г. Нейронные сети. Реализация в Matlab: учебное пособие /— Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 92 с.
- 20 Актуальные проблемы метода акустической эмиссии (АПМАЭ-2018) : сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участ. (Тольятти, 28 мая – 1 июня 2018 г.) / отв. ред. Д. Л. Мерсон, А. Ю. Виноградов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 181 с.



<https://doi.org/10.51301/SIC.2024.i1.66>

Monitoring of technical condition of pumping fleet to improve reliability parameters in KazMinerals conditions

A. Yerik*, D. Baskanbayeva

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author: alisheryerik@mail.ru

Abstract. In modern industry, where continuity and durability of technological processes, efficient resource management and ensuring high safety standards become the top priority, the role of pumping fleet and pumping equipment is very high. These process components not only serve as a means of moving liquids and gases, but are also an integral part of the infrastructure that ensures the continuity and efficiency of production operations.

Production and plant efficiency are directly dependent on the reliability of pumping equipment. Pump failures can lead to significant financial losses and reduced production capacity. Monitoring the technical condition of the pump fleet becomes an integral element of the strategy to ensure the continuity of the production process and improve reliability parameters.

In industrial environments characterized by difficult climatic conditions, such as low temperatures, high humidity and dust, as well as high impurity content in the working medium, pumping equipment is subject to increased wear and premature failure. This leads to reduced productivity, emergencies and additional repair and operating costs. Monitoring and monitoring of technical condition of pumping fleet and equipment and diagnostics help to prevent situations when pumping equipment may fail, help to maintain and provide uninterrupted and safe operation of equipment and increase reliability parameters.

Keywords: *technical condition monitoring, diagnostics, pump fleet, pump, reliability parameter.*

1. Кіріспе

Қазіргі заманғы өндірістерде сорғы жабдықтары мен сорғы паркі маңызды стратегиялық нысандардың бірі болып табылады. Сорғы паркінің жоспарланбаған немесе апаттық тоқтауы бүкіл өндіріс процесінің тиімділігіне теріс әсер етуі мүмкін.

Сорғы жабдықтары сорғының апаттық істен шығуынан туындаған істен шығумен және тоқтаумен сипатталады. Мұндай тоқтату тек істен шығуға әкелетін бөліктің зақымдалуынан ғана емес, сонымен қатар сорғының уақтылы тоқтамауынан туындаған бірқатар басқа бұзылулармен бірге жүреді. Мұндай аялдамалар жөндеу жұмыстарының ұлғаюына, машинаның жалпы қызмет ету мерзімінің қысқаруына, пайдалану жағдайында қалпына келтіру мүмкін болмайтын базалық беттердің бұзылуына әкеледі [1]. Жалпы мұндай

© 2024. A. Yerik, D. Baskanbayeva

<https://conference.satbayev.university/>. Published by Satbayev University

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

А қосымшаның жалғасы

A. Yerik et al. (2024). Satbayev International Conference, 1(1), 488-493

жоспардан тыс тоқтап қалудың алдын алу үшін жабдыққа техникалық жай-күй мониторингі пайдаланылады және жабдықтың техникалық жағдайын бақылау жүзеге асырылады.

Мақалада өнеркәсіптік кәсіпорындардың маңызды бөлігі болып табылатын сорғы паркінің сенімді жұмысын қамтамасыз ету мәселесі қарастырылады. Сорғы паркінің техникалық жағдайын талдау және бақылау ұсынысы қарастырылуда. Өндірістің тиімділігі мен қауіпсіздігі сорғылардың үздіксіз жұмысына байланысты, сондықтан олардың техникалық жағдайына тиісті назар аудару қажет. Сондай-ақ, оның сенімділік параметрлерін арттыруға бағытталған сорғы паркінің техникалық жағдайын бақылаудың заманауи әдістері мен технологияларына шолу жасалады.

2. Өзектілігі

Соңғы жылдары өнеркәсіпте апаттылықты азайтуға және жабдықты жөндеу мен пайдалану шығындарын азайтуға, оның қызмет ету мерзімін ұзартуға арналған техникалық жай-күй мониторингі бақылау жүйелері белсенді түрде енгізілуде [2].

Сорғы жабдықтарының техникалық жай-күйінің мониторингі ақауларды уақтылы анықтауға және жабдықтың істен шығуына әкелмес бұрын жөндеу жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл сорғы жабдығының сенімділігі мен тиімділігін арттыруға, сондай-ақ жабдықтың жөндеу аралық кезеңін азайтуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жөндеу және пайдалану шығындарын азайтады. Уақтылы диагноз қоймау және сорғылардың күйін бақылаудың тиімсіз әдісі апатты жағдайларға әкелуі мүмкін, бұл бүкіл зауыттың толық тоқтап қалуына әкелуі мүмкін.

Күй мониторингі – бұл айтарлықтай өзгерістер дамып келе жатқан істен шығуды көрсететін жабдықтың күйін бақылау процесі. Бұл техникалық қызмет көрсетуді жоспарлауға немесе сәтсіздікке ұшырамас бұрын оның салдарын болдырмау үшін басқа әрекеттерді жасауға мүмкіндік береді. Техникалық жай-күй мониторингінің негізгі мақсаты – кәсіпорынның өндірістік қуатын арттыру және процесті тиімдірек ету [3]. Сондай-ақ, бұл өнімділікті бағалауға және жабдықтың істен шығуын болжауға бағытталған шаралар кешені. Ол жабдықтың денсаулығы мен өнімділігі туралы ақпаратқа қол жеткізуге мүмкіндік беретін әртүрлі әдістер мен параметрлерді қамтиды.

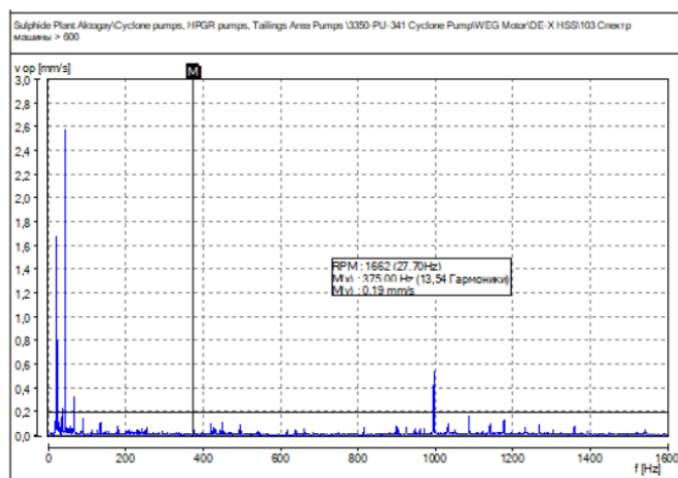
Төменде сорғы жабдықтарының күйін бақылаудың бірнеше кең таралған әдістері келтірілген:

1. Дірілді бақылау:

- Дірілді талдау айналмалы машиналардың күйін бақылау үшін кеңінен қолданылады. Діріл сипаттамаларын, жиіліктерін және амплитудасын ескере отырып, теңгерімсіздіктерді, орын ауыстыруларды, мойынтіректердің ақауларын және басқа да ықтимал мәселелерді анықтауға және жабдықтың сенімділік параметрін арттыруға болады.

А қосымшаның жалғасы

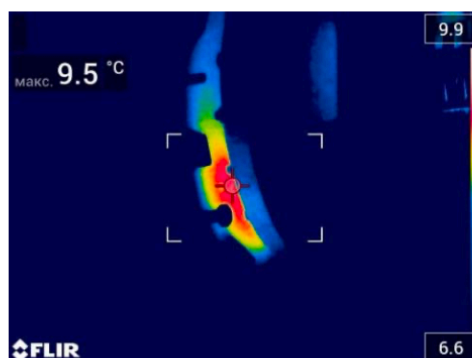
A. Yerik et al. (2024). Satbayev International Conference, 1(1), 488-493



Сурет 1. Ортадантепкіш сораптың діріл сипаттамасы

2. Температураны бақылау:

- Температура бақылаудың негізгі параметрі болып табылады. Температураны бақылау температураның ауытқуын анықтауға мүмкіндік береді, бұл қызып кетуді, салқындату жүйесінің істен шығудың алдын алады.



Сурет 2. Ортадантепкіш сораптың температурасын бақылау

3. Қысымды талдау:

- Қысымның өзгеруі гидравликалық немесе пневматикалық жүйелердегі проблемаларды көрсетуі мүмкін. Қысымды жүйелі бақылау ағып кетуді, бітелуді, клапан ақауларын немесе шамадан тыс жүктеме жағдайларын анықтауға көмектеседі.

Сорғының техникалық жай-күйіне мониторинг жасау діріл мен температураның өзгеруін бақылай алады. Бұл ықтимал ақауларды ерте анықтауға мүмкіндік береді, осылайша техникалық қызмет көрсету ақаулар немесе жоспарланбаған үзілістер болудың алдын алып оларды ертерек жөндеуге болады. Сондай-ақ, жабдықтың күйіне мониторинг жасау жоспарланбаған тоқтап қалуды болдырмауға мүмкіндік береді. Дірілді терең талдау,

температура көрсеткіштері, акустикалық талдау арқылы жабдық күйінің кез келген өзгерістеріне жылдам жауап беруге мүмкіндік береді.

Сорғылар мен басқа да өндірістік жабдықтардың күйін бақылау айтарлықтай экономиялық үнемдеулерге әкелуі мүмкін. Мысалы, жағдайды бақылау сорғылардың ұзағырақ жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, апаттық жөндеуді азайтады, күтпеген өндіріс уақытын жоғалтуды болдырмайды және қауіпсіздікті арттырады. Сонымен қатар, нысандар жиі қажетсіз жоспарлы техникалық қызмет көрсетуді жоя алады және оның орнына уақыт пен бюджетті шынымен қажет жабдыққа бағыттай алады.

Сорғылар үшін аппараттық модельдерді бақылау белгілі ақауларды табуға және осы ақауларға мониторинг жасау және бақылайтын алгоритмдер мен үлгілерді реттеуге көмектеседі. Діріл модельдері белгілі және орнатылған және оларды бақылау оңай, сондықтан ақаулық пен оның ауырлығын анықтау және онымен не істеу керектігін және мәселені қаншалықты тез арада шешу керектігін білу оңай [4].

Сорғы паркінің техникалық жағдайына мониторинг жасау артықшылықтары:

1. Мерзімінен бұрын бас тартудың алдын алу:
 - Ақаулықтарды ерте анықтау жабдықтың мерзімінен бұрын істен шығуын болдырмау үшін шаралар қабылдауға мүмкіндік береді.
2. Техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру:
 - Нақты деректерге негізделген жоспарлы қызмет көрсету шығындарды азайтады және сорғылардың тиімділігі мен сенімділігін арттырады.
3. Жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту:
 - Техникалық жағдайдағы өзгерістерге уақтылы жауап беру сорғылардың қызмет ету мерзімін ұзартуға ықпал етеді.
4. Тоқтап қалу қаупін азайту:
 - Алдын ала ескерту тоқтап қалуды азайтуға және жабдықтың үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

4. Қорытынды

Сорғы паркінің техникалық жағдайын бақылау және мониторинг жасау сенімділік параметрлерін жақсартуды қамтамасыз ететін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Заманауи мониторинг және диагностика жүйелерін енгізу, сондай-ақ мониторинг жүйесін талдау жоспарланбаған тоқтап қалу қаупін азайтуға және жөндеу шығындарын азайту, сондай-ақ жабдықтың сенімділігі мен жұмыс тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Уақтылы және дұрыс диагностика, сондай-ақ сорғы паркінің техникалық жағдайын тиімді пайдалану мониторингі жабдықтың жай-күйі туралы ескертіп қана қоймай, жабдықтың сенімділік параметрлерін арттыруға көмектеседі.

References / Әдебиеттер

- [1] А.Ф.Хайдарова, П. А. Неклюдова Сорғылардың техникалық жағдайын диагностикалау // "Инновациялық ғылым" 2017
- [2] В.Е. Погорелкин., А. н. Горшков // "Мұнай-газ аумағы" 2008
- [3] John Ditter. Condition Monitoring //PCC Oktoberfest 2015– WAGO Corporation
- [4] <https://blog.pruftechnik.com/condition-monitoring-pilot-pumps/>

КазМинералс жағдайында сенімділік параметрлерін арттыру үшін сорғы паркінің техникалық жай-күйінің мониторингі

Ә. Ерік*, Д. Басқанбаева

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

**Корреспонденция үшін автор: alisheryerik@mail.ru*

Аңдатпа. Технологиялық процестердің үздіксіздігі мен ұзақ мерзімділігі, ресурстарды тиімді басқару және қауіпсіздіктің жоғары стандарттарын қамтамасыз ету басты басымдыққа айналатын қазіргі заманғы өнеркәсіпте сорғы паркі мен сорғы жабдықтарының рөлі өте жоғары. Бұл технологиялық компоненттер сұйықтықтар мен газдарды жылжыту құралы ретінде ғана емес, сонымен қатар өндіріс операцияларының үздіксіздігі мен тиімділігін қамтамасыз ететін инфрақұрылымның ажырамас бөлігі болып табылады.

Өндіріс пен зауыттың тиімділігі сорғы жабдықтарының сенімділігіне тікелей байланысты. Сорғылардың жұмыс кезіндегі үзілістері айтарлықтай қаржылық шығындарға және өндіріс қуатының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сорғы паркінің техникалық жағдайын бақылау өндіру процесінің үздіксіздігін қамтамасыз ету және сенімділік параметрлерін арттыру стратегиясының ажырамас элементіне айналады.

Төмен температура, жоғары ылғалдылық және шаңдану сияқты күрделі климаттық жағдайлармен және жұмыс ортасындағы қоспалардың жоғары болуымен сипатталатын өндіріс жағдайында сорғы жабдықтары тозудың жоғарылауына және мерзімінен бұрын істен шығуға бейім. Бұл өнімділіктің төмендеуіне, төтенше жағдайларға және жабдықты жөндеу мен пайдалануға қосымша шығындарға әкеледі. Сорғы паркі мен жабдықтарының техникалық жай-күй мониторингі мен бақылау және диагностика сорғы жабдықтары істен шығуы мүмкін жағдайлардың алдын алуға көмектеседі және жабдықтың үздіксіз және қауіпсіз жұмысын сақтауға және қамтамасыз етуге көмектеседі және сенімділік параметрлерін арттырады.

Негізгі сөздер: техникалық жай-күй мониторингі, диагностика, сорғы паркі, сорғы, сенімділік параметрі.

Мониторинг технического состояния насосного парка для повышения параметров надежности в условиях КазМинералс

А. Ерік*, Д. Басқанбаева

Satbayev University, Алматы, Казахстан

**Автор для корреспонденции: alisheryerik@mail.ru*

Аннотация. В современной промышленности, где непрерывность и долговечность технологических процессов, эффективное управление ресурсами и обеспечение высоких стандартов безопасности становятся главным приоритетом, роль насосного парка и

А қосымшаның жалғасы

A. Yerik et al. (2024). Satbayev International Conference, 1(1), 488-493

насосного оборудования очень высока. Эти технологические компоненты не только служат средством перемещения жидкостей и газов, но и являются неотъемлемой частью инфраструктуры, обеспечивающей непрерывность и эффективность производственных операций.

Эффективность производства и завода напрямую зависит от надежности насосного оборудования. Перебои в работе насосов могут привести к значительным финансовым потерям и снижению производственных мощностей. Контроль технического состояния насосного парка становится неотъемлемым элементом стратегии обеспечения непрерывности производственного процесса и повышения параметров надежности.

В производственных условиях, характеризующихся сложными климатическими условиями, такими как низкая температура, высокая влажность и запыленность, а также высоким содержанием примесей в рабочей среде, насосное оборудование подвержено повышенному износу и преждевременному выходу из строя. Это приводит к снижению производительности, чрезвычайным ситуациям и дополнительным расходам на ремонт и эксплуатацию оборудования. Мониторинг и мониторинг технического состояния насосного парка и оборудования, и диагностика помогают предотвратить ситуации, когда насосное оборудование может выйти из строя, помогают поддерживать и обеспечивать бесперебойную и безопасную работу оборудования и повышают параметры надежности.

Ключевые слова: мониторинг технического состояния, диагностика, насосный парк, насос, параметр надежности.

*Д. Ж. Басқанбаева¹, Қ. К. Елемесов², Ә. Қ. Ерік³

Сәтбаев университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>³ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0802-8470>*e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university**СЕНІМДІЛІК ПАРАМЕТРЛЕРІН АРТТЫРУ ҮШІН СОҒҒЫ ПАРКІНІҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІНІҢ МОНИТОРИНГІ**

Бұл мақалада өндірістік кәсіпорын жағдайында қолданылатын соғғы паркіндегі соғғылардың техникалық жай-күйін бақылау және болжау үшін машиналық оқытудың заманауи әдістерін әзірлеу және қолдану қарастырылған. Зерттеу нысаны – Warman MCR үлгісінің көлденең ортадан тепкіш иламды соғғылары, олар өндірістік жағдайда қатты бөлшектері бар абразивті суспензияларды үздіксіз айдауға қолданылады. Бұл соғғылар бөлшектердің жоғары концентрациясы бар сұйықтықтарды өңдеуге қолайлы, өйткені олар жоғары сенімділік пен тозуға төзімділікке ие. Олар жоғары механикалық жүктеме жағдайында жұмыс істейді, бұл олардың техникалық жай-күйін үнемі бақылауды талап етеді. Зерттеу аясында соғғы паркiнiң құрамында үздіксіз жұмыс істейтін осындай екі ортадан тепкіш соғғылардың мойынтіректерінің дірілдік сипаттамалары 1,5 жыл бойы әр 3 апта сайын өлшеніп, талданды. Мониторинг өндірістік ортада, соғғылардың қалыпты жұмыс режимінде жүргізілді.

Дірілдік параметрлер VibroExpert II жүйесі арқылы акселометр датчигі көмегімен тіркеліп, діріл жылдамдығы және діріл үдеуі бойынша максималды, «пик-пик» және орташа квадраттық мәндер анықталды. Сондай-ақ, dVn және dVc механикалық және жалпы дыбыстық қысым деңгейлері өлшенді. Деректер matlab жүйесіне жүктеліп өңделді. Зерттеу барысында 1-ші соғғыға бэзгинг Брейман әдісі қолданылды, бэзгинг Брейман әдісі соғғы үшін жоғарғы дәлдікті көрсетті, бұл діріл деректеріндегі вариацияның 90 % – на дейін түсіндірді, яғни =0.9045, бұл компоненттердің ықтимал сынуы мен тозуын болжауға мүмкіндік берді. Осы әдісте 300 шешім ағашы пайдаланылды, әрқайсысы Бутстрэп әдісі бойынша жеке жиынтықтармен оқытылып, нәтижелер ортақ ансамбльде біріктірілді. 2-ші соғғы үшін =0.7365 нәтиже көрсеткен нейрондық желілер қолданылды, ол діріл сипаттамаларында айтарлықтай ауытқуларды анықтауға мүмкіндік берді. Мұнда бір жасырын қабатты (10 нейроннан тұратын) нейрондық желі пайдаланылғанымен, модельге L2-регуляризация қосылды. Бұл тәсіл нейрондардың салмақ коэффициенттерінің шамадан тыс үлкейіп кетуіне жол бермей, модельдің «артық» үйренуін (overfitting) азайтады және жалпылау қабілетін жақсартады. Әдістердің әрқайсысы үшін математикалық модель ұсынылған, бұл соғғы жабдықтарының сенімділігі мен беріктігін арттыру үшін осы әдістерді қолдану мүмкіндігін растайды. Зерттеу нәтижелері

сорғы жабдығын бақылау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану оның жай-күйі туралы болжамдардың дәлдігін айтарлықтай жақсартып алатынын көрсетті.

Кілтті сөздер: мониторинг, сорғы паркі, машиналық оқыту, дірілді талдау, сенімділік параметрі, бэггинг Брейман әдісі, нейрондық желі әдісі.

Кіріспе

Жабдықтың сенімділігі деп объектінің қарастырылып отырған кезең ішінде оның өнімділік көрсеткіштерін белгіленген шектерде сақтай отырып, белгілі бір функцияларды орындау қасиеті түсініледі. пайдаланудың, техникалық қызмет көрсетудің, жөндеудің, сақтаудың және тасымалдаудың белгілі бір жағдайларындағы уақыт кезеңі немесе қажетті жұмыс уақыты [1,б.14]. Жабдықтың жай-күйін бақылау – бұл тозу белгілерін анықтау, ақаулардың себептерін диагностикалау және оны қанша уақыт қауіпсіз немесе үнемді пайдалануға болатынын болжау үшін операциялық актив бақыланатын және алынған деректер талданатын техникалық қызмет көрсетуді тексеру түрі.[2,б.1]. Жабдықтың техникалық жай-күйіне негізделген мониторинг жабдықтың сенімді жұмысын қамтамасыз ету және пайдалану мерзімін ұзарту үшін маңызды міндет болып табылады. Жабдықтың күйге негізделген техникалық қызмет көрсетуі (CBM) – бұл жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және оның жұмыс істеуін қамтамасыз етуге бағытталған техникалық қызмет көрсету стратегиясы [3, б. 1].

Сорғы жүйелері, әсіресе үздіксіз жұмыс істейтін сорғылар, жоғары жүктемелерге ұшырайды және диагностика кезінде ерекше назар аударуды талап етеді. Диагностиканың ең тиімді әдістерінің бірі – олардың дамуының ерте кезеңдеріндегі ақауларды анықтауға мүмкіндік беретін дірілді талдау болып табылады. Бұл әдісте ақаудың даму дәрежесінің критерийлері нақты механизмге сәйкес келетін тиісті стандартты діріл деңгейлеріне толығымен бағытталған. Діріл жалпы қабылданған нормадан асатын механизм ақаулы болып саналады [4, б. 12].

Дегенмен, дәстүрлі талдау әдістері дәлдік пен тиімділікпен шектелуі мүмкін. Бэггинг Брейман әдісі (Random forests) және нейрондық желілер сияқты заманауи машиналық оқыту технологияларын біріктіру диагностиканың дәлдігі мен жылдамдығын айтарлықтай жақсартады. Бұл жұмыс осы әдістерді екі сорғының діріл деректерін талдауға, олардың жай-күйінің болжамын жақсартуға және істен шығу қаупін азайтуға қолдануды қарастырады. Зерттеу қорытындысында алынған нәтижелер өндірістік кәсіпорындарда жоспарлау мен профилактикалық жөндеу жүйесін оңтайландыру тұрғысынан практикалық құндылыққа ие.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу жүргізу үшін үздіксіз жұмыс істейтін ортадантепкіш сорғының DE (drive end – жетек жағынан) және NDE (non drive end – жетекке қарама-қарсы жағынан) мойынтіректері таңдалды. Жалпы, бұл зерттеу Wapman маркасының екі үлгісіне – MCR сорғыларына – қолданылды. Әр сорғының DE (жетек жағы) және NDE (жетекке қарама-қарсы жағы) мойынтіректері бойынша деректер 2023 жылдың шілдесінен 2024 жылдың желтоқсанына дейін (1,5 жыл) жиналды. Өлшеулер әр 3 апта сайын жүргізіліп, шамамен 24–25 рет деректер жиынтығы алынды. Діріл

туралы деректер vibroexpert II аппараттық құралының көмегімен жиналды. Сорғыларды бақылау кезінде жабдықтың техникалық күйін диагностикалау мен болжауда шешуші рөл атқаратын ең жоғарғы діріл жылдамдығы, ең жоғарғы діріл үдеуі, dBm және dBc – дыбыстық қысым деңгейлері сияқты маңызды діріл параметрлері жиналды. Сорғылардың күйін бақылау үшін келесі діріл параметрлері жинақталды:

- Vib_Speed_Peak (мм/с) – ең жоғарғы діріл жылдамдығы;
- Vib_Accel_Peak (м/с²) – ең жоғарғы діріл үдеуі;
- Vib_Speed_Pk_Pk(мм/с) — «пик-пик» дірілінің амплитудалық жылдамдығы;
- Vib_Accel_Pk_Pk (м/с²) — «пик-пик» дірілінің амплитудалық үдеуі;
- Vib_Speed_RMS (мм/с) — дірілдің орташа квадраттық жылдамдығы;
- Vib_Accel_RMS (м/с²) — дірілдің орташа квадраттық үдеуі;
- dBm және dBc – дыбыстық қысым деңгейлері (механикалық және жалпы).

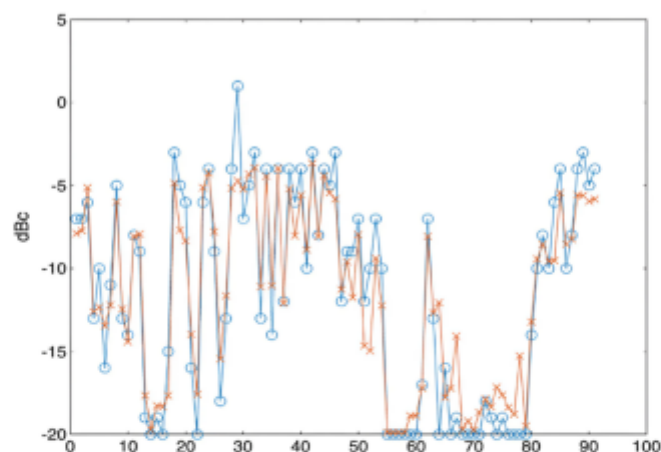
Барлық жиналған деректер MATLAB ортада алдын ала тазартылып, өңдеуден өтті (шу мен толық емес өлшемдер ескерілді). Осыдан кейін сорғыдағы діріл сипаттамаларын болжау үшін екі түрлі машиналық оқыту әдісі қолданылды: бэггинг Брейман (Random Forest) және нейрондық желі. Бұл әдістер модельдің дәлдігін арттырып, ықтимал ақауларды ертерек анықтауға септігін тигізеді. 1-ші сорғы үшін бэггинг Брейман әдісі: сорғы үшін DE және NDE мойынтіректерінен жиналған діріл деректерін қолданатын бэггинг Брейман моделі қолданылды. Негізгі мақсат діріл параметрлерінің өзгеруін болжау және ықтимал ақаулардың алдын алу және оның қызмет ету мерзімін ұзарту үшін сорғының техникалық күйін бағалау болды. Алдымен сорғы деректері жүктелді, кейін DE және NDE мойынтіректерінің діріл деректері біріктірілді. Деректер жетіспейтін мәндерден тазартылып, әрі қарай модельдеу үшін маңызды болжаушы айнымалылар (predictors) және мақсатты айнымалы (target variable) таңдалды. Қолданылған модель 300 шешім ағашынан тұратын Random Forest моделіне негізделді. Әрбір ағаш бастапқы оқыту жиынтығынан бутстреп (қайталанып таңдау) әдісі арқылы алынған таңдама бойынша құрылды. Түйіндерді бөлу кезінде оқыту жиынтығынан кездейсоқ таңдалған айнымалылардың тек белгілі бір саны ғана пайдаланылды. Шешім ағаштары толықтай өсуіне мүмкіндік алды (қысқартусыз), бұл олардың максималды ақпараттылығын сақтауға және модельдің дәлдігін арттыруға көмектесті. Шешім ағаштарын құрудың классикалық алгоритмдерінен айырмашылығы, бэггинг Бреймандар әдісінде әрбір ағашты құру кезінде түйіндерді бөлу сатыларында оқыту жиынтығынан кездейсоқ таңдалған белгілердің тек бекітілген саны ғана пайдаланылады және толық ағаш (қысқартусыз) құрылады, яғни ағаштың әрбір жапырағы тек бір класстың бақылауларын қамтиды.[5, б. 2].

Нәтижелер және талқылау

Модельді оқытқаннан кейін бэггинг Брейман үлгісіне негізделген болжамдар алынды, R^2 және RMSE көрсеткіштерін пайдаланып дәлдік бағаланды. Бұл көрсеткіштер модельдің діріл параметрлеріне негізделген dBc мәндерін қаншалықты жақсы болжайтынын түсінуге мүмкіндік береді. Нәтижелер: R^2 (анықтау коэффициенті) 0.9045; RMSE (орташа квадраттық қате) 1.9429. Бұл

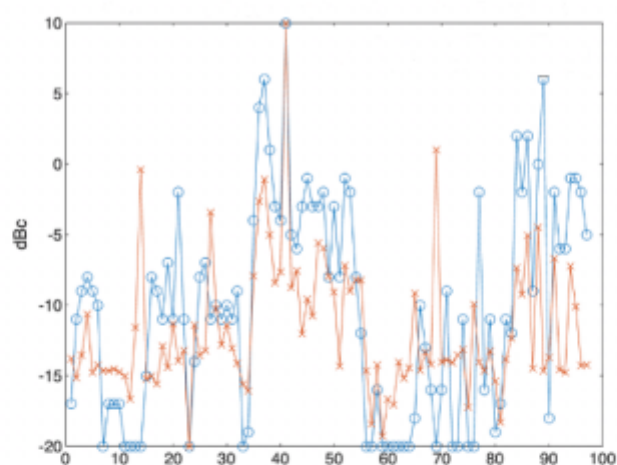
көрсеткіштер модельдің жоғары дәлдігін көрсетеді және оның діріл параметрлерін тиімді болжай алатынын дәлелдейді.

Төмендегі графикте (Сурет-1) нақты dBc мәндері мен бэгтинг Брейман моделі болжаған салыстырулар көрсетілген. Графикте бэгтинг Брейман моделі көптеген деректер нүктелері үшін dBc-ді дәл болжайтынын көруге болады.



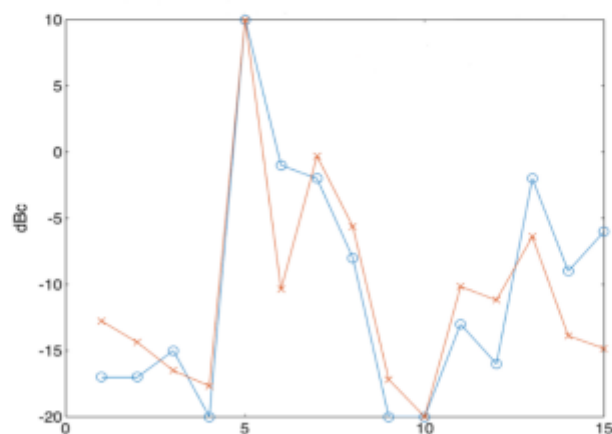
1-сурет – Нақты (көк белгі) және болжамды (қызыл белгілер) dBc мәндерді салыстыру. Нақты деректерді болжамдармен салыстыру арқылы модельдің дәлдігін көрсетеді.

2 сорғы үшін нейрондық желі әдісі: Сорғының діріл параметрлерін талдау үшін бір жасырын қабаты бар нейрондық желі қолданылды, оның құрамында 10 нейрон болды. Модельді қайта оқытудың алдын алу үшін регуляризация орнатылды, модельді оқыту аяқталғаннан кейін болжамдардың сапасын бағалау үшін нақты және болжамды мәндердің графиктері салынды.



4-сурет – Нейрондық желі моделінің нақты өлшенген dBc мәндері (көк белгі) мен болжанған мәндерінің (қызыл белгілер) айырмашылықтары және модельдің деректер трендін қаншалықты дәл болжағаны көрсетілген.

Сорғыға арналған нейрондық желі R^2 (анықтау коэффициенті) 0.7365, RMS (орташа квадраттық кате) 4.3874 нәтижелерін көрсетті. Бұл нәтижелер модель деректердің шамамен 73% вариациясын түсіндіреді, бұл тапсырманың берілген түрі үшін қанағаттанарлық нәтиже.



5-сурет – Сорғының алғашқы 15 үлгісі үшін нақты (көк белгі) және болжамды (қызыл белгі) dBc мәндерін салыстыру

Алайда, нейрондық желідегі R^2 мәні салыстырмалы түрде төмен болғандықтан, деректер сапасын жақсарту немесе желінің архитектурасын тереңдету сияқты қосымша қадамдар жасау қажет болуы мүмкін. Соған қарамастан, тіпті $R^2 \approx 0.73$ деңгейінің өзі ерте аномалияларды анықтап, жоспарланбаған тоқтап қалуды алдын алуға жеткілікті; модель діріл сипаттамаларындағы қауіпті ауытқуларды уақытылы сигналдауы арқасында қызмет көрсету шараларын дер кезінде жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Нейрондық желі әдісі сорғының техникалық жай-күйін болжау үшін тиімді құрал болып табылады, дегенмен бұл модельдің дәлдігі бэггинг Брейман әдісіне қарағанда төмен. Келешекте модельдің күрделілігін арттыру, деректерді алдын ала өңдеуді жақсарту немесе нейрондық желінің архитектурасын оңтайландыру арқылы нәтижелерді жақсартуға болады.

Математикалық модель: Модельдерді ұсыну үшін машиналық оқыту әдістері қолданылды. 1-ші сорғы үшін бэггинг Брейман моделі шешім ағаштары ансамбльдеріне негізделген, мұнда қорытынды болжам барлық ағаштардың нәтижелерін орташалау арқылы алынады:

$$\hat{y}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(x), \quad (1)$$

$\hat{y}_1$ – 1-ші сорғы үшін болжамды dBc мәні;
 N – бэггинг Бреймандағы ағаштардың жалпы саны (біздің жағдайда $N=300$);
 $T_i(x)$ – болжаушылар жиынтығына негізделген i -ші ағашты болжау нәтижесі;
 X – діріл жылдамдығы, діріл үдеуі, спектр жиілігі және спектрдің маңыздылық деңгейін қамтитын кіріс жиынтығы.

Әрбір шешім ағашы $T_i(x)$ ол типтік ережелерге сәйкес құрылады:

$$T_i(x) = \begin{cases} b_1, \text{ егер } X_1 < \alpha_1 \text{ және } X_2 > \alpha_2 \\ b_2, \text{ егер } X_1 \geq \alpha_3 \text{ және } X_2 < \alpha_4 \\ \vdots \end{cases} \quad (2)$$

b_1, b_2 – ағаштың әртүрлі бұтақтары үшін болжау мәндері.

2-ші сорғы үшін нейрондық желі әдісі бойынша:

$$\hat{y}_2 = \sigma(W_2 \cdot \sigma(W_1 \cdot X + B_1) + B_2) \quad (3)$$

W_1, W_2 – бірінші және екінші қабат үшін таразы матрицалары;

B_1, B_2 – нейрондардың ауысуы;

σ – белсендіру функциясы (мысалы, сигмоидты);

X – кіріс векторы.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің қаржылық қолдауымен № BR24992956 «Газды сығымдау үшін инновациялық жабдықтар мен технологияларды әзірлеу және құру» тақырыбы аясында жүзеге асырылды.

Қорытынды

Мақалада өнеркәсіптік жағдайда сорғы жабдықтарының техникалық жай-күйін бақылау үшін машиналық оқытудың екі әдісін (бэггинг Брейман және нейрондық желі) қолдану нәтижелері ұсынылды. Зерттеу көрсеткендей, 1-сорғыға арналған бэггинг Брейман моделі діріл деректеріндегі өзгерістердің 90%-на дейін ($R^2 \approx 0.90$) түсіндіре алатынын дәлелдесе, 2-сорғыда нейрондық желі де едәуір жоғары дәлдікке қол жеткізіп, $R^2 \approx 0.73$ деңгейінде болды. Бұл көрсеткіштер сорғы жабдықтарындағы ықтимал ақауларды ертерек анықтау мүмкіндігін арттырады. 1,5 жыл бойы (әр 3 апта сайын) жиналған деректерге сүйеніп, модельдердің болжамдық мүмкіндігі бағаланды. Бұл талдау ықтимал бұзылуларды ертерек анықтау мен техникалық қызмет көрсету үдерісін оңтайландыруға теориялық негіз барын меңзейді. Алайда, R^2 көрсеткішінің жоғары болуы кез келген ақауды мінсіз болжауға кепілдік бермейтінін ескеру қажет, нақты өндірістік жағдайларда модельді бейімдеуді, жетілдіру шараларын жүргізуді немесе қосымша параметрлерді қамтуды талап етуі мүмкін.

Жалпы алғанда, аталған зерттеудің практикалық маңызы – сорғы паркінің жұмысын үздіксіз бақылау арқылы жоспарланбаған үзілістерді азайту, жабдықтың қызмет ету мерзімін ұлғайту және өндіріс тиімділігін арттыруға қол жеткізу мүмкіндігі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

- 1 **Науменко, А. П.** Теория и методы мониторинга и диагностики. — Омск: Издательство ОмГТУ, 2017. — 14 с.
- 2 **Beebe, R. S.** Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. — Oxford: Elsevier Science, 2004. — P. 1–20.
- 3 **Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Staub, S. A.** Comprehensive Review of Machine Learning Techniques for Condition-Based Maintenance // International Journal of Prognostics and Health Management. — 2019. — Vol. 10, № 2. — P. 1–21.
- 4 **Гаврилин, А. Н., Мойзес, Б. Б.** Диагностика технологических систем. — Томск: Издательство ТПУ, 2014. — 128 с.
- 5 **Чистяков, С. П.** Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра РАН. — 2013. — 136с.
- 6 **Доррер, М. Г.** Моделирование нейронных сетей в системе MATLAB. — Красноярск, 2021. — 200 с.
- 7 **Idhammar, T.** Condition Monitoring Standards. Volume 1. — IDCON, Inc., 2001. — 150 p.
- 8 **Латышенко, К. П., Чуриков, А. А.** Неразрушающий контроль. Часть 1. — Тамбов: Издательство ТГТУ, 2016. — 80 с.
- 9 **Дьяконов, В. П.** MATLAB: полный самоучитель. — Москва: ДМК Пресс, 2012. — 768с.
- 10 **Левин, В. Е., Патрикеев, Л. Н.** Вибродиагностика машин и механизмов. — Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. — 106 с.

REFERENCES

- 1 **Naumenko, A. P.** Teoriya i metody monitoringa i diagnostiki [Theory and Methods of Monitoring and Diagnostics]. – Omsk: Izdatelstvo OmGTU, 2017. – 14 p.
- 2 **Beebe, R. S.** Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. – Oxford: Elsevier Science, 2004. – P. 1–20.
- 3 **Ward, T., Jenab, K., Ortega-Moody, J., Staub, S.** A Comprehensive Review of Machine Learning Techniques for Condition-Based Maintenance // International Journal of Prognostics and Health Management. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1–21.
- 4 **Gavrilin, A. N., Moises, B. B.** Diagnostika tekhnologicheskikh sistem [Diagnostics of Technological Systems]. – Tomsk: TPU Publishing, 2014. – 128 p.
- 5 **Chistyakov, S. P.** Sluchainye lesa: obzor [Random Forests: A Review] // Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences]. – 2013. – № 1. – P. 136–145.
- 6 **Dorrer, M. G.** Modelirovanie neironnykh setei v sisteme MATLAB [Neural Network Modeling in MATLAB System]. – Krasnoyarsk, 2021. – 200 p.
- 7 **Idhammar, T.** Condition Monitoring Standards. Volume 1. – Raleigh: IDCON, Inc., 2001. – 150 p.
- 8 **Latyshenko, K. P., Churikov, A. A.** Nerazrushayushchii kontrol. Chast 1 [Non-Destructive Testing. Part 1]. – Tambov: TSTU Publishing, 2016. – 80 p.
- 9 **Dyakonov, V. P.** MATLAB: Polnyi samouchitel [MATLAB: Complete Self-Study Guide]. – Moscow: DMK Press, 2012. – 768 p.
- 10 **Levin, V. E., Patrikeev, L. N.** Vibrodiagnostika mashin i mekhanizmov [Vibration Diagnostics of Machines and Mechanisms]. – Novosibirsk: NSTU Publishing, 2010. – 106 p.

20.01.25 ж. баспаға түсті.

28.01.25 ж. түзетулерімен түсті.

28.02.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

**Д. Ж. Басқанбаева¹, К. К. Елемесов², А. К. Ерик³*

Сатпаев университет, Республика Казахстан, г. Алматы.

Поступило в редакцию 20.01.25.

Поступило с исправлениями 28.01.25.

Принято в печать 22.02.2025.

**МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНОГО ПАРКА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ**

В данной статье рассматривается разработка и применение современных методов машинного обучения для контроля и прогнозирования технического состояния насосов, используемых на производственном предприятии. Объект исследования — горизонтальные шланговые насосы серии Wargan MCR, предназначенные для непрерывной перекачки абразивных суспензий с твёрдыми включениями в промышленных условиях. Эти насосы оптимально

подходят для работы с жидкостями, имеющими высокую концентрацию твёрдых частиц, благодаря их повышенной надёжности и износостойкости. Они функционируют при высоких механических нагрузках, что обуславливает необходимость постоянного контроля их технического состояния. В рамках исследования в течение 1,5 лет с интервалом каждые 3 недели измерялись и анализировались вибрационные характеристики подшипников двух таких насосов, непрерывно работающих в составе насосного парка. Мониторинг проводился в производственной среде при штатном режиме эксплуатации оборудования.

Вибрационные параметры регистрировались системой VibroExpert II с помощью акселерометрических датчиков, фиксируя максимальные, «пик-пик» и среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения. Кроме того, измерялись механический и общий уровни звукового давления (dВm и dВс). Данные обрабатывались в среде MATLAB. В ходе исследования для 1-го насоса применялся метод бэггинга Бреймана, показавший высокую точность — до 90% объяснения вариаций вибрационных данных ($R^2=0.9045$), что даёт возможность предсказывать вероятный износ и потенциальное разрушение компонентов. При этом было использовано 300 деревьев решений, каждое из которых обучалось на своей бутстреп-выборке, а итоговый результат формировался путём ансамблирования. Для 2-го насоса использовались нейронные сети, продемонстрировавшие результат $R^2=0.7365$ и способные выявлять значительные отклонения в вибрационных характеристиках. Несмотря на то, что в модели нейронной сети применялся только один скрытый слой с 10 нейронами, добавленная L2-регуляризация помогла избежать избыточного «запоминания» (overfitting) и повысить обобщающую способность. Для каждого из методов представлена математическая модель, подтверждающая возможность применения данных подходов с целью повышения надёжности и долговечности насосного оборудования. Результаты исследования показали, что использование методов машинного обучения для контроля насосного парка позволяет значительно улучшить точность прогнозов о состоянии оборудования.

Ключевые слова: мониторинг, насосный парк, машинное обучение, вибрационный анализ, параметр надёжности, метод бэггинга Бреймана, метод нейронной сети.

***D. D. Baskanbayeva¹, K. K. Yelemessov², A. K. Yerik³**

Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Received 20.01.25.

Received in revised form 28.01.25.

Accepted for publication 22.02.25.

MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE PUMP FLEET TO IMPROVE RELIABILITY PARAMETERS

This article discusses the development and application of modern machine learning methods for monitoring and predicting the technical condition of pumps

used in an industrial setting. The study object is Warman MCR series horizontal slurry pumps, designed for continuous pumping of abrasive suspensions containing solid particles in industrial environments. These pumps are well-suited for liquids with high concentrations of solids, thanks to their enhanced reliability and wear resistance. They operate under high mechanical loads, necessitating constant monitoring of their technical condition. Over the course of 1.5 years, with measurements taken every three weeks, the vibrational characteristics of the bearings of two such continuously operating pumps within the pump fleet were measured and analyzed. Monitoring was carried out under normal operating conditions in an industrial environment.

Vibration parameters were recorded using the VibroExpert II system with accelerometric sensors, capturing maximum, «peak-to-peak», and root mean square values of vibration velocity and vibration acceleration. Moreover, mechanical and total sound pressure levels (dBm and dBc) were measured. The data were processed in the MATLAB environment. During the study, Breiman's bagging method was applied to the first pump, demonstrating high accuracy—up to 90 % of the variance in the vibration data ($R^2=0.9045$)—allowing for the prediction of potential wear and possible component failure. This approach utilized 300 decision trees, each trained on its own bootstrap sample, and the final result was formed by ensemble averaging. For the second pump, neural networks were used, showing $R^2=0.7365$ and capable of detecting significant deviations in vibrational characteristics. While only a single hidden layer with 10 neurons was employed, the addition of L2 regularization helped to avoid excessive “memorization” (overfitting) and improved the model's generalization ability. For each of these methods, a mathematical model is presented, confirming the feasibility of using these approaches to enhance the reliability and durability of pump equipment. The study results indicate that utilizing machine learning methods for pump fleet monitoring significantly improves the accuracy of equipment condition forecasting.

Keywords: monitoring, pump fleet, machine learning, vibration analysis, reliability parameter, Breiman's bagging method, neural network method.