

**«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АЖ
ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

кўлезма ҳуқуқида

УДК 629.423.31.



САМИГОВ ИЛҲОМ СОДИҚЖОН ЎҒЛИ

**ҲАРАКАТ ТАРКИБИ АСИИХРОИ ТОРТУВ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИНИ ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ**

5А.310.603 – Темир йўл транспорти (Локомотивлар)

мутахасислиги

бўйича магистр даражасини олиш учун ёзилган

МАГИСТРЛИК ДИСЕРТАЦИЯСИ

Илмий раҳбар: т.ф.н., доцент в.б.

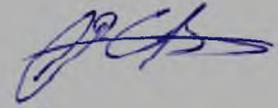
Ҳамидов О.Р.



Тошкент -2018

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи
УДК 629.423.316



САМИГОВ ИЛХОМ СОДИҚЖОН ЎҒЛИ

«Исследования асинхронные тяговые электродвигатели
подвижного состава»

по специальности 5А310603 -«Железнодорожный транспорт
(Локомотивы)»

для получения степени магистра ДИССЕРТАЦИЯ МАГИСТРА

Научный руководитель: т.ф.н., доцент в.б.
Хамидов О.Р.



Ташкент - 2018

**JOINT-STOCK COMPANY «UZBEKISTAN RAILWAYS»
THE MINISTRY OF THE HIGHER AND THE REPUBLIC
UZBEKISTAN VOCATIONAL EDUCATION
THE TASHKENT INSTITUTE OF RAILWAY ENGINEERS**

As the manuscript

UDC 629.423.31



SAMIGOV ILKHOM SODIQJON O'G'LI

**« DETERMINATION OF TECHNICAL
CONDITION OF ASYNCHRONOUS TRACTION
ELECTRIC MOTORS OF ROLLING STOCK »**

On a speciality

5A310603 - «The Railway transport (Lokomotives)»

For reception of degree of the master

THE DISSERTATION OF THE MASTER

Scientific the head: p.h.D, docent

Khamidov O.R.

Tashkent – 2018

«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АЖ
ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

қўлезма ҳуқуқида

УДК 629.423.31.

САМИГОВ ИЛҲОМ СОДИҚЖОН ЎГЛИ

**“ҲАРАКАТ ТАРКИБИ АСИИХРОИ ТОРТУВ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИНИ ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ”**

5А.310.603 – Темир йўл транспорти (Локомотивлар)

мутахасислиги

бўйича магистр даражасини олиш учун ёзилган

МАГИСТРЛИК ДИСЕРТАЦИЯСИ

Илмий раҳбар: т.ф.н., доцент в.б.

Ҳамидов О.Р.

Тошкент -2018

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**На правах рукописи
УДК 629.423.316**

САМИГОВ ИЛҲОМ СОДИҚЖОН ЎҒЛИ

**«Исследования асинхронные тяговые электродвигатели
подвижного состава»**

**по специальности 5А310603 -«Железнодорожный транспорт
(Локомотивы)»**

для получения степени магистра ДИССЕРТАЦИЯ МАГИСТРА

**Научный руководитель: т.ф.н., доцент в.б.
Хамидов О.Р.**

Ташкент - 2018

**JOINT-STOCK COMPANY« UZBEKISTAN RAILWAYS»
THE MINISTRY OF THE HIGHER AND THE REPUBLIC
UZBEKISTAN VOCATIONAL EDUCATION
THE TASHKENT INSTITUTE OF RAILWAY ENGINEERS**

As the manuscript

UDC 629.423.31

SAMIGOV ILKHOM SODIQJON O'G'LI

**« DETERMINATION OF TECHNICAL
CONDITION OF ASYNCHRONOUS TRACTION
ELECTRIC MOTORS OF ROLLING STOCK »**

On a speciality

5A310603 - «The Railway transport (Lokomotives)»

For reception of degree of the master

THE DISSERTATION OF THE MASTER

Scientific the head: p.h.D, docent

Khamidov O.R.

Tashkent – 2018

«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АКЦИЯДОРЛИК ЖАМИЯТИ
ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

«Эл. механика» факультети
«Локомотивлар ва л/х» кафедраси
2016-2018 ўқув йили

Магистратура талабаси: Самигов И.С.
Илмий раҳбар: т.ф.н., Хамидов О.Р.
Мутахассислик: 5А310603 -«Темир йўл
транспорти (Локомотивлар)»

МАГИСТЕРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИГА АННОТАЦИЯСИ

Самигов Илҳом Содикжон ўғлининг магистрлик диссертация мавзуси “Ҳаракат таркиби асинхрон тортув электродвигателини техник ҳолатини баҳолаш” долзарб муаммолардан бири бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқот объекти: Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари ҳисобланади.

Тадқиқот мақсади: Қўйилган мақсадларга эришиш учун қуйидаги асосий вазифалар ечилган:

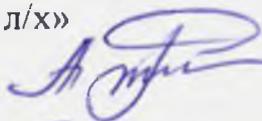
- локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг узеллари эксплуатация жараёнида юзага келувчи носозлик юзага келиши ва ривожланишини анализ методи ва назарий тизимли тадқиқ усули билан аниқланди;

- локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг узелларининг носозлик ва ривожланиш жараёнини аниқлашга ёрдам берувчи модел яратилди.

Диссертация ишининг асосий натижалари 4 та илмий нашриётларда чоп этилди, улардан бири Россия Федерацияси илмий-амалий анжуманда иштирок этилди.

Илмий раҳбар: «Локомотивлар ва л/х»

кафедраси т.ф.н., доцент



Хамидов О.Р.

Магистратура талабаси:



Самигов И.С.

“UZBEKISTAN RAILWAYS” JOINT-STOCK COMPANY
THE SUPERIOR AND MIDDLE EDUCATION MINISTRY OF
REPUBLIC OF UZBEKISTAN
TASHKENT INSTITUTE OF RAILWAY ENGINEERING

Electromechanical faculty Master degree student: : Samigov I.S.
Branch of Locomotives & locomotive Scientific leader: p.h.d. Khamidov O.R.
Service
Specialty: 5A310603 “Railway transport”(Locomotives)

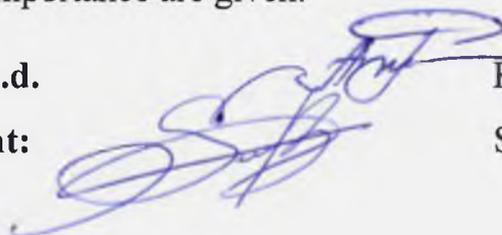
ANNOTATION TO A MASTER DEGREE DISSERTATION

The object of research are asynchronous traction motors of locomotives. The analysis and systematization of theoretical methods of investigation of the processes of occurrence and development of faults of bearing assemblies of locomotive asynchronous traction motors in operation is performed.

The developed mathematical model of the process of occurrence and development of faults of bearing units of locomotive ATED, allowing to investigate their working capacity under different operating conditions for obtaining diagnostic information on the basis of the study of the spread of vibration-perturbing influences. The influence of technological and operational factors on the reliability of bearing units of locomotive ATED was analytically investigated. The methodology and algorithms for diagnosing the technical condition of bearing units of locomotive ATED are developed. A technology is proposed for the use of refined vibration diagnostics methods to detect failures of the ATED bearing assemblies at the early stages of their development. The results were obtained using the SolidWorks software package. Recommendations and proposals of scientific importance are given.

Scientific leader:p.h.d.

Master degree student:



Khamidov O.R.

Samigov I.S.

АО «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО
И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Факультет «Эл. Механика»
Кафедра «Локомотивы и л/х»
Учебный год 2016-2018

Студент магистратуры: Самигов И.С.
Научн. рук.: к.т.н. Хамидов О.Р.
Специальность: 5А310603
«Железнодорожный транспорт
(Локомотивы)»

АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Объектом исследования являются асинхронные тяговые электродвигатели подвижного состава.

Выполнен анализ и систематизация теоретических методов исследования процессов возникновения и развития неисправностей подшипниковых узлов локомотивных асинхронных тяговых электродвигателей в эксплуатации.

Разработанная математическая модель процесса возникновения и развития неисправностей подшипниковых узлов локомотивных АТЭД, позволяющая исследовать их работоспособность при различных эксплуатационных режимах для получения диагностической информации на основе изучения распространения вибровозмущающих воздействий. Аналитически исследовано влияние технологических и эксплуатационных факторов на надежность работы подшипниковых узлов локомотивных АТЭД. Разработаны методика и алгоритмы диагностирования технического состояния подшипниковых узлов локомотивных АТЭД.

Предложена технология использования уточненных методов вибродиагностики для выявления отказов подшипниковых узлов АТЭД на ранних этапах их развития.

Результаты были получены с использованием программного комплекса SolidWorks. Дано рекомендации и предложения, имеющие научное значение.

Научный руководитель:

к.т.н, доцент кафедры «Локомотивы и л/х»



О.Р. Хамидов

Студент магистратуры:



И.С. Самигов

**«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АЖ
ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

кўлезма ҳукукида

УДК 629.423.31.

САМИГОВ ИЛҲОМ СОДИҚЖОН ЎҒЛИ

**ҲАРАКАТ ТАРКИБИ АСИНХРОН ТОРТУВ
ЭЛЕКТРОДВИҒАТЕЛИНИ ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ**

**5А.310.603 – Темир йўл транспорти (Локомотивлар)
мутахасислиги**

**бўйича магистр даражасини олиш учун ёзилган
МАГИСТРЛИК ДИСЕРТАЦИЯСИ**

Илмий раҳбар: т.ф.н., доцент в.б.

Ҳамидов О.Р.

Тошкент -2018

МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	7
1-БЎЛИМ. ЗАМОНАВИЙ ЛОКОМОТИВЛАР АСИНХРОН ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ХОЛАТИ ВА УЛАРНИ БАҲОЛАШ.....	14
1.1. Жаҳон етакчи компанияларининг маҳаллий локомотивлари ва уларга асинхрон тортув электродвигателларини қўллаш.....	14
1.2. Юмалаш подшипникларининг техник ҳолатини баҳолаш методи.....	17
1.3. Локомотив тортиш электр двигателларининг вибродиагностикаси....	26
2-БЎЛИМ. ХАРАКАТ ТАРКИБИ ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ДИАГНОСТИКА МЕТОДИНИ ИШЛАБ ЧИКИШ.....	31
2.1. Харакат таркиби тортув электродвигателларининг виброкузгатувчи кучлар диагностика моделини ишлаб чиқиш.....	31
2.2. Локомотив асинхрон электр двигателларининг подшипник-ротор тизими учун мўлжалланган дифференциал тенглама.....	37
2.2.1. Тенгламалар тизими ўз қийматларини ҳисоблаб топиш.....	37
2.2.2. Шарчалар (роликлар) контакти ва юмалаш подшипникларининг ҳалқаларидаги қаттиқликни аниқлаш	38
2.3. Юмалаш жисмларининг яқка куч таъсиридан пайдо бўладиган контакт босимлари	39
2.4 Локомотив тортув электродвигателлари подшипнигининг букилишга мойиллигини аниқлаш	40
2.5. Локомотив тортув электродвигателлари юмалаш подшипниги сепараторининг математик моделини ишлаб чиқиш.....	42
2.6. Подшипник узели динамик моделини ишлаб чиқиш.....	45
3-БЎЛИМ. ТОРТУВ ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛИНИНГ ВИБРОҚЎЗГАТУВЧИ КУЧЛАР МОДЕЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ.....	50
3.1. Ротор ва подшипник нуқсонлари мавжуд бўлганида механик виброқўзгатувчи кучлар.....	50

3.2.1	Моделни ишлаб чиқишда келтирилган фаразларга оид асосий маълумотлар.....	56
3.2.2.	Юмалаш подшипнигининг қўзғалишлари асосий манбаларининг тавсифи.....	58
3.2.3	Виброқўзғатувчи кучларнинг параметрларини диагностика моделининг параметрлари сифатида таҳлил қилиш.....	60
3.2.4	Юмалаш подшипниги ролигининг дарз зонасидаги ташқи халқага зарбли таъсир кўрсатиши кучини аниқлаш.....	62
3.3	Контакт кучини аниқлаш ва ўз қийматларини ҳисоблаб топиш.....	67
3.3.1	Контакт кучининг ҳисоби.....	67
3.3.2	Локомотив асинхрон электр двигателларининг подшипник-ротор тизими учун мўлжалланган дифференциал тенглама.....	68
3.3.3	Тенгламалар тизими ўз қийматларини ҳисоблаб топиш.....	69
3.3.4	Шарчалар (роликлар) контакти ва юмалаш подшипникларининг халқаларидаги қаттиқликни аниқлаш.....	69
3.3.5.	Юмалаш жисмларининг яқка куч таъсиридан пайдо бўладиган контакт босимлари	70
3.3.6	Локомотив тортув электродвигателлари подшипнигининг букилишга мойиллигини аниқлаш	71
3.4	Локомотив тортув электродвигателлари юмалаш подшипниги сепараторининг математик моделини ишлаб чиқиш.....	74
4-БЎЛИМ. ХАРАКАТ ТАРКИБИ ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ДИАГНОСТИКА УСУЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ		76
4.1.	Ўлчаш технологиясини ўтказиш	76
4.2.	Диагностика турларининг дефект аломатлари.....	79
4.3	Ўлчовлани текширишда юзага келадиган хатоларни аниқлаш усуллари ҲУЛОСА.....	97
Фойдаланилган адабиётлар.....		98
Иловалар.....		105

КИРИШ

Адабиётлар ва мавжуд статик маълумотларни таҳлил қилиш натижасида локомотивлар тортиш электр двигателининг носозликлари ва нуқсонлари турлари ҳамда энг заиф элемент, яъни тортиш асинхрон электр двигателларининг ишончилигини чекловчи подшипниклар аниқланди.

Ишончли эксплуатация ва локомотив тортиш электр двигатели подшипникларига хизмат кўрсатиш аксарият ҳолларда темир йўл транспортида ҳаракат хавфсизлигини белгилаб беради.

Локомотив тортиш электр двигатели тебраниш подшипникларининг носозликларини диагностика қилиш локомотивлар технологик жараёнининг таркибий қисми саналади.

Мавжуд статик маълумотларга [1,3,5, 28, 30,47] кўра айнан подшипникларнинг ишдан чиқиши сабабли локомотивларнинг бузилиши ва носозликлари млн.км юришга 0,2 дан 0,64 гача, қўшимча электр двигателлар учун – 4,41 гача, локомотив тортиш электр двигателлари учун – 13,69 гача бўлиши мумкин.

Локомотив тортиш электр двигатели тебраниш подшипниклари мураккаб кўп компонентли ва механик тизимнинг кенг тарқалган элементлари бўлиб, электр двигателнинг эксплуатацион кўрсаткичларини, жумладан, ишончилигини белгилаб беради ҳамда бир-бирига нисбатан мураккаб жой алмашишларни (ҳаракатланиш) амалга оширади, уларнинг бузилишлари турли ҳалокатли вазиятларга олиб келади.

Муаммонинг таҳлилларига кўра темир йўл транспортида, жумладан, локомотивларни таъмирлаш деполарида қўлланиладиган агрегатлар ҳолати, тортиш асинхрон электр двигателлари узелларининг мониторинги ва диагностика қилиш методлари турли даражадаги меҳнат ҳажмини талаб этади, бу ҳолат эса ишончли назоратни таъминлаб бера олмайди.

Локомотив тортиш электр двигатели узелида тебраниш подшипникларининг техник ҳолатини баҳолаш кўплаб омилларнинг

биргаликдаги таъсири натижасида амалга оширилади. Ушбу омиллар подшипникларнинг ишлаб чиқилиши ва узелларнинг йиғилиши, уларнинг ишлаш шароити ва эксплуатация режими, тебраниш подшипникини мойлаш тизими кабиларни аниқлаб беради. Шу боис унинг ҳолатига таъсир этувчи омиллар ва параметрлар подшипникнинг сифати ва ишончилигини белгилаб беради.

Локомотив тортиш электр двигателидан фойдаланишдаги хавфсизлик ва ишончилиқни ошириш, уларга хизмат кўрсатиш ва таъмирлашга сарфланадиган харажатларни камайтириш мақсадида электр двигателини вибродиагностика қилиш тизимлари кенг тарқалди.

Электр двигатели, жумладан, подшипникларнинг ҳолати вибромониторинги белгиланган меъёр чегарасида ишчи жараёнлар параметрларини кузатиб боришни кўзда тутди.

Локомотив тортиш электр двигатели параметрларининг вибромониторинги даврий ёки доимий назорат кўринишида амалга оширилади.

Локомотив асинхрон электр двигателининг ишончилиги – буюм сифатининг муҳим кўрсаткичларидан бири бўлиб, поездлар ҳаракатланишининг хавфсизлигини белгилаб беради.

Эксплуатация жараёнида локомотив асинхрон электр двигателининг ишончилигини оширишга илмий-профилактик хизмат кўрсатиш орқали эришилади. Вибродиагностика воситалари ёрдамида электр двигателларининг техник ҳолатини баҳолаш бундай хизматнинг асоси саналади.

Тортиш электр двигателининг техник ҳолатини баҳолаш методлари ва воситалари босқичма-босқич ривожланиб борган. Аввалига, турли параметрларни назорат қилиш воситалари қўлланилган, сўнг мониторинг, охириги босқичда эса объектнинг техник ҳолатини диагностика қилиш ва прогнозлаш тизимлари қўлланилган. Вибродиагностика тизимларининг

хар бир турини татбик этиш локомотив асинхрон электр двигателининг амалдаги техник ҳолатига кўра хизмат кўрсатишга ўтиш имконини беради.

Локомотив тортиш электр двигатели подшипникли узели нуксонлари ва носозликларини ўз вақтида аниқлаш ҳамда уларнинг ривожланишини олдини олиш ҳаракатланувчи таркибнинг комплексли технологияси ва техник хизмат кўрсатишдаги белгиловчи тадбир ҳисобланади. Бу, поездлар ҳаракатланишининг хавфсизлигини ошириб, тортиш асинхрон электр двигателларини оралик текшириш ҳажмини камайтиради ҳамда ҳаракатланувчи таркибнинг рельсдан чиқиб кетиши, бузилиши ва ҳалокатга учрашининг олдини олади.

Локомотив тортиш электр двигателларининг вибродиагностикаси ва мониторинги қуйидаги имкониятларни яратади [4]:

- нуксонларнинг келиб чиқиш сабаблари, ривожланиши ва уларга таъсир этувчи омилларни аниқлаш;
- бузилишни аниқлаш ва нуксонни ўз вақтида бартараф этиш мақсадида локомотив паркиннинг ўртача ишлаб бериш (наработка) ҳажмини ошириш;
- тортиш асинхрон электр двигателларининг масъулиятли ишлаш режимларида нуксоннинг (носозликнинг) намоён бўлишини камайтириш;
- нуксонни (носозликни) бартараф этишга қаратилган чора-тадбирларни татбик этиш ва бу борадаги ишларни яхшилаш;
- бузилишни бартараф этиш мақсадида энг самарадор чора-тадбирларнинг вариантларини танлаб, уларни татбик этиш, шунингдек, чора-тадбирларни татбик этиш ва нуксонни бартараф этиш ёки олдини олишга хизмат қилувчи деталларни ишлаб чиқаришга сарфланадиган харажатларни камайтириш ҳисобига иқтисодий натижага эришиш;
- тортиш асинхрон электр двигатели локомотив паркиннинг эксплуатацион ишончлилигини тиклаш жараёнини тезлаштириш ва уларни бошқариш;

- низоли вазиятларда, айниқса, нуксонларнинг оммавий намоён бўлиш бошлангич даврида ва нуксонларни бартараф этишни ташкиллаштириш даврида тортиш асинхрон электр двигателлари ва фойдаланувчиларнинг ўзаро таъсирини осонлаштириш;

- ишлаб чиқилган ва татбиқ этилган чора-тадбирларнинг самарасини бошлангич босқичда аниқлаш ўта муҳим саналади, боиси ушбу тадбирлар таъсирининг тўлиқ намоён бўлиши деталлар ўрнатилганидан сўнг уларнинг ишлаб бериш имкониятига боғлиқ ва бу натижа деталлар ўрнатилганидан 2-3 йил ўтиб, намоён бўлиши мумкин.

Вибродиагностика техник диагностиканинг бўлими бўлиб, локомотив тортиш электр двигателларининг техник ҳолати ва виброакустик сигналда мавжуд бўлган бошлангич маълумотларга кўра механизмларни аниқлаш жараёнларини ташкил этиш назарияси ва методларини ўз ичига олувчи билимлар соҳаси ҳисобланади.

Нуксон ва носозликларни вибродиагностика методлари ёрдамида, айниқса, улар ривожланишининг бошлангич босқичида аниқлашнинг ўзига хос хусусияти локомотив тортиш электр двигатели техник ҳолатининг ўзгаришига вибросигнал компонентларининг таъсирчанлигини ошириш усуллари кўллашни ифодалайди. Боиси нуксонларнинг вужудга келиш босқичидакўп ҳолларда шовкинлар амалдаги техник ҳолатнинг ўзгариши ҳақидаги маълумотни ўз ичига олувчи фойдали сигнал даражасидан анча ошиб кетади.

Вибродиагностика методлари ёрдамида фойдаланилаётган агрегатларни диагностика қилишдаги иккита асосий масала ҳал бўлади: фойдаланилаётган агрегатнинг ҳолатини аниқлаш, шунингдек, нуксонларни келтириб чиқарувчи сабаб ва шароитларни аниқлаш ҳамда уларни бартараф этиш.

Кичик частотали вибрациянинг ўзига хослиги шундаки, мажбурий куч таъсири остида электр двигател ёки унинг элементлари бир бутун сифатида тебранади. Бундай тебранишларни математик ифодалашда

диагностика қилинаётган объект қаттиқ жисмларнинг сўнгги рақами ва улар ўртасидаги эгилувчан алоқа, яъни тўпланган параметрлар тизими кўринишида намоён бўлиши мумкин. Машина ва ускуналар ўлчами ва шаклининг мураккаблигига боғлиқ равишда кичик частотали тебранишлар 100....300 Гц дан кичик бўлган частотага эга бўлади. Бироқ бу чегара локомотив асинхрон электр двигателларида таъсир этувчи тебраниш кучи частоталарига боғлиқ ҳолда ўзгариши мумкин.

Электр двигателлар, агрегатлар ва ускуналарнинг кичик частотали вибрацияси мажбурий кучлар билан вужудга келтириладиган гармоник таркибий қисмлардан иборат, уларнинг бир қисми объектларнинг техник ҳолатига боғлиқ. Кўп ҳолларда маълум частоталардаги тебранишлар амплитудаси, мос равишдаги мажбурий кучларнинг пропорционал катталиклари вибрациянинг кичик частотали таркибий қисмлари диагностика параметрлари сифатида намоён бўлади.

Мазкур диссертация ишида тебраниш подшипникларидаги локомотив асинхрон электр двигатели вибро кўзгатувчи кучларининг ҳисоб ва тажриба тадқиқотлари натижалари келтирилган. Улар асосида локомотив асинхрон электр двигателининг амалдаги техник ҳолатини баҳолаш вибродиагностик методларининг қўлланишини кўзда тутувчи локомотив асинхрон электр двигатели вибро кўзгатувчи кучлари математик модели ишлаб чиқилган.

Тебраниш подшипникларидаги локомотив асинхрон электр двигателининг вибрацияларини ўрганиш мақсадида локомотив тортиш электр двигателларининг нуксонлари ва носозликлари бўйича публикациялар ва статик маълумотларни таҳлил қилинди, математик модель ва ҳисоблаш схемаси ишлаб чиқилди, инерцион ва қаттиқлик параметрлари (статик ва динамик параметрлар) ҳисоблаб чиқилди.

Локомотив тортиш электр двигателининг виброфаоллигини тадқиқ этиш бўйича ўтказилган тажрибалар вибрацияларни ўлчаш тизимини ишлаб чиқиш, вибрация сигналларини частотали, статик ва динамик

тахлил қилишнинг дастурий комплексини ишлаб чиқиш, стационарлиги ва эргодиклигини текшириш, локомотив тортиш электр двигателларининг вибрацияларини ўлчаш натижаларида частота ўлчамларининг мавжудлигини таҳлил қилиш қабиларни ўз ичига олади.

Ҳисоблаш ва экспериментал методлар ёрдамида турли нуқсонлар ва техник ҳолатнинг турли параметрларида тебраниш подшипникларидаги локомотив тортиш электр двигателининг статикаси ва динамикаси ўрганилди.

Магистрлик диссертацияси мавзусининг асосланиши ва унинг долзарблиги. Ҳозирги кунда локомотив хўжалигида локомотивлар таъмири ва юқори даражада локомотивларга техник хизмат кўрсатиш тизимини яратиш орқали ишончлилик даражаси ва локомотив хўжалигининг иш самарадорлигини ошириш долзарб вазифа ҳисобланади. Локомотив хўжалигида асинхрон тортув электродвигателларига хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш муҳим аҳамият касб этади.

Диссертация ишининг долзарблиги шундаки, бугунги кунда темир йўл транспортида локомотивлар асинхрон тортув моторлари билан жиҳозланган. Ҳаракат таркибининг асинхрон тортув моторлари ни эса доимо назорат қилиш зарур. Ҳаракат таркиби асинхрон тортув моторларини таъмир ва эксплуатация пайтида носозликларини олдиндан аниқлаш учун диагностика усулларини қўллаш ҳисобланади.

Шунингдек ўз вақтида дефектни аниқлаб поезднинг авария ва издан чиқиш ҳолатларини олдини олиш ҳам ўз долзарблигини саклаб қолмоқда.

Локомотив тортув электродвигателлари ишончлилик даражасига ва иш самарадорлигини ошириш учун ўзларининг сезиларли ҳиссаларини Глущенко А.Д., Барков В.А., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю., Брынский Е.А., Розенберг Г.Ш., Сарваров Гольдберг О.Д., Губанов В.Ф., Иванов Д.Ю., Гиоев З.Г., Юшко В.И., Аверин Н.А., Браташ В.А., Балицкий Ф.Я., Куликов А.Б., Хусидов В.В., McFadden P.D., Smith J.D., Harris T.A., Tandon N., Meyer L.D., Alexandre L., Daniel N., Patil M.S., Rajendrakumar S.D.,

Gupta P.K., Su Y.T., Lin M.H., Lee Y.S., Akturk N., Walter C.T., Tiwari M., Changqing B. каби махаллий ва хорижий олим ва мутахассислар кўшишган.

Шуни таъкидлаш жоизки, бугунги кунда бу соҳадаги вазифа ва муаммолар хали ҳам долзарблигича колмокда.

Диссертация ишининг мақсади: Ҳаракат таркиби асинхрон тортув электродвигателларини вибродиагностика усули орқали носозликларини аниқлаш ва бартараф этиш чоралари орқали ишончлилигини ошириш.

Тадқиқот объекти бўлиб, локомотив тортув асинхрон электродвигателлари ҳисобланади.

Тадқиқот предмети ҳаракат таркиби асинхрон тортув двигателлари узеллари.

Қўйилган мақсадларга эришиш учун қуйидаги асосий вазифалар ечилган:

- локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг узеллари эксплуатация жараёнида юзага келувчи носозлик юзага келиши ва ривожланишини анализ методи ва назарий тизимли тадқиқ усули билан аниқланди;

- локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг узелларининг носозлик ва ривожланиш жараёнини аниқлашга ёрдам берувчи модел яратилди. Турли эксплуатацион вазиятларда локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг узелларини виброқўзгатувчилар орқали ишлаш қобилияти текширилди;

Тадқиқот методикаси. Математик моделлаштириш, динамика конунлари, назарий механика, эҳтимоллар назарияси ва математик статистика усулларидан фойдаланиб диссертация ишидаги вазифалар ўз ечимини топди. Шунингдек, **Matlab 2015b**, **Microsoft Excel**, **Microsoft Visual Studio** дастурлари ҳам қўлланилди. **Autodesk AutoCad 2015**. дастури орқали локомотив тортув асинхрон электродвигателларининг подшипникли узеллари ва деталларини носозлигини аниқловчи геометрик кўриниши ясалди.

Диссертация ишидаги илмий янгиликларни қуйидагиларда кўриш мумкин:

1. Локомотив тортув асинхрон электродвигателларини узелларининг носозлик ва ривожланиш жараёнини аниқлашга ёрдам берувчи модел яратилди. У орқали ҳаракатдаги поезд виброқўзгатувчи кучларнинг подшипник узелларида тарқалиши орқали подшипник узелларида тебраниш ва уларнинг контакт элементлари боғлиқлиги текшириш математик модели ишланди.

2. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узелларининг вибродиагностика орқали дефектларини юзага келиши биланок аниқлаш тавсия этилди.

3. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узеллари вибросигналининг эксплуатация жараёнига боғлиқлиги аниқланди.

Ишнинг амалий аҳамияти қуйидагилардан иборат:

1 Эксплуатацион ва технологик жараёнда вибродиагностика орқали локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узелларининг ишончлилиқ даражаси ошириш;

2. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узелларининг эксплуатацион ва иш вақти шароитларини ҳисобга олган ҳолда вибродиагностика технологиясини қўллаш.

3. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узелларининг жорий ҳолатини ифодаловчи вибродиагностик маълумотлар бериш;

4. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узеллари қисмларидаги дефект ва элементларнинг ўзаро алоқасини текшириш.

Диссертация ишининг асосий натижалари 4 та илмий нашриётларда чоп этилди, улардан бири Россия Федерацияси илмий-амалий анжуманда иштирок этилди.

1-БЎЛИМ. ЗАМОНАВИЙ ЛОКОМОТИВЛАР АСИНХРОН ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ХОЛАТИ ВА УЛАРИИ БАҲОЛАШ

1.1. Жаҳон етакчи компанияларининг маҳаллий локомотивлари ва уларга асинхрон тортув электродвигателларини қўллаш

Дизел локомотивларини АТД билан таъминлаш уч босқични ўз ичига олади. Биринчи босқич – 60-йилларнинг охири 80-йилларнинг бошига тўғри келиб дизел локомотивларининг тажрибали кўриниши билан ажралиб туради. Иккинчи босқич – 1980-йилларнинг ўрталарида бошланади ва ГТО-тристорларни қўллаш билан тавсифланади. Учинчи босқич – 90-йилларнинг охири ИГБТ-транзисторлар яримўтказгич конверторларни киритиш бошланди. Уч фазалиасинхрон тортув электродвигателлар биринчи марта 1896-йилда Швецарияда трамвайларда ўрнатилган, аммо бу восита тезликни назорат қилиш тизимининг тугалланмаганлиги туфайли бу иш тўхтатилган.

АТД билан дизел локомотивларнинг биринчи модели 1968-йилда ЛИИЖТ томонидан Октябрьская темир йўли билан ҳамкорликда ишлаб чиқарилган. ВМИ-024 моевр локомотиви асосида яратилган асинхрон тортув электродвигателли дизел локомотив ишлатилади. Синов натижаларига кўра ТЕ120 нинг асосий иссиқлигини яратиш тўғрисида қарор қабул қилинди [64]. НИИЕТМ "Электротаъмирлаш" заводи томонидан ишлаб чиқилиши натижасида ЕД900 нинг асинхрон тортув электродвигателлари ишлаб чиқарилди. БобНИТИ ЛИИЗхТе-да АТД билан тортув узатиш учун махсус синов қуролини ишлаб чиқди. Частота конвертори ПЧТ-3У2 эса ТЕЗ да ишлаб чиқилган. Аслида ВТЗ да локомотивнинг асл намунаси ишлаб чиқилган. Бу ишларни барчаси жиддий илмий-техник тадқиқотлар, тажриба-конструкторлик ишлари билан бирга ўтди, унда В.А. Пречисского, Ю.И. Гусевского, А.Т. Буркова, А.А.

Будницкого ва бошқалар юкорида келтирилган муаллифларнинг иши асосида дизел локомотивларда асинхрон двигателлар билан тортиш электр узатиш курилмасини куриш назариясининг асослари [2,3]да келтирилган. Ҳозирги кунда ушбу ишларнинг асосида ТЕМ21 моневр локомотивининг [7,8,9] прототипи АДД ва ТП билан жорий инвертор асосида яратилган ва ВНИКТИ да синовдан ўтказилмоқда. Метрополитеннинг электропоездларида асинхрон двигателлардан фойдаланишни Д.Л.Киржнера[10], электровозлар бўйича А.С. Курбасова[11], Л.Н. Сорина[11, 12], П.Г. Колпахчяна[13] ва бошқалар тадбиқ қилишган. Дизел локомотивларининг тажриба синовларида ҳар доим яхши тортиш сифати, мақбул энергия мавжуд эди. Бироқ, қонаертр мосламаларнинг ишончилиги пастлиги сабабли, тезкор ишлов бериш учун асинхрон тортув электродвигателли локомотивларини яратиш имкони бўлмади. Мамлакатнинг электрон саноати орқасида юкори қувватли кулфланган тристорларни яратишда орқада қолиб кетганлиги сабабли бу вазифа 70-90-йилларда эришилди.

1.1 жадвал

Тайёрланган йили	Тепловоз серияси	Тайёрловчи	Дизел қуввати , кВт	Секциялар сони	Талаблар
1	2	3	4	5	6
Маневровые тепловозы					
1965	HA WK	Brush	1100	1(макет)	BR
1971	DE2500	BBC	1840	1(опыт)	DB
1976	Am6/6	BBC	1840	6	SBB
1977	EDE1000/500	BBC	475	6	DB
1980	DE501	BBC	500	20	DB
1981	DE500	Siemens	500	20	DB
1981	SSB	Siemens	500	1	DB
1981	DE1002	BBC	1320	16	DB
1981	E461	Siemens	700	5	DB
1981	ME05	BBC	500		
1983	D145	BBC	850	62	FS

1984	DE1003	BBC	2x510	4	DB
1986	ME07	BBC	785	40	TCDD
1986	311	Siemens	785	61	RENFE
1988	DE6400	ABB	1180	120	NS
1991	EDE1600	Siemens	560	2	DB
1992	ME10	ABB	940	10	RAI

Тепловознинг асосий хизмат тормози – электродинамик (реостат), 1 км/соат тезликда ишлайдиган, тормозлаш кучининг ишлаш шароитлари билан белгиланадаиган даражадаги автотормоз билан таъминлашга айтилади.

Локомотив тортиш электр двигателлари айникса, мураккаб ва номакбул шароитларда зўр бериб ишлайди, шунингдек, подшипник узелларининг муҳим радиал ва ўқ юкламаларига учрайди. Локомотив тортиш электр двигателларининг подшипниклари роторнинг айланувчи валини бўшлиқдаги фиксациясини амалга оширади, эксплуатациядаги локомотив электр двигателида вужудга келадиган статик ва динамик кучланишларнинг катта қисмини [43] ўз зиммасига олади.

Локомотивлар подшипник узелларининг вужудга келаётган носозликларини вибродиагностика қилиш – диагностика соҳасида ишлаб чиқилган ускуналардан фойдаланишнинг назарий ҳамда амалий жиҳатдан ривожланган нисбатан янги йўналиши саналади [43-45], шунингдек, у ишдан чиқишларнинг олдини олибгина қолмай, амалдаги техник ҳолатга кўра эксплуатация ва техник хизмат кўрсатишни амалга ошириш имконини беради.

Ҳаракатланувчи таркибнинг подшипник узелларини вибродиагностика қилиш – турли хил вибрацион жараёнларга асосланган турли методлар ёрдамида узел ва подшипник шитларини диагностика қилишнинг яққол намунаси ҳисобланади [44-45].

1.2. Юмалаш подшипникларининг техник ҳолатини баҳолаш методи

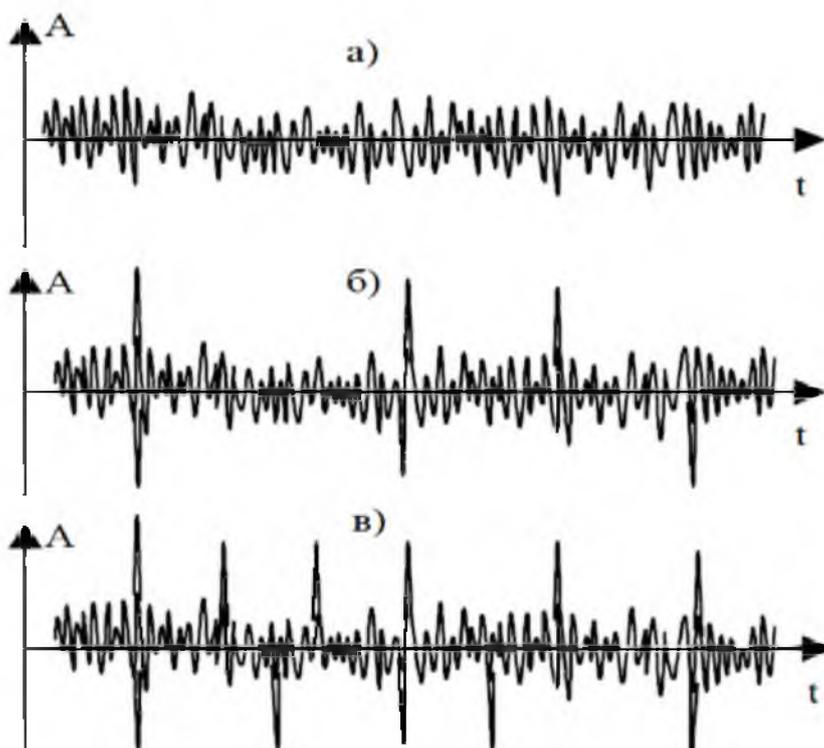
Ҳозирги кунда вибродиагностикада юмалаш подшипникларининг техник ҳолатини баҳолашнинг тўрт хил методи қўлланилади, улар қуйидагича номланади [42-45]:

- ПИК-фактор методи;
- тўғридан-тўғри спектр методи;
- зарбли импульслар методи;
- айланиб ўтувчи спектр методи.

Қуйида мазкур методларни локомотив тортиш электр двигателлари подшипник узеллари мисолида кўриб чиқамиз [43-44].

ПИК фактор методи.

Эксплуатациядаги электр двигатели подшипник узеллари корпусига вибрдатчикни ўрнатишда осциллографда сигнал қайд қилинади. Бунда 1.4-расмда кўрсатилганидек [11, 30-33], вақт ўқиға симметрик бўлган стационар икки қутбли шовқинли сигнал [43-44] вужудга келади.

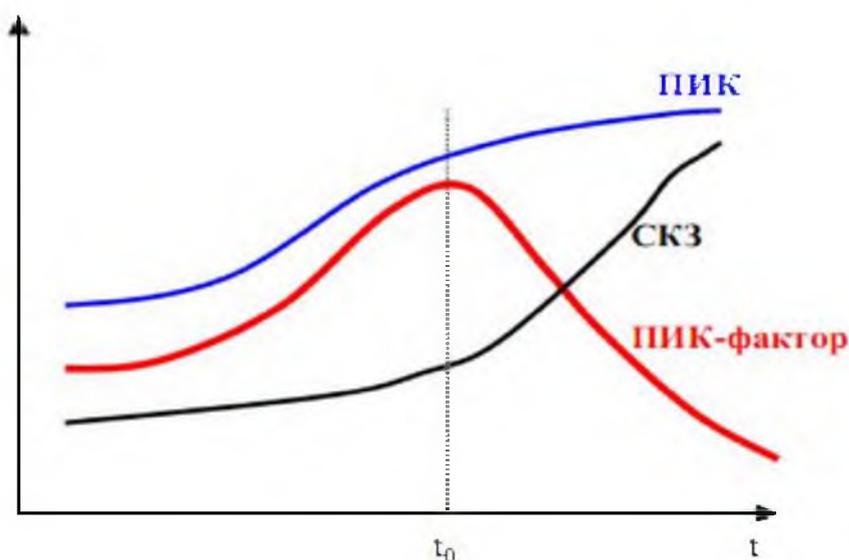


1.1-расм. Электродвигатели подшипник узели вибрациялари сигналининг кўриниши

Вақт ўтиши билан подшипникнинг кинематик узелларида нуқсонларнинг пайдо бўлиши натижасида носоз подшипник узелларининг урилиши моментига мос равишда вибросигналда алоҳида қисқа амплитудали чўккилар (пик) вужудга келади (1.4,б-расм).

Сўнг, нуқсонларнинг ривожланиши натижасида кичик амплитудали чўккилар катталашади, ундан сўнг эса нуқсонларнинг миқдорий қиймати кўпаяди (1.4, в-расм).

Ўлчов натижаларини 1.5-расмда келтирилгани каби график кўринишида ифодалаймиз.



1.2-расм. ПИК-фактор методи

Дастлаб, нуқсоннинг вужудга келиши ва ривожланиши даражасига қараб, ПИК функцияси ортиб боради, СКЗ эса деярли ўзгармайди, боиси жуда қисқа амплитудали чўккилар сигналнинг энергетик характеристикаларини деярли ўзгартирмайди. Кейинчалик, чўккилар миқдорининг ортиши билан сигнал энергияси ҳам ортади, СКЗ вибрациялар кўпаяди. ПИК ва СКЗ функциялари монотон ишлаши боис диагностика учун кам ахборот етказди. Бироқ ПИК-фактор деб номланувчи ПИК/СКЗ нисбати анча катта қизиқиш уйғотади, боиси мазкур

функция ПИК ва СКЗ ўртасида вақтинчалик силжиши натижасида вақт ўқида аниқ силжиш максимумига эга. ПИК-фактор методи айнан мана шу функцияга асосланади [11,30,43-44].

Ушбу методнинг асосий афзаллиги – уни қўллашдаги соддалик (оддийлик) саналади. Уни қўллашда умумий даражадаги оддий виброметр зарур, мазкур виброўлчов асбоби эса энг содда ва энг арзон асбоблар каторига киради. Бирок бу метод бир қанча камчиликларга ҳам эга. Агар датчик подшипникнинг ташки халқасига (обойма), яъни механизм корпусининг бирор жойига ўрнатилса, ўлчовларни олишнинг имкони бўлмайди, боиси вибрациянинг қайд этилган сигнали нафақат подшипникни, балки тўсиқлардан ҳимоя қилишнинг суғлиги оқибатида бошқа узелларнинг ҳолатини ҳам қайд этади [46-47].

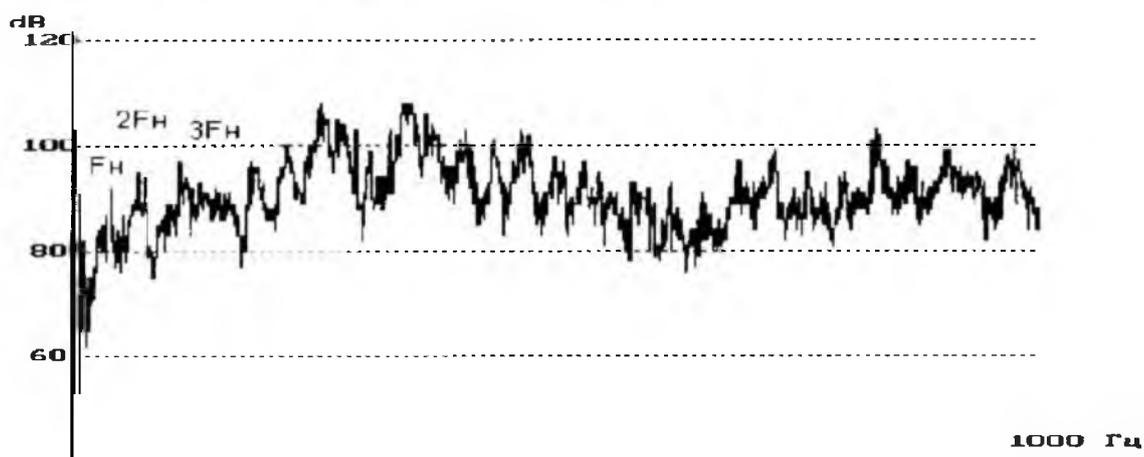
Тўғридан-тўғри спектр методи.

Мазкур метод вибрация спектрини таҳлил қилишга асосланган, 1.4-расмда келтирилган вибросигналларни нафақат амплитудали ва энергетик характеристикаларнинг нисбати нуқтаи назаридан, балки амплитудали тўлқинларнинг даврий вужудга келиши нуқтаи назаридан ҳам таҳлил қилиш мумкин. Тўғридан-тўғри спектр методи айнан мана шу жараёнга асосланади.

Вибрация сигнали тор чизиқли виброанализатор ёрдамида таҳлил қилинади, шунингдек, спектрнинг частотали таркиби бўйича электр двигател подшипник узелларидаги носозликларнинг пайдо бўлиши ва ривожланишини идентификациялаш мумкин. Подшипник элементларидаги (тебраниш жисмлари, сепараторнинг ички ва ташки халқаси) ҳар бир носозлик ёки нуқсонга подшипник кинематикаси ва унинг юмалаш тезлигига боғлиқ бўлган ўз частоталари мос келади.

Вибросигнал спектрида у ёки бу частотали таркибий қисмнинг мавжудлиги мос равишдаги нуқсоннинг вужудга келганлиги ҳақида хабар беради, бу таркибий қисмнинг амплитудаси эса нуқсоннинг чуқурлиги ҳақида хабар беради, ушбу методнинг моҳияти ҳам шунда.

Методнинг афзаллиги – тўсиклардан юқори даражадаги химояланганлик саналади. Нуксонлардан келадиган вибрациялар спектрлари таркибий қисмларининг частотали амплитудалари катта бузилишларда сезиларли тебранади, камчилиги эса – методнинг қимматбахолиги ва энди вужудга келаётган ҳамда кучсиз нуксонларга нисбатан паст даражадаги сезгирлигида намоён бўлади [46-47]. 1.5-расмда подшипникнинг ташқи халқасидаги нуксонга нисбатан пайдо бўлаётган вибрацияларнинг тўғридан-тўғри спектри кўрсатилган.



1.3-расм. Тўғридан-тўғри спектр вибрацияси

Зарбли импульслар методи подшипник узеллари иккита жисмларининг ўзаро тўқнашуви оқибатида келиб чиққан механик зарбли тўлқинларни ўлчаш ва қайд этишга асосланади. Подшипник узелларининг носоз элементларидан фойдаланишда электр двигател конструкцияси бўйлаб қисқарувчи ва чўзилувчи тўлқин кўринишидаги юқори частотали ва тез сўнувчи тебранишлар вужудга келади. Бу турдаги тўлқинлар ультратовушли тебранишлар каби тарқалади, яъни тебранишлар тез сўнади ва осциллограммаларда импульслар кўринишида намоён бўлади (1.6 а,б-расм).





1.4-расм. Подшипник узеллари носоз деталларининг зарби оқибатида келиб чиқадиган вибрациялар.

Зарбли импульслар амплитудасининг энг юқори қиймати нуқсонларнинг урилиш тезлиги ва чуқурлигига тўғри пропорционалдир. Сўниш доимий катталигига эга бўлган сўниб бораётган ўтувчи жараённинг тахлили ушбу методнинг асоси саналади. Бунда мазкур катталиқни бошқа сигналлардан, яъни вибрация сигналларидан ажратиб олиш мумкин. Ўлчов натижаларини подшипник узеллари ўлчамлари ва ҳаракатланиш тезлигини билган ҳолда урилиш тезлиги бўйича меъёрлаштириш осон. Демак, зарбли импульслар амплитудалари бўйича нуқсон ва носозликларнинг мавжудлиги ва уларнинг чуқурлиги ҳақида ташҳис қўйиш мумкин [46-47].

Ушбу методнинг асосий афзаллиги – маълумот етказиб беришдаги соддалик ва тўсиқлардан ҳимояланганлик, шунингдек, методни қўллаш қийинчилик тугдирмайди. Шу билан бир қаторда, бир қанча камчиликлар ҳам мавжуд, жумладан, механизмни конструктив амалга оширишдаги чекловлар, яъни ўлчовларнинг аниқлиги учун подшипник ташқи ҳалқаси ва датчикни ўрнатиш жойида яхлит металл массиви бўлиши лозим [46-47].

Айланиб ўтувчи спектр тахлили методи – юқори частотали вибрация бўлиб, унда юқори частотали вибрациянинг ўзи эмас, балки кувватининг паст частотали тебранишлари таҳлил қилинади. Натижаларнинг ишончлилиги ва сифатини ошириш мақсадида нафақат тўғри спектрлар, балки айланиб ўтувчи сигналлар спектрлари ҳам қўлланилади, шундай қилиб, сигналнинг юқори частотали ва шовқинли қисми вақт мобайнида ўз амплитудасини ўзгартиради, яъни у маълум паст

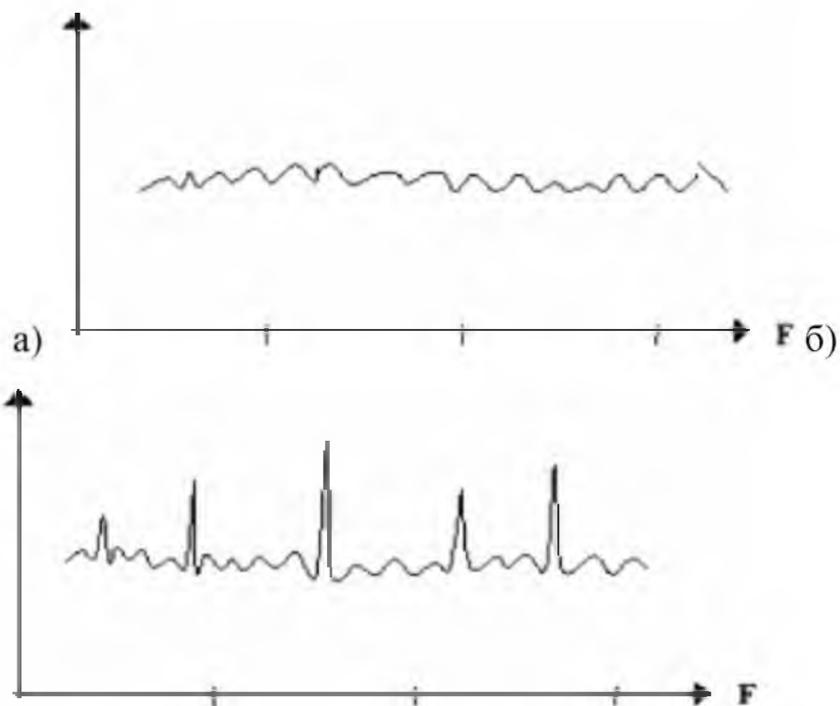
частотали сигнал билан модуляцияланади. Айнан мана шу модуляцияловчи сигналда тадқиқ этилаётган электр двигателнинг ҳолати ҳақида барча маълумотлар тўпланган. Мазкур маълумотларни ажратиб олиш ва унга ишлов бериш – ушбу методнинг асосини ташкил этади.

Агар вибродатчикдан олинadиган кенг чизмқли сигнал модуляциясини таҳлил қилмай туриб, тахминан 4 дан 32 кГц гача бўлган диапазонда вибросигналнинг чизикли фильтрациясини амалга ошириш ва мана шу сигналнинг модуляциясини таҳлил қилиш зарур. Шундай қилиб, фильтрацияланган сигнал детекцияланади, яъни модуляцияловчи сигнал ажратиб олинади (у “сигнални айланиб ўтувчиси” деб ҳам аталади) ва тор чизикли спектр анализаторига узатилади. Натижада модуляцияловчи сигнал спектри ёки айланиб ўтувчи спектри олинади [46-48].

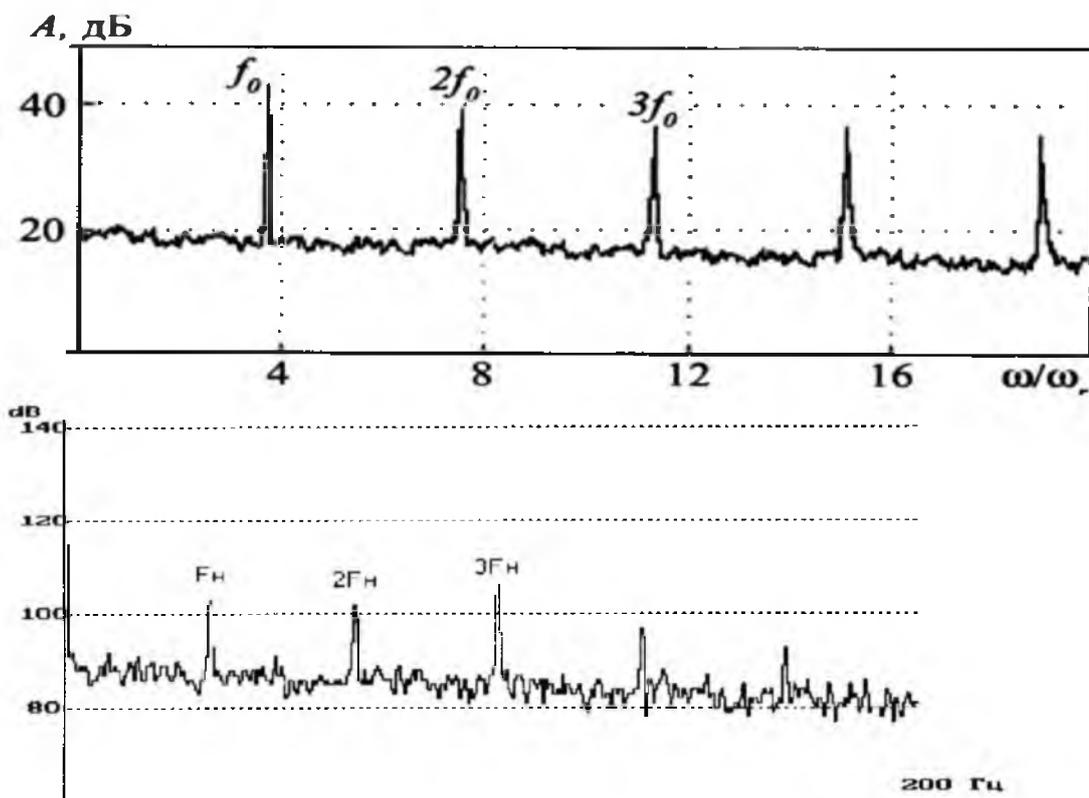
Сигналга айланиб ўтувчи спектр таҳлили методи ёрдамида ишлов бериш мураккаб, аммо жуда самарали. Подшипникнинг айрим кичик нуқсонлари паст ва ўрта частота даражаларида сезиларли вибрацияларни бера олмайди. Шу билан бир қаторда, юқори частотали вибрация шовқинларининг модуляцияси учун вужудга келаётган зарблар энергияси етарли. Шундай қилиб, мазкур метод юқори сезувчанликка эга. Сигналнинг айланиб ўтувчиси спектри ўзига хос кўринишга эга, яъни нуқсонлар мавжуд бўлмаган ҳолатда горизонтал кичик тўлқинли линияни ташкил этади, носозликлар аниқланганда эса, умумий фон линияси устида дискрет таркибий қисмлар кўринади, уларнинг частоталари электр двигатели юмалаш подшипникларининг кинематикаси ва айланмаси бўйича ҳисобланади. Айланиб ўтувчининг спектр таҳлили частотали таркиби нуқсонларнинг мавжудлигини идентификациялайди, мос равишдаги таркибий қисмларнинг фон устидан ошиб кетиши эса ҳар бир нуқсоннинг чуқурлигини ифодалайди. Кўриниш ўзгарганда, модуляциянинг нуқсон частотаси ўзгаради. Нуқсоннинг ривожланиш даражаси қанча катта бўлса, модуляция чуқурлиги ҳам шунча катта

булади, яъни частота модуляцияси нуқсоннинг турини аниқласа, чуқурлик модуляцияси унинг ривожланиш даражасини аниқлайди [43-46].

1.7. ва 1.8-расмларда вибрациянинг айланиб ўтувчиси спектрларининг намунавий мисоллари келтирилган.



1.5-расм. Сигналнинг айланиб ўтувчиси спектри: а) электродвигателнинг нуқсонсиз подшипник узели; б) электродвигателнинг нуқсонли узели



1.6-расм. Вибрациянинг айланиб ўтувчиси спектри

Методнинг асосий афзаллиги – юқори сезувчанлик, катта ҳажмдаги маълумот узатиш имконияти ва тўсиқлардан ҳимояланганлик, ҳар бир нуқсоннинг тури ва катталигини аниқлашдаги юқори ишонччилик, шунингдек, нуқсонларни локализациялаш имконияти. Ишлов бериш алгоритми ва таҳлил компьютер техникасидан фойдаланган ҳолда амалга оширилади. Методларни қўллаш самарадорлигини баҳолаш натижалари методлар тавсифи 1.1-жадвалда келтирилган. Унда параметрларнинг максимал баҳоси бешта плюс билан берилган [44-49].

Вибродиагностика методларини баҳолашнинг таққослаш характеристикаси

1.2. жадвал

№	Параметрлар	Вибродиагностика методларини баҳолаш			
		ПИК-фактор	Тўғридан-тўғри спектр	Зарбли импульслар	Айланиб ўтувчи спектри
1	Вужудга келаётган нуқсонлар диагностикаси	—	+	+++	+++++
2	Ривожланган нуқсонлар диагностикаси	++	+++	+++++	+++++

3	Бир маротабали ўлчаш натижаларига кўра ҳолатни баҳолаш	+	++	+++++	+++++
4	Вақт мобайнида вибропараметрнинг ўзгаришини кузатишда ҳолатни баҳолаш	+++	++++	+++++	+++++
5	Кинематика ва смазка бўйича подшипник ҳолатини ажратиш	—	—	+++	—
6	Аниқ манбалар билан подшипник кинематикасининг ўзгаришларини идентификация қилиш (юмалаш жисмлари, подшипникнинг ташқи ва ички ҳалқалари, сепаратор, перекосларва б.)	—	+++	—	+++ ++
7	Тўсиқлардан ҳимояланганлик	+	++	++++	+++++
8	Аппаратура жиҳатидан виброназоратнинг оддий портатив воситалари билан амалга оширилади	+++++	++	++++	++
9	Спектр таҳлили функцияларига эга бўлган аппарататура воситалари мураккаб, бироқ самарали	—	++++	—	+++++

Диагностиканинг турли тизимларини такқослаш мақсадида 1.2-жадвалда келтирилган ишончлилик кўрсаткичларидан [5] фойдаланилади. Мазкур жадвалда тортиш электр двигателларининг подшипник узеллари нуқсонларини аниқлашдаги ишончлилик кўрсаткичлари берилган.

1.3. Локомотив тортиш электр двигателларининг вибродиагностикаси

Диагностикалаш воситаларини татбиқ этиш тортиш электр двигателларини эксплуатация қилишнинг ишончилиги ва самарадорлигини оширишда муҳим омиллардан бири эканлигини мамлакатимиз ва чет эл тажрибаси кўрсатади. Локомотив тортиш электр двигателларини диагностикалаш мақсадида ҳозирги кунда бир қанча диагностика усуллари қўлланилмоқда, шулар ичида энг тарқалган тури – вибродиагностика саналади [38,49].

Вибродиагностика – илмий-техника фанларининг нисбатан янги соҳаси бўлиб, диагностикалаш тизимларидаги тебраниш жараёнларини таҳлил қилиш асосида техник табиатга эга бўлган объектларда носозликларни излаш ва аниқлашнинг назарияси, методлари ва воситаларини ўз ичига олади. У электр двигателнинг техник ҳолати

хакидаги маълумотларга эга бўлган тест ёки функционал таъсирлар натижасида кўзгалувчи вибросигнал спектри ва тебраниш тизимлари кўринишида намоён бўлади.

Локомотив тортиш электр двигатели вибродиагностикаси эксплуатация жараёнида вибрацияни келтириб чиқарувчи нуқсонларни тадқиқ этиш усули бўлиб, барча турдаги нуқсонлар ривожланишининг дастлабки босқичида уларни аниқлаш, кутилаётган таъмирлаш ишларини режалаштириш имконини тақдим этувчи меъёрий эксплуатация ресурсини прогнозлаш, шунингдек, локомотивнинг туриб қолиш вақтини қисқартириш ҳамда эксплуатация босқичида электр двигателининг ишончилигини ошириш, эҳтимолий ишдан чиқишлар, авариялар ва бузилишлар олдини олишнинг самарали методларидан бири саналади.

Вибрация – мувозанат ҳолатига нисбатан механик тебранишларда қаттиқ жисм ёки унинг нуқталари кичик ҳаракатланиши бўлиб, бунда вақт бўйлаб камида битта координатнинг навбатма-навбат ошиши ёки камайишидир. У динамик кучлар таъсирида кўзгалиб, емирилиш ва турли нуқсонларнинг вужудга келишига сабаб бўлади [50-51].

Конструкциянинг соддалиги ва частотали ростланувчи узатмаларнинг пайдо бўлиши, юқори ишончилик ва нисбатан арзонлиги боис локомотив тортиш электр двигателлари дунё бўйлаб кўпгина мамлакатларда кенг тарқалди.

Локомотив тортиш электр двигателларини вибродиагностика қилишнинг сўнгги натижаси биринчи даражали аҳамиятга эга, унга кўра локомотив тортиш электр двигателларини ишлаб чиқаришда, эксплуатацияда ва депо таъмиридаги техник ҳолатини аниқланади.

Қисқа туташувчи роторга эга бўлган локомотив тортиш электр двигателлари капитал таъмирсиз тўғри эксплуатация шарти билан 20-25 йил хизмат қилади. Асинхрон тортиш электр двигателларини тўғри эксплуатация қилиш деганда уларни асинхрон тортиш электр двигатели

паспортидаги маълумотларда белгиланган номинал параметрларга мос равишда эксплуатация қилиш тушунилади.

Бироқ локомотивни реал эксплуатация қилишда эксплуатациянинг номинал режимларидан чекиниш кузатилади. Бу, биринчи навбатда, техник эксплуатация қоидаларининг бузилиши, технологик юкланишлар, атроф-муҳит шароитлари (юқори намлик, ҳарорат), изоляция қаршилигининг камайиши, совутишнинг бузилиши, шунингдек, таъминловчи кучланишнинг сифатсизлиги билан боғлиқ. Бундай бузилишларнинг оқибатида авариялар, локомотивнинг туриб қолиши, авария асоратларини бартараф этиш, ишдан чиққан электр двигателини таъмирлаш билан боғлиқ бўлган моддий зарар етади [2].

Локомотив асинхрон электр двигателларида электр магнитли вибрацияларнинг частота бўйича таркибий қисмлари сони синхрон электр двигателлари ёки доимий токдаги электр двигателлариникига нисбатан анча кўп. Бу, ҳаво тирқишининг кичик катталиги ва асинхрон тортиш электр двигатели статорининг айланувчи магнит майдонига нисбатан роторнинг сирпаниши билан ифодаланади. Локомотив асинхрон электр двигателларининг магнит майдони иккита асосий частота билан ифодаланади, булар – таъминловчи кучланишнинг бурчак частотаси ва тўлқин ҳаракатланишининг айланали тезлиги билан аниқланадиган магнит майдонининг асосий бўшлиқ тўлқини айланишининг частотаси.

Ротор ва статорнинг магнит ҳаракатлантирувчи кучи гармоникалари тирқишда магнит майдоннинг мос равишдаги таркибий қисмларини вужудга келтиради, улар эса электр магнитли тебраниш кучларининг манбалари саналади. Магнит майдоннинг мазкур таркибий қисмлари электр двигатели статори ва ротори чулгамидаги тоқлар билан ўзаро таъсирга киришади ва тангенциал электр динамик доимий қийматлар ҳамда тебраниш кучларини яратади. Тебраниш кучлари таъсирининг ўзига хослиги бўшлиқдаги тўлқинли характерга эга.

Нуксонлари мавжуд бўлмаган локомотив тортиш электр двигателларида тебраниш кучлари роторнинг ташки юзаси бўйлаб интеграцияланиб кискаради, роторга таъсир этувчи тебраниш кучларийигиндиси нолга тенг. Вибрация частотаси билан қўзгалувчи амплитуда унинг подшипник шитларида ёки электр двигатели корпусидаги нукталарини диагностикалаш натижасида ротор ва юмалаш подшипниклари, подшипник шитлари ва маҳкамлаш узелларининг каттиклиги аниқланади. Тиркишнинг катта эксцентриситетида вибрациянинг мазкур таркибий қисми локомотив тортиш электр двигателларининг паст частотали вибрацияси аниқланади [5].

Эксплуатация жараёнида асинхрон тортиш электр двигателининг бузилишлари вужудга келиши мумкин, бу эса унинг тез орада ишдан чиқишига олиб келади. Эксплуатация жараёнида асинхрон тортиш электр двигателининг кескин бузилиши жиддий оқибатларга олиб келиши мумкин. Шу боис нуксонлар ривожланишининг дастлабки босқичларида уларни аниқлаш ва электр двигателининг жиддий бузилишини олдини олиш зарур [6].

Тортиш электр двигателини вибродиагностика қилиш куйидагиларни аниқлаш имконини беради [38]:

- нуксоннинг сабаблари ва уни келтириб чиқарган ҳамда ривожланишига олиб келган шароитларни аниқлаш, уларга таъсир этувчи омилларни баҳолаш, шунингдек, ресурсни прогнозлаш;
- нуксон ёки носозликни ўз вақтида бартараф этиш, ишдан чиқишларни аниқлаш борасида локомотив паркиннинг ўртача наработкасини ошириш;
- эксплуатация жараёнида нуксонларнинг юзага чиқиш интенсивлигини камайтириш;
- нуксонларни бартараф этишга қаратилган чоратadbирларни ишлаб чиқиш ва тадбиқ этиш бўйича ишларни яхшилаш;

- нуксонларни бартараф этишга қаратилган чора-тадбирларнинг самарадорлигини баҳолаш ва тадбиқ этиш учун энг самарали тадбирларни танлаш;
- нуксонларнинг олдини олиш ва носозликларни бартараф этишга қаратилган чора-тадбирларни тадбиқ этишга сарф-харажатларни камайтириш туфайли иқтисодий эффектга (тежамкорлик) эришиш;
- асинхрон тортиш электр двигателларининг эксплуатацион ишончилигини қайта тиклаш жараёнини тезлаштириш.

Электр магнитли вибрациялар табиати барча турдаги электр двигателлар учун умумий саналади, бироқ улар ичида асинхрон электр двигателлари мураккаб турдаги электр магнит майдони, электр ва механик энергиянинг ўзаро ўзгариш жараёнларининг ўзига хослиги, индивидуал конструктив хусусиятларга эга бўлиб, ҳар бир конкрет электр двигатели вибрацияларга катта таъсир кўрсатиши мумкин. Электр магнит келиб чиқиш табиатига эга бўлган ва электр двигателининг ротори ва статори билан боғлиқ бўлган вибрациялар электр занжирларнинг носимметриклиги ва магнитли занжирларнинг нозизиқлигини келтириб чиқаради [38].

Асинхрон тортиш электр двигатели юмалаш подшипникларининг эксплуатация даврида вужудга келувчи нуксонлариподшипник узелларининг иши билан белгиланувчи электр двигатели вибрацияларининг барча таркибий қисмларига таъсир кўрсатади. Бундай нуксонлар подшипникдаги ишқаланиш кучларининг хусусиятларига ва улар таъсирида кўзгалувчи электр двигатели подшипник узелининг юқори частотали тасодифий вибрациясига таъсир кўрсатади. Мазкур турдаги вибрацияларни вибрацияларнинг паст частотали таркибий қисмлари методлари ёрдамида ўрганиш, шунингдек, бундай методлар ёрдамида нафақат подшипник узеллари, балки тўлиқ тарзда тортиш электр двигателини тадқиқ этиш мумкин. Тадқиқ этишнинг энг самарали методи –

айланиб ўтувчининг спектр таҳлили саналади, мазкур метод юқори даражадаги аниқ маълумот узатиш ва тўсиқлардан ҳимояланганлик каби хусусиятларига эга [52].

2-БЎЛИМ. ХАРАКАТ ТАРКИБИ ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ДИАГНОСТИКА МЕТОДИНИ ИШЛАБ ЧИКИШ

2.1. Харакат таркиби тортув электродвигателларининг виброкузгатувчи кучлар диагностика моделини ишлаб чиқиш.

Локомотив тортув электродвигатели ундан фойдаланиш жараёнида юзага келадиган ностационар юкламалар таъсирида бўлиши мумкин.

Локомотивнинг қисқа туташтирилган роторли асинхрон электродвигателлари эксплуатацияси жараёнида асосан механик ва электрмагнит виброкузгатувчи кучлар учрайдилар: мос равишда, механик виброкузгатувчи кучлар роторнинг мувозанатсизланганлиги, ўқлар номувофиклиги, подшипниклар қийшайиши ва уларнинг нуқсонларига олиб келиб, электрмагнитвиброкузгатувчи кучлар эса ротор стерженлари узилиши, қисқа туташтирилган ҳалкалар бўгинларининг узилишини келтириб чиқарадилар. Локомотив қисқа туташтирилган роторли асинхрон электродвигателларини таъмирлаш характери ва уни эксплуатация қилиш имкониятлари ва муддатлари, унинг таъмирлашга чиқишига баҳо беришқўп жиҳатдан пайдо бўлган носозлик турига боғлиқ. Шунинг учун локомотив қисқа туташтирилган роторли асинхрон электр двигателлари техник ҳолатини баҳолашда пайдо бўлаётган нуқсонларни аниқлашнинг ўзи эмас, балки шикастланиш турини аниқлаштириш мақсадга мувофиқ.

Эксплуатацияда локомотив асинхрон электр двигателларининг юзага келадиган носозликлари улар вибрацияланиш даражаси ва характери кучайиши билан кузатиладилар.

Юмалаш подшипниги вибрациясини келтириб чиқарадиган қўзғалишларнинг асосий манбалари бутайёрлаш ва йигишдаги технологик хатоликлар, эксплуатация жараёнидаги, зазорларга боғлиқ бўлган зарбли таъсирлар, юмалаш йўлаклари ва подшипник элементлари нуқсонлари,

хамда айланадиган элементлар мувозанатсизлашуви, каршилиқ кучлари ва ташқи кўзгатишлардир [4].

Локомотив асинхрон электр двигателлари конструкция материалларининг емирилишитолиқиш, шикастланишлар аста-секин йиғилиши, толиқиш дарзлари ҳосил бўлиши, уларнинг ривожланиши ва емирилиш кабилар таъсиридаги толиқиш оқибатида юз беради. Материалларнинг толиқиш туфайли емирилиш жараёнини шартли равишда уч босқичдан иборат деб тасаввур қилиш мумкин, яъни инкубациябосқичида дислокацияларни силжитиш, уларнинг тўсиқлар яқинида жамланиши, ҳамда говаклар юзага келиши билан боғлиқ толиқиш нуқсонлари ҳосил бўлади. Кейинги босқич – бу ўта кичик дарзнинг ҳосил бўлиш босқичи бўлиб, улар кристаллар панжараси говакланиб, бўшашиши натижасида ҳосил бўладилар. Емирилишнинг сўнгги босқичи бу микродарзларнинг ҳосил бўлиши, сўнг уларнинг ривожланиб, бутунлай емирилишидан иборат.

Локомотивнинг қиска туташтирилган роторли асинхрон электр двигателларида эксплуатация жараёнида, соф синусоидал магнит майдонидаги ҳаво зазорида, майдон спектри фақат асосий гармоникага эга бўлган вибрациялар юзага келади, яъни вибрациялар статорнинг ўқ чизигини деформациялайдиган радиал куч таъсирида пайдо бўладилар. Магнит майдонининг носинусоидаллиги сабабларини тортув электр двигателининг виброфаоллигининг кучайиши деб қараш лозим. Айрим деталлар, узеллар ваумуман асинхрон тортув электр двигателининг тебраниши шовқин ва вибрация юзага келишига олиб келиб, бунда жараён интенсивлиги виброқўзгатувчи кучларнгава материалларнинг қайишқоқ ва акустик хоссаларига, ҳамда унинг конструкциясига боғлиқ. Айтиш лозимки, механик сабаблар туфайли келиб чиққан виброқўзгатувчи кучларнинг орасидаайникса тортув электр двигателининг подшипник узеллари сабабли келиб чиққан кучлар катта ўрин тутиб, бунда шовқин ва вибрация манбаи интенсивлиги юмалаш подшипниклари ва подшипник

шитларининг шикастланишларига оид кўплаб омиллар билан боғлиқ. Локомотив асинхрон электр двигателининг механик келиб чиққан вибрацияланишининг асосий манбалари – айланадиган қисмларнинг мувозанатсизлиги, эксцентриситет мавжудлиги, турли-туман қийшайишлар, зазорлар ва подшипникларва подшипник шитларининг нуқсонлари, ўзаро таъсир қиладиган деталларнинг бир-бирига нисбатан силжишлари, мойлаш технологиясига риоя қилмаслик ва бошқа носозликлардир.

Локомотив асинхрон электр двигателларида электр магнитли вибрацияларнинг частота бўйича таркибий қисмлари сони синхрон электр двигателлари ёки доимий токдаги электр двигателлариникига нисбатан анча кўп. Бу, ҳаво тирқишининг кичик катталиги ва асинхрон тортиш электр двигатели статорининг айланувчи магнит майдонига нисбатан роторнинг сирпаниши билан ифодаланади. Локомотив асинхрон электр двигателларининг магнит майдони иккита асосий частота билан ифодаланади, булар – таъминловчи кучланишнинг бурчак частотаси ва тўлқин ҳаракатланишининг айланали тезлиги билан аниқланадиган магнит майдонининг асосий бўшлиқ тўлқини айланишининг частотаси.

Ротор ва статорнинг магнит ҳаракатлантирувчи кучи гармоникалари тирқишда магнит майдоннинг мос равишдаги таркибий қисмларини вужудга келтиради, улар эса электр магнитли тебраниш кучларининг манбалари саналади. Магнит майдоннинг мазкур таркибий қисмлари электр двигатели статори ва ротори чулгамидаги тоқлар билан ўзаро таъсирга киришади ва тангенциал электр динамик доимий қийматлар ҳамда тебраниш кучларини яратади. Тебраниш кучлари таъсирининг ўзига хослиги бўшлиқдаги тўлқинли характерга эга.

Нуқсонлари мавжуд бўлмаган локомотив тортиш электр двигателларида тебраниш кучлари роторнинг ташқи юзаси бўйлаб интеграцияланиб қисқаради, роторга таъсир этувчи тебраниш кучлари йигиндиси нолга тенг. Вибрация частотаси билан кўзгалувчи амплитуда

унинг подшипник шитларида ёки электр двигатели корпусидаги нукталарини диагностикалаш натижасида ротор ва юмалаш подшипниклари, подшипник шитлари ва маҳкамлаш узелларининг каттиклиги аниқланади. Туркишнинг катта эксцентриситетида вибрациянинг мазкур таркибий қисми локомотив тортиш электр двигателларининг паст частотали вибрацияси аниқланади [5].

Эксплуатация жараёнида асинхрон тортиш электр двигателининг бузилишлари вужудга келиши мумкин, бу эса унинг тез орада ишдан чиқишига олиб келади. Эксплуатация жараёнида асинхрон тортиш электр двигателининг кескин бузилиши жиддий оқибатларга олиб келиши мумкин. Шу боис нуксонлар ривожланишининг дастлабки босқичларида уларни аниқлаш ва электр двигателининг жиддий бузилишини олдини олиш зарур [6].

Тортиш электр двигателини вибродиагностика қилиш қуйидагиларни аниқлаш имконини беради [38]:

- нуксоннинг сабаблари ва уни келтириб чиқарган ҳамда ривожланишига олиб келган шароитларни аниқлаш, уларга таъсир этувчи омилларни баҳолаш, шунингдек, ресурсни прогнозлаш;
- нуксон ёки носозликни ўз вақтида бартараф этиш, ишдан чиқишларни аниқлаш борасида локомотив паркининг ўртача наработкасини ошириш;
- эксплуатация жараёнида нуксонларнинг юзага чиқиш интенсивлигини камайтириш;
- нуксонларни бартараф этишга қаратилган чоратадбирларни ишлаб чиқиш ва тадбиқ этиш бўйича ишларни яхшилаш;
- нуксонларни бартараф этишга қаратилган чоратадбирларнинг самарадорлигини баҳолаш ва тадбиқ этиш учун энг самарали тадбирларни танлаш;

- нуксонларнинг олдини олиш ва носозликларни бартараф этишга қаратилган чора-тадбирларни тадбиқ этишга сарф-харажатларни камайтириш туфайли иқтисодий эффектга (тежамкорлик) эришиш;
- асинхрон тортиш электр двигателларининг эксплуатацион ишончилигини қайта тиклаш жараёнини тезлаштириш.

Электр магнитли вибрациялар табиати барча турдаги электр двигателлар учун умумий саналади, бироқ улар ичида асинхрон электр двигателлари мураккаб турдаги электр магнит майдони, электр ва механик энергиянинг ўзаро ўзгариш жараёнларининг ўзига хослиги, индивидуал конструктив хусусиятларга эга бўлиб, ҳар бир конкрет электр двигатели вибрацияларга катта таъсир кўрсатиши мумкин. Электр магнит келиб чиқиш табиатига эга бўлган ва электр двигателининг ротори ва статори билан боғлиқ бўлган вибрациялар электр занжирларнинг носимметриклиги ва магнитли занжирларнинг нозичиқлигини келтириб чиқаради [38].

Диагностикаланиш воситаларини тадбиқ этиш тортиш электр двигателларини эксплуатация қилишнинг ишончилиги ва самарадорлигини оширишда муҳим омиллардан бири эканлигини мамлакатимиз ва чет эл тажрибаси кўрсатади. Локомотив тортиш электр двигателларини диагностикаланиш мақсадида ҳозирги кунда бир қанча диагностика усуллари қўлланилмоқда, шулар ичида энг тарқалган тури – вибродиагностика саналади [38,49].

Вибродиагностика – илмий-техника фанларининг нисбатан янги соҳаси бўлиб, диагностикаланиш тизимларидаги тебраниш жараёнларини таҳлил қилиш асосида техник табиатга эга бўлган объектларда носозликларни излаш ва аниқлашнинг назарияси, методлари ва воситаларини ўз ичига олади. У электр двигателнинг техник ҳолати ҳақидаги маълумотларга эга бўлган тест ёки функционал таъсирлар

натижасида кўзгалувчи вибросигнал спектри ва тебраниш тизимлари кўринишида намоён бўлади.

Локомотив тортиш электр двигатели вибродиагностикаси эксплуатация жараёнида вибрацияни келтириб чиқарувчи нуксонларни тадқиқ этиш усули бўлиб, барча турдаги нуксонлар ривожланишининг дастлабки босқичида уларни аниқлаш, кутилаётган таъмирлаш ишларини режалаштириш имконини тақдим этувчи меъёрий эксплуатация ресурсини прогнозлаш, шунингдек, локомотивнинг туриб қолиш вақтини қисқартириш ҳамда эксплуатация босқичида электр двигателининг ишончилигини ошириш, эҳтимолий ишдан чиқишлар, авариялар ва бузилишлар олдини олишнинг самарали методларидан бири саналади.

Вибрация – мувозанат ҳолатига нисбатан механик тебранишларда каттик жисм ёки унинг нукталари кичик ҳаракатланиши бўлиб, бунда вақт бўйлаб камида битта координатнинг навбатма-навбат ошиши ёки камайишидир. У динамик кучлар таъсирида кўзгалиб, емирилиш ва турли нуксонларнинг вужудга келишига сабаб бўлади [50-51].

Конструкциянинг соддалиги ва частотали ростланувчи узатмаларнинг пайдо бўлиши, юқори ишончалик ва нисбатан арзонлиги боис локомотив тортиш электр двигателлари дунё бўйлаб кўпгина мамлакатларда кенг тарқалди.

Локомотив тортиш электр двигателларини вибродиагностика қилишнинг сўнгги натижаси биринчи даражали аҳамиятга эга, унга кўра локомотив тортиш электр двигателларини ишлаб чиқаришда, эксплуатацияда ва депо таъмиридаги техник ҳолатини аниқланади.

Қисқа туташувчи роторга эга бўлган локомотив тортиш электр двигателлари капитал таъмирсиз тўғри эксплуатация шарти билан 20-25 йил хизмат қилади. Асинхрон тортиш электр двигателларини тўғри эксплуатация қилиш деганда уларни асинхрон тортиш электр двигатели паспортидаги маълумотларда белгиланган номинал параметрларга мос равишда эксплуатация қилиш тушунилади.

Бирок локомотивни реал эксплуатация килишда эксплуатациянинг номинал режимларидан чекиниш кузатилади. Бу, биринчи навбатда, техник эксплуатация коидаларининг бузилиши, технологик юкланишлар, атроф-муҳит шароитлари (юкори намлик, харорат), изоляция каршилигининг камайиши, совутишнинг бузилиши, шунингдек, таъминловчи кучланишнинг сифатсизлиги билан боғлиқ. Бундай бузилишларнинг оқибатида авариялар, локомотивнинг туриб қолиши, авария асоратларини бартараф этиш, ишдан чиккан электр двигателини таъмирлаш билан боғлиқ бўлган моддий зарар етади [2].

2.2. Локомотив асинхрон электр двигателларининг подшипник-ротор тизими учун мўлжалланган дифференциал тенглама

Юқорида айтилганларни ҳисобга олиб, инерция кучлари, тикловчи ва демпфирловчи кучлар, шунингдек подшипник ҳалқаси ички юзасига таъсир қиладиган доимий вертикал кучни ҳисобга олган ҳолда асосий тенгламалар тизими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m \ddot{x} + d \dot{x} + \sum_{i=1}^Z K[(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - (\delta + \Delta_s)]^n \cdot \sin \theta_i = F \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2.2.1)$$

$$m \ddot{y} + d \dot{y} + \sum_{i=1}^Z K[(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - (\delta + \Delta_s)]^n \cdot \sin \theta_i = F \cdot \cos(\omega \cdot t) + P_m \quad (2.2.2)$$

2.2.1. Тенгламалар тизими ўз қийматларини ҳисоблаб тоиш

(2.2.1) ва (2.2.2) тенгламалар иккинчи тартибга доир, параметрли кўзгатиш самарасига эга бўлган иккита нозикли оддий дифференциал тенглама тизимидан иборат.

Бу ерда, m – локомотив асинхрон электр двигателларининг ротори ва подшипниклар тутиб турган ички ҳалқанинг массаси; d – демпфирланиш коэффициенти; Z – шарчалар сони; i – шарчалар рақами ($i=1,2,3 \dots Z$); δ – подшипникдаги радиалзазор; K – контакт каттиклиги коэффициенти;

Бошлангич силжиш қуйидаги кўринишда ёзиб олинади: $x = x_1 - x_2$;

$y = y_1 - y_2$;

2.2.2. Шарчалар (роликлар) контакти ва юмалаш подшипникларининг ҳалқаларидаги қаттиқликни аниқлаш

Қаттиқлик коэффициенти (қаттиқлик) – тикловчи куч ёки момент тавсифининг карама-қарши белги билан олинган ҳосиласи. Тикловчи куч (момент) тизимнинг мувозанат ҳолатидан четлашганида юзага келиб, у ана шу четлашишга нисбатан тесқари, карама-қарши йўлланган. Шарчалар (роликлар) ва подшипник ҳалқалари контактидаги қаттиқлик контактли қайишқоқлик назарияси асосида аниқланиши мумкин [18,21,32,37].

Юмалашподшипнигининградиал қаттиқлиги доимий бўлмай, ҳалқалар яқинлашиши ва юмалаш жисмлари комплектининг бурилиш бурчагига боғлиқ.

Бундан ташқари, цикли юмалаш подшипнигининг радиал қаттиқлиги шарчалар комплектининг ташқи юкламанинг юмалаш жисмлари қўзғалмас (ташқи) ҳалқа бўйлаб ўтиш (мелькание) частотасининг йўналишига нисбатан ўзгариб туриши мумкин.

Подшипникнинг қайишқоқ тавсифини аниқлаш мақсадида шарчалар комплектининг 2.1-расмда берилган нол зазор (таранглик) ҳолати учун ташқи радиал юклама йўналишига нисбатан ихтиёрий ҳолатини кўриб чиқамиз.Юклама вертикал тушган бўлиб, юмалаш жисмлари комплектининг ҳолатибурилиш бурчаги φ билан берилади. Юклама подшипникнинг горизонтал ўқидан қуйида жойлашган юмалаш жисмлари орасида тақсимланади.

Юмалаш подшипнигининградиал қаттиқлиги, шундай қилиб, юмалаш жисмлари комплектининг силжиши ва бурилиш бурчагига боғлиқ.

Юмалашжисмлари комплектинингбурилиш бурчаги φ вақти-вақти билан (аррасимон қонунга биноан) $-\beta/2$ дан $\beta/2$ гача бўлган ораликда шарчаларнинг подшипник ҳалқаларидан биттадан липиллаб ўтиш частотаси ташқи юкламанинг характериға боғлиқ равишда ўзгариб туради.

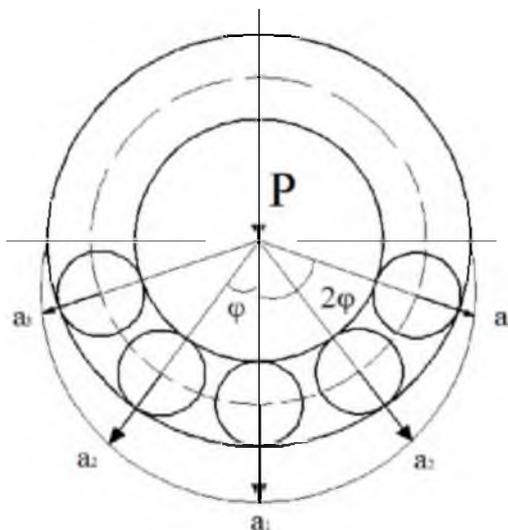
Ўзгариш тезлиги φ тегишли халқанинг равна сепараторга нисбатан айланиш бурчак тезлигига тенг.

2.3. Юмалаш жисмларинингякка куч таъсиридан пайдо бўладиган контакт босимлари

Маълумки, юмалаш подшипникларинингхизмат қилиш муддати бевосита вибрацион юкламага боғлиқ. Масалан, ротор таянч реакциясига тенг бўлган марказдан қочма кучни ҳосил қиладиган дисбаланс амал қилганида подшипникларнинг ишлаш муддати тахминан беш марта қисқарар экан.

Радиал юкланган юмалаш подшипникларида, масалан, ротор огирлиги билан ҳосил қилинадиган юклама тақсимланадиган юмалаш жисмларининг сониюмалаш жисмлари ва юмалаш йўлкалари орасидаги радиал тирқиш катталигига боғлиқ. Зазор ўлчами кичкина бўлганида юк тушадиган юмалаш жисмларинингсони ўч-тўрттани ташкил қилса, катта зазорларда эса икки-учтадан ортмайди. Подшипниксепараторининг айланиши юк тушган юмалаш жисмларинингсони бир бирликка сепаратор айланиш частотасига каррали частота билан ўзгаришига олиб келиб, бунда карралик юмалаш жисмларинингсони Z га тенг.

Z бўлганидаги (шарчалар сони) якка юклама таъсиридан тушадиган контакт кучларининг тақсимланиши 2.1-расмда кўрсатилган.



2.3.1-расм. Якка юкламадан тушадиган контакт кучларининг тақсимланиши

$$a_1 = a_0; \quad a_2 = a_0 \cdot \cos \varphi, \quad a_3 = a_0 \cdot \cos 2\varphi \text{ деб қабул қиламиз}$$

$$\text{Бу ҳолда, } \varphi = \frac{\pi}{6}$$

$$a_0 + 2a_0 \cdot \cos \varphi + 2a_0 \cdot \cos 2\varphi = P \text{ эканлигини ҳисобга олиб,} \\ (2.3)$$

Бундан,

$$a_0 = a_1 = 0.268 \quad a_2 = 0.232 \quad a_3 = 0.134$$

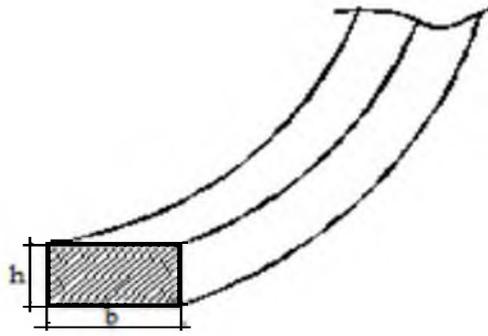
2.4 Локомотив тортув электрдвигателлари подшипнигининг букилишга мойиллигини аниқлаш

Мойиллик коэффициенти – бу каттиклик коэффициентиға тескари, карама-қарши катталик.

Комплекс қаттиклик – чизиқли тизимнинг гармоний мажбурий вибрацияланишида гармоник мажбурловчи куч амплитудасининг силжиш комплекс амплитудасига нисбатидир.

Подшипникнинг букилишга мойилликлари δ_k Максвелл-Мор формулалари асосида 2.1-жадвалда келтирилган энергетика услуби ёрдамида аниқланган. [78] маълумотнома(справочник)да келтирилган подшипник материалининг қайишқоқлик модули $E=2.1 \times 10^{11} \left(\frac{H}{m^2}\right)$ га тенг;

Подшипник халқаси кўндаланг кесимининг инерция моменти 3.6-расмда кўрсатилган ана шу формула $J = \frac{b \cdot h^3}{12}$ (мм⁴) бўйича аниқланади; уни кўпайтириб, подшипник халқаси кўндаланг кесимининг букилишга каттиклигига эга бўламиз $EJ = 6.114 \times 10^6$ (Н м²),



2.4.1-расм. Подшипник ташки халкасининг кўндаланг кесими
 Мойиллик коэффициенти δ_k : ни аниқлаймиз.

$$\delta_k = \frac{1}{K} \quad (2.4)$$

$$\delta_k = \delta_{1k} + 2 \cdot \delta_{2k} + 2 \cdot \delta_{3k} \quad (2.5)$$

δ_{1k} - 2.5-расмда кўрсатилган a_1 дан силжиш.

δ_{2k} - силжиш $2a_2$ дан;

δ_{3k} - силжиш $2a_3$ дан;

Олинган натижаларни интеграциялаш ва жамлаш билан ишлов берилувчанлик коэффициенти аниқлаймиз:

$$\delta_{1k} = \frac{\pi \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (2.6)$$

$$\delta_{2k} = \frac{2.767 \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (2.7)$$

$$\delta_{3k} = \frac{2.56 \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (2.8)$$

$$\delta_k = \frac{2.82 \cdot R^3}{EJ} \quad (2.9)$$

Агар ана шу формулаларда радиал юклама бирга тенг деб олинса, у холда букилувчанликка эквивалент катталиқка эга бўламиз.

Контакт ўрнидаги каттиклик қуйидагига тенг бўлади:

$$K = \frac{1}{\delta_k} = \frac{EJ}{2.82 \cdot R^3}, \quad (2.10)$$

бунда, δ_k - роторга кўйилган якка куч таъсиридан деформацияланиш.

Агар юқорида келтирилган формулаларга локомотив асинхрон электр двигателлари **80-315Ш15** туркумли шарикли подшипникларининг тегишли параметрлари кўйилса, у холда шарча ва халкалар ўртасидаги контакт каттиклигига келтирилган катталиқка эга бўламиз $K = 1.873 \times 10^9 \left(\frac{H}{M}\right)$. Бу катталиқдан (K) дифференциал тенгламаларни хал қилишда фойдаланилган.

Локомотив асинхрон электродвигатели вибрацияси, одатда, мураккаб тузилмага эга бўлиб, турли шаклдаги детерминацияланган ва тасодифий компонентлардан ташкил топган. Вибрацияланишни вақтга боғлиқ равишда таҳлил қилишнинг энг содда тури қийматига кўра қолган компонентлардан анча катта, ёки вибрация сигналидан аввалдан ажратиб олинмаган айрим вибрация компонентларининг шаклини аниқлаб олиш ҳисобланади [8].

2.5. Локомотив тортув электродвигателлари юмалаш подшипниги сепараторининг математик моделини ишлаб чиқиш

Локомотивлар асинхрон электродвигателларининг ротор ўқлари ва валларида ўрнатилмаган подшипникли узеллари ўта муҳим конструктив элемент ҳисобланиб, ҳаракатланувчи таркибнинг ҳаракатланиш хавфсизлиги кўп жиҳатдан уларнинг техник ҳолатига боғлиқ.

Одним из основных элементов, ограничивающих долговечность катта тезликлар ва юкларлар шароитларида ишлайдиган юмалаш подшипникларининг узок муддат ишлашини чеклаб қўядиган асосий элементлардан бири сепаратор бўлиб, унинг шикастланиши ва ишдан

чиқиши подшипникнинг, ҳамда умуман асинхрон тортувэлектр двигателининг ресурси ва ишончлилигини чеклаб қўяди. Асинхрон тортув электр двигателларида қўлланадиган замонавий юмалаш подшипникларининг сепараторлари конструкцияси турли-туман бўлиб, қўп жихатдан таянчнинг юклама-тезлик параметрлари, унинг ҳароратга оид ҳолати ва мойлаш-совутиш муҳитининг тавсифлари билан белгиланади.

Роликли подшипник сепараториюмалаш подшипникларининг асосий элементларидан бири бўлиб, предназначенным для удержания элементов качения на соответствующем расстоянии друг от друга и предотвращает контакт между элементами качения, поддерживает равномерное качение тел по окружности подшипника, помогает улучшить условия работы юмалаш подшипникнинг. Также, обеспечивается низкий ишқаланиш коэффициенти и повышается КПД в условиях недостаточного смазывания подшипника.

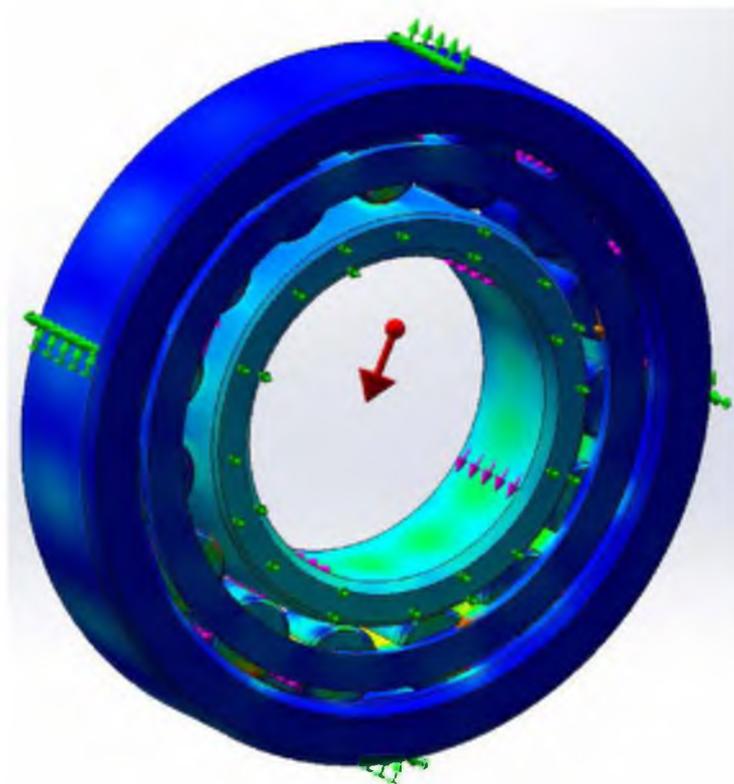
Инерция кучи йўл қўйиладиган чегараларнинг энг юқори қийматларига етиб, маълум вақт ўтгач, подшипниклар сепараторида сепараторнинг тўлиқ бузилишига олиб келиши мумкин бўлгантолиқиш дарзлари юзага келадилар. Бундан ташқари, юмалаш подшипникнинг сепаратори емирилишига тарли даражада мойламаслик, абразив заррачалар таъсири, шунингдек ташқи ифлосланишлар ҳам олиб келиши мумкин. Шу туфайли подшипникпоналаниши (тиқилиб қолиши) рўй бериб, бу бевосита подшипник сепарацияловчи қурилмасининг синишига олиб келади. Бироқ юмалаш подшипниксепараторлари емирилишининг асосий сабаблари ҳам мавжуд [1]:

- Вибрациялар;
- Ўта юқори айланиш частотаси;
- Едирилиш;
- Поналаниш (тиқилиб қолиш).

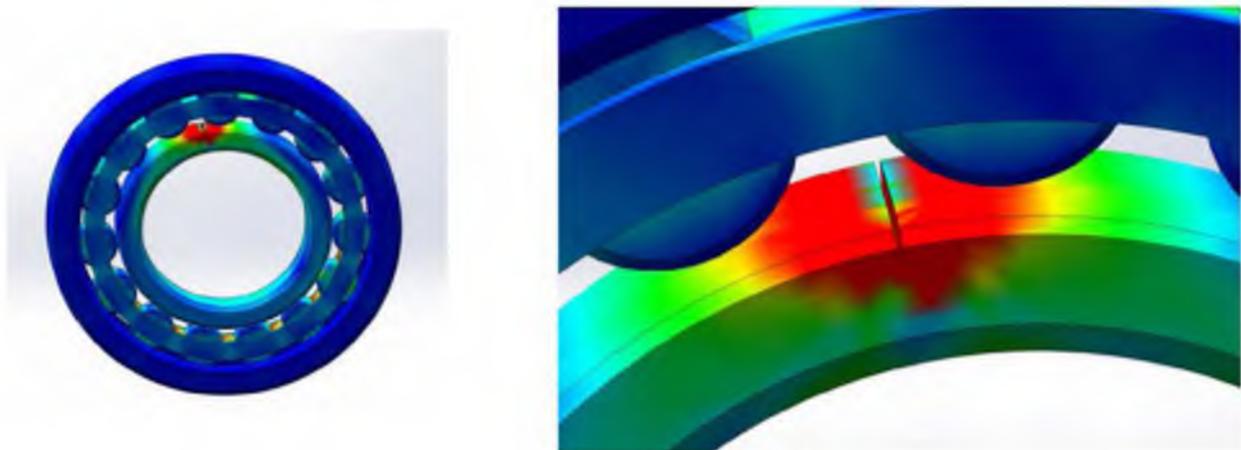
Агар юмалаш подшипнигивибрациялар шароитида ишлаётган бўлса, у ҳолда инерция кучларишунчалик катта буладики, бирмунча вақтдан сунг, сепаратор материалида толиқишдан дарз кетишлар пайдо була бошлайди.

Ўзгарувчан айланиш частотаси билан, яъни ўзгарувчан белгили тезлашиш шароитларида ишлайдиган подшипникларда сепараторга контакт жойларида каттагина сиқилиш зўриқишларини пайдо қиладиган ва шунга боғлиқ равишда кучли емирилиш келтириб чиқарадиган инерция кучлари таъсир қилади.

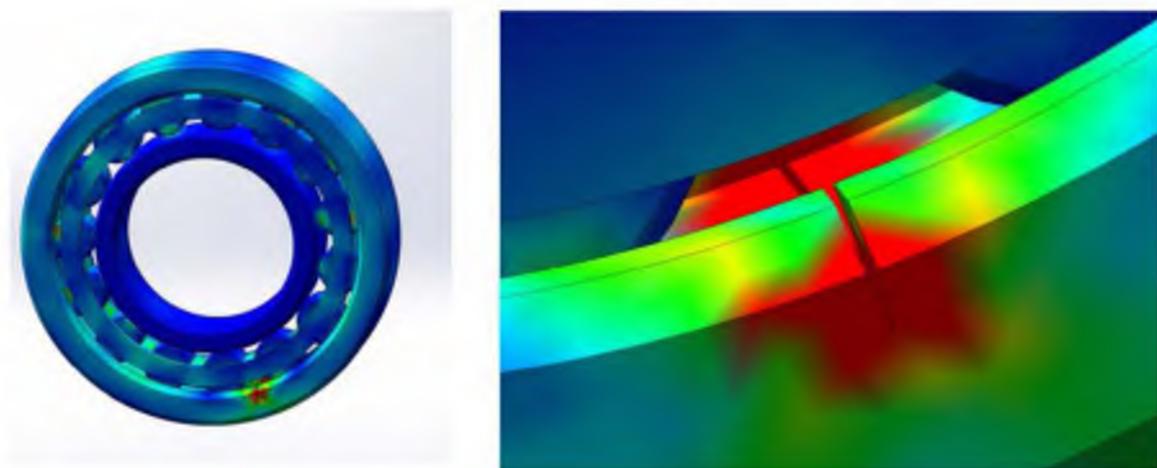
2.5.1-2.5.2-2.5.3- расмларда тадқиқотлар натижалари локомотив асинхрон электр двигателлариюмалаш подшипниклари элементларининг характерли нуқсонлари бўлганида, **SolidWorks 2015** дастури ёрдамида, келтирилган боғлиқликлар бўйича ҳисоблаб топилган юкламаларнинг рақамли қийматларини ҳисобга олган ҳолда олинган зўриқишлар (кучланишлар) интенсивлигининг тақсимланиши келтирилган:



2.5.1.-расм. Соз юмалаш подшипнигининг компьютер модели



2.5.2-расм. Юмалаш подшипниги ички ҳалқаси нуқсонинингкомпьютер модели

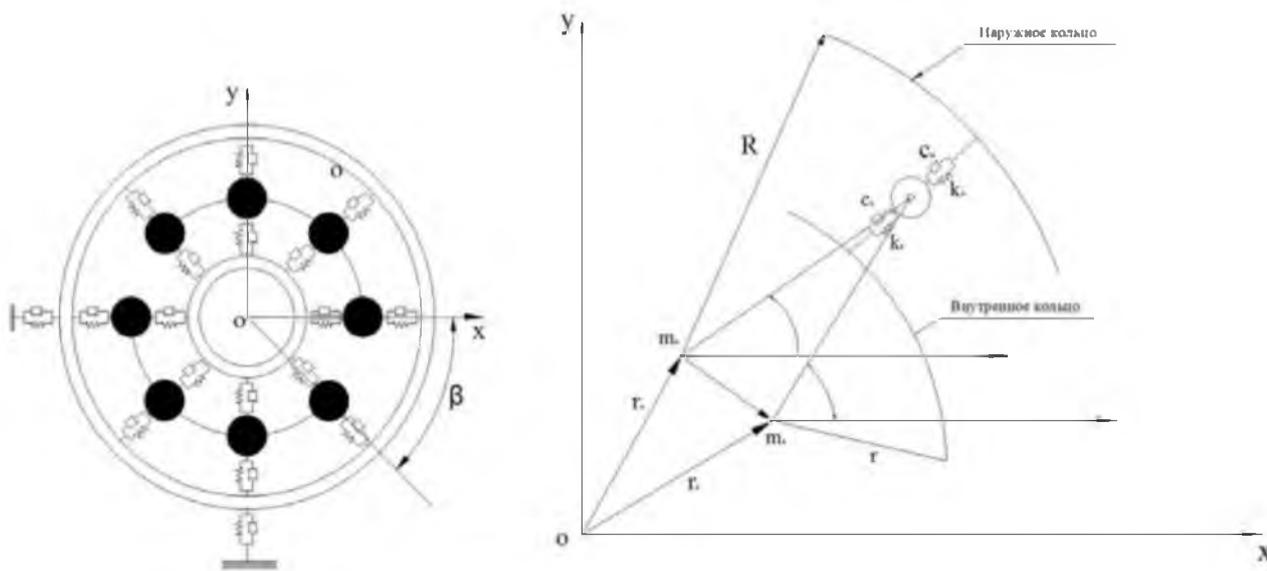


2.5.3-расм. Юмалаш подшипниги ташқи ҳалқаси нуқсонинингкомпьютер модели

2.6. Подшипник узели динамик моделини ишлаб чиқиш

Қўшимча кучлар юзага келишинингяна бир манбаи –ички радиал зазор, холати вақти-вақти билан ўзгариб турадиган шариклар (роликлар)нинг узил-кесил сони, шунингдек локомотив асинхрон электр двигателиподшипник узелинингички ва ташқи ҳалқаларида нуқсонлар мавжудлиги.Бу кучлар подшипник узели қаттиқлигининг вақти-вақти билан ўзгариб туриши оқибатида юзага келадилар. Подшипник узелидаги ўзгаришларни аниқроқ таҳлил қилиш учун барча элементлар вибрацияланишини биргаликда кўриб чиқиш керак.

Юмалаш подшипнигининг геометрик параметрлари танлаб олиниб,
2.6.1-расмдаги каби кўрсатилган.



2.6.1-расм. Шарикли подшипникнинг динамик модели

Виброқўзгатувчи кучлар ва моментлар вақтнинг нозикли ва узлуксиз бўлмаган функциялари ҳисобланиб, бу дифференциал тенгламаларни ҳал қилишнинг аналитик тадқиқ этилишини анча қийинлаштиради.

Қаттиқлик ўзгаришининг ана шундай манбаларини ҳисобга олиб, локомотив асинхрон электр двигатели подшипник-ротор тизими тебранишларининг умумлаштирилган дифференциалтенгламаси тузилиб, у қуйидаги шаклда ёзиб олиниши мумкин:

$$M\ddot{X} + D\dot{X} + KX = f(X, \dot{X}, \omega, t) + P_m \quad (2.6.1)$$

бунда, M – роторнинг инерцион хоссаларини тавсифлаб келадиган матрица; D –демпфирлаш ва гироскопик кучлар матричаси; K – қаттиқлик матричаси; $\ddot{X} \dot{X} X$ – мос равишда вибротезлашишлар, вибротезликлар ва вибросилжишлар устунлари; P_m – оғирлик кучи;

$f(X, \dot{X}, \omega, t)$ – ротор тизими силжишлари ва тезликларига боғлиқ бўлган подшипникларда юзага келадиган, виброқўзгатувчимувозанатсизланган кучларнинг вектори.

Энг содда кўринишда ташқи кўзгалиш даврий имиульситенгламанинг ўнг қисмида жойлашган функция билан тақдим этилиши мумкин:

$$f(t)=F \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2.6.2)$$

бунда, F - шарча нуксон (дарз) якинидан ўтганидаги зарб кучи;
 ω – роторнинг айланиш частотаси; t – вақт;

Бу ҳолда дифференциал тенглама тизимларини куйидаги кўринишда ёзиб олиш мумкин:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} + d \cdot \dot{x} + k \cdot x = F \cdot \sin(\omega t + \varphi) \\ m \cdot \ddot{y} + d \cdot \dot{y} + k \cdot y = F \cdot \cos(\omega t + \varphi) + P_m \end{cases} \quad (2.6.3)$$

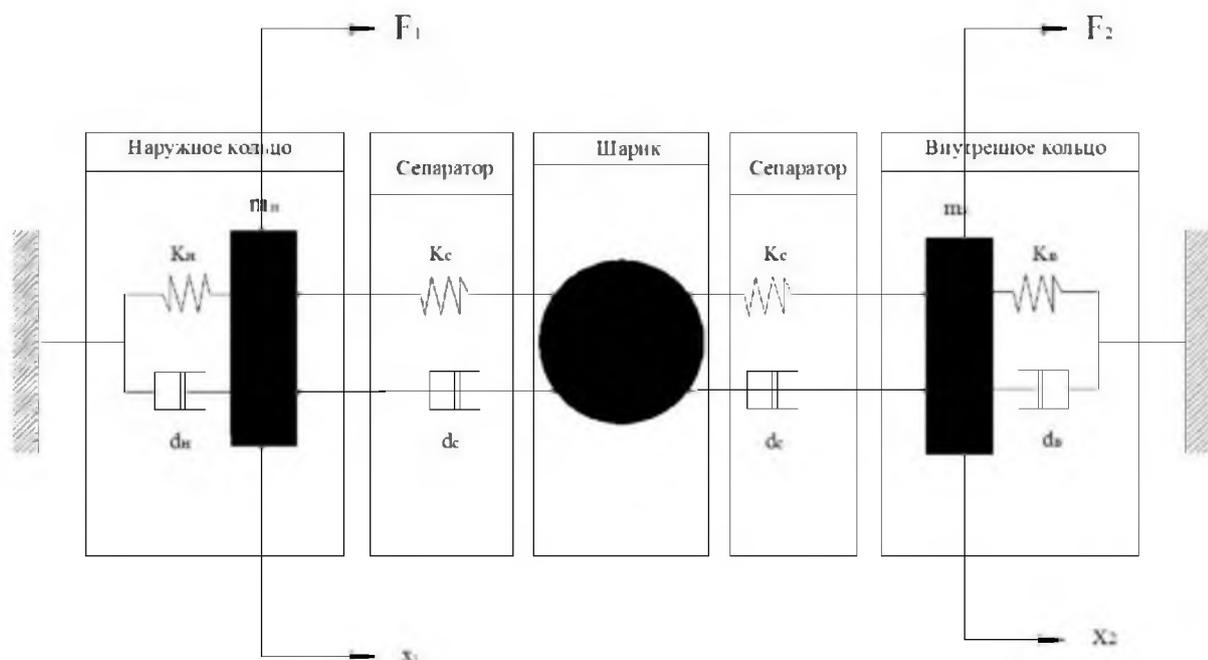
Дифференциал тенглама Коши формати кўринишида тақдим этилади

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -d/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ F \cdot \sin(\omega t + \varphi) \end{bmatrix} \quad (2.6.4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -d/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ F \cdot \cos(\omega t + \varphi) + P_m \end{bmatrix} \quad (2.6.5)$$

Локомотив асинхрон электр двигателлари юмалаш подшипнигининг ўз частоталари ва амплитуда-частота тавсифлари ҳисоби натижалари графиклар тарзида тақдим этилган. Ҳисоб-китоблар **MATLABR2012b** дастури ёрдамида бажарилган бўлиб, ечим тақдим этилади (diff.m файли, қар. 1-иловада).

Мисол тариқасида 1-расмда келтирилган 2 погона (даража) эркинликка эга бўлган механик тебратувчи тизимларнинг диссипатив параметрларини диагностика қилиш масаласини кўриб чиқамиз.



2.6.2-расм. Шарикли подшипник динамик моделининг принципиал схемаси

Ҳозирги кунда асинхрон тортиш электр двигателларининг асосий сифат кўрсаткичларидан бири – бу уларнинг ишончилигидир, яъни белгиланган хизмат муддати давомида унинг ишлаш қобилиятини таъминлаш, бироқ амалда электр двигателлар ва уларнинг узелларини эксплуатация қилиш муддати заводда белгиланган муддатдан анча кам.

Локомотив тортиш электр двигателларининг техник ҳолатини баҳолаш учун унинг нуқсонлари ва носозликлари хусусиятини аниқлаш зарур. Локомотив тортиш электр двигателларининг нуқсонлари ва носозликлари ички ва ташқига ажратилади.

Локомотив тортиш электр двигателларининг ташқи нуқсонлари ва носозликларига қуйидагилар киради [9]: асинхрон тортиш электр двигателларини тармоқ билан улайдиган битта ёки бир нечта кабелларнинг узилиши, ёки уларнинг нотўғри уланиши, сақлагичнинг куйиши ёки унинг нуқсонлари, таъминотнинг жуда паст ёки юқори кучланиши, локомотив тортиш электр двигателларнинг ортиқча юкланиши, вентиляция шароитларининг ёмонлашуви ёки вентиляция каналларининг

ифлосланиши, натижада электр двигатели номинал юкланишда ҳам қизиб кетади, асинхрон тортиш электр двигателлари корпуси маҳкамловчи болтларининг бўшаб қолиши.

3-БЎЛИМ. ТОРТУВ ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛИНИНГ ВИБРОҚЎЗГАТУВЧИ КУЧЛАР МОДЕЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

3.1. Ротор ва подшипник нуқсонлари мавжуд бўлганида механик виброқўзгатувчи кучларни аниқлаш

Локомотивкага туташган роторли электродвигателларининг механик виброқўзгатувчи кучлари подшипникларнинг мувозанатсизлиги ва нуқсонлари билан боғлиқ.

Айланаётган ва радиал тирқишли подшипникларга эга бўлган роторнинг мувозанатсизлиги, ҳатто уларнинг тўғри шаклдан четлашишини ҳисобга олмаган ҳолда ҳам, вал айланиш частотасига қаррали частоталарга эга полигармоник кучларни келтириб чиқаради [61].

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} s_k M \varepsilon \omega_k^2 \cos \omega_k t, \quad (3.1)$$

бунда s_k - ротор силжишининг таркибий қисми;

M - ротор массаси;

ε - эксцентриситет;

ω_k - ротор айланиш частотасига қаррали бурчак частотаси.

Ротор мувозанатсизлигига уфайли келиб чиққан кучлар учун мўлжалланган ифода (2.1), ротор ҳажмидаги мувозанатсиз массанинг аввалдан (априори) маълум тақсимланиш содда ҳолатини баён этади. Умумий мувозанатсизлик ҳолати учун шу каби ифодани олиш эса мувозанатсиз массанинг тақсимланишини олдиндан билиш имкони йўқлиги билан қийинлашади. Шунга боғлиқ тарзда куч катталикларини, ундан келиб чиқиб, тегишли вибрация даражаларини, диагностика параметрлари сифатида аналитик йўл билан олиш мумкин эмас. Шу вақтнинг ўзида ротор мувозанатсизлиги вибрацияларнинг частота аломатида узил-кесил намоён бўлиб, шу сабабли бевосита (3.1) ифодадан келиб чиқадиган диагностика аломати деб олинishi, қабул қилиниши

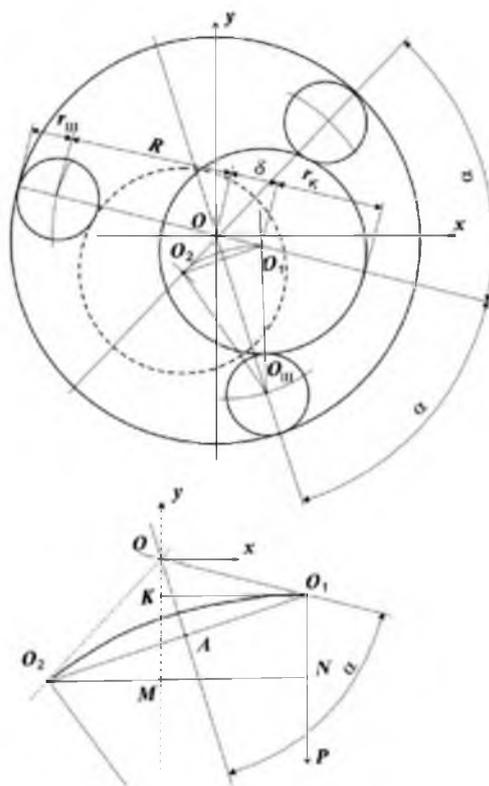
мумкин. Кўриб чиқиладиган нуқсон билан боғлиқ яна бир вибрация параметри – даража тажрибалар ёрдамида тадқиқ этилган.

Нуқсонсиз нормал тебраниш подшипнигининг ишлаши юмалаш ишқаланиши туфайли келиб чиқадиган кенг полосали шовқин, ҳамда юмалаш жисмларининг юмалаш частотаси билан боғлиқ вибрациялар билан бирга кузатилади.

Подшипникда радиал тирқиш мавжуд бўлган ҳолда вал айланганидау бир юмалаш жисмидан юмалаб ўтишида вақти-вақти билан (даврий тарзда) кўтарилиши ҳамда икки юмалаш жисми устига тушиши юз беради.

Валнинг бу ҳаракатини радиал орали (тирқиш) δ га эга бўлган юмалаш подшипникларида кўриб чиқиб, бунда қандай кучлар ҳосил бўлишини аниқлаймиз.

Геометрик жиҳатдан тасаввур қилишни соддалаштириш мақсадида 3.1-расмдаучта юмалаш жисмига эга бўлган юмалаш подшипниги тасвирланган.



3.1-расм. Радиал зазорли подшипникларда ротор валининг силжишларини аниқлаш

Барча қолган мулоҳазалар ва ифодаларда юмалаш жисмлари сонининг умумий белгиланиши Z қўлланиб, у исталган Z сони учун тўғри.

3.1-расмда валли ички ҳалқанинг нобарқарор (нотургун) бўлган икки чекка ҳолатларидан бири тасвирланган. Бу ҳолатда бир шарчага таяниб турган ички ҳалқанинг маркази O_1 , ва ана шу шарчанинг маркази O_{III} бир тўғри чизикда – P радиал куч чизигида жойлашади. Бу коида чегаравий бўлиб, ўзининг навбатдаги ҳаракат моментида валли ички ҳалқа иккинчи, 3.1-расмда узук чизик билан белгиланган тургун ҳолатга тушади. Бу тушишда ички ҳалқанинг шарча бўйлаб юмалаб бораётган маркази радиус ёйи $O_1 O_{III}$ бўйлаб барқарор O_2 ҳолатга қадар ҳаракатланади. Бир текис тақсимланган юмалаш жисмлар сони Z ихтиёрий бўлганида икки кўшни юмалаш жисмлари марказлари ўртасидаги бурчак $2\alpha = 2\pi/Z$ ни ташкил этади. Подшипникнинг қўзғалмас маркази O ва ички ҳалқанинг марказлари O_1 ва O_2 орқали ўтадиган тўғри чизиклар, шарча маркази O_{III} орқали ўтган ўқ чизигига нисбатан $\alpha = \pi/Z$ бурчакка бурилган. Буларнинг бари 3.1-расмдаги подшипникнинг схемотехник тасвиридан кўриниб турибди.

Ҳалқа маркази O_1 нинг ҳаракат маркази O нуктада жойлашган координаталар қўзғалмас тизимининг y ва x вертикал ва горизонтал ўқлар томонга траекторияси проекциясини топамиз. Бу траекториянинг вертикал ўққа проекцияси бўлиб KM кесими ҳисобланади. Унинг қийматини топиш учун $AO_1 O_{III}$ ва $O_1 O_2 N$ учбурчакларни кўриб чиқамиз ва β бурчак косинуси (бурчак $O_2 O_1 O_{III}$) учун мўлжалланган ифодани ана шу учбурчакларнинг томонлари орқали ёзиб қўямиз:

$$\cos \beta = \frac{O_1 A}{O_1 O_{III}} = \frac{\delta \sin \pi/Z}{r_k + r_{III}}, \quad (3.4.2)$$

$$\cos \beta = \frac{O_1 N}{O_1 O_2} = \frac{KM}{2\delta \sin \pi/Z}, \quad (3.4.3)$$

бунда r_k - ички халканингташки диаметри;

r_{III} - радиус юмалаш жисмлари.

(3.4.2) ва (3.4.3) тенгламалар тенглигидан подшипник халкаси ва валнинг вертикал силжиши учун ифодани ёзиб оламиз:

$$KM = \frac{2\delta \sin^2 \pi/Z}{r_k + r_{III}} = \frac{2\delta \sin^2 \pi/Z}{R} \quad (3.4.4)$$

бунда $R = r_k + r_{III}$ - айлана радиуси – юмаловчи жисмлар марказлари ҳаракатланиш траекториялари.

Халка марказининг горизонтал ўққа ҳаракатланиш траекторияси проекциясини, яъни горизонтал силжишни, $O_1 O_2 N$ учбурчагидан аниқлаб оламиз:

$$O_2 N = \sqrt{(2\delta \sin \pi/Z)^2 - \frac{(2\delta \sin \pi/Z)^2}{R}} \cong 2\delta \sin \pi/Z. \quad (3.4.5)$$

(3.5) ифодасидаги илдиз остидаги иккинчи кўшилувчини ҳисобга олмаслик ҳам мумкин, чунки $R^2 \gg \delta^2$.

Валли подшипник халқасининг олинган (3.4.4) ифода билан аниқланадиган вертикал силжишини ҳамда 3.7-жадвалдан юмалаш жисмлари юмалаш частотасининг ифодасини билиб, подшипникдаги кучлар ифодасини қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз:

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} s_k M \frac{Z^2}{4} \left(1 - \frac{d_{III}}{D_0}\right)^2 \omega^2 \frac{\delta^2 \sin^2 \frac{\pi}{Z}}{R} \cos \omega_k t. \quad (3.4.6)$$

Шундай қилиб, подстанциялардаги бошлангич нуқсонларни диагностика қилиш учун энг кўп қизиқиш тугдирадиган кичик зазорларда бу вибрацияларни дастлабки фарз қилишда полигармоник, частоталарини эса подшипник сепаратори айланиш частотасига қаррали деб, уларни кўзгатувчи кучлар катталигини эса – радиал зазор катталиги квадратига пропорционал деб ҳисоблаймиз.

Нуксонли подшипниклар вибрация частоталари ҳисоби одатда 3.7-жадвалда келтирилган частоталар билан чекланади. Бироқ вибрациялар спектрида подшипниклар вибрация частоталарига оид маълум ифодалар ёрдамида аниқлаш, билишнинг иложи бўлмаган таркибий қисмлар ҳам кузатилади (қар. 3.7-жадв.). Бу ана шу вибрация частоталари ифодаларида подшипник нуксонларида кузатиладиган турли кучларнинг ўзаро таъсири ҳисобга олинмаганлиги билан изоҳланади.

3.1-жадвал

Ротори қисқа тутушган асинхрон электр двигателининг механик
виброқўзгатувчи кучларининг частоталари

Виброқўзгатувчи кучлар манбаи	Куч частоталарининг ҳисобий ифодалари
Роторнинг мувозанатсизланганлиги	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s)$
Ротор бўйинчалари овалсимонлиги	$f = 2 \frac{f_1}{p}(1 - s)$
Подшипникларнинг радиал зазори	$f = 2 \frac{f_1}{p}(1 - s) \frac{D_0 - d_{III}}{2D_0} Z_{III}$
Сепараторлардаги зазорлар ва уларнинг мувозанатсизланганлиги	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s) \frac{D_0 - d_{III}}{2D_0}$
Юмалаш жисмларининг овалсимонлиги ва қирралиги	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s) \frac{D_0^2 - d_{III}^2}{D_0 d_{III}} Z_{III} Z_{\Gamma}$
Юмалаш йўлкаларининг тўлқинсимонлиги	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s) \frac{D_0 \pm d_{III}}{2D_0} \frac{Z_{III} Z_B}{q}$
Подшипник ташқи ҳалқаси нуксони	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s) \frac{D_0 - d_{III} \cos \beta}{2D_0} Z_{III}$
Подшипник ички ҳалқасининг нуксони	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s) \left[\frac{D_0 - d_{III} \cos \beta}{2D_0} Z_{III} \pm \right]$

Ҳаво оқимлари тебранишлари	$f = \frac{f_1}{p}(1 - s)k$
-------------------------------	-----------------------------

3.7-жадвалдақуйидаги белгиланишлар қабул қилинган: f_1 - тармоқ частотаси; p - кутб жуфтлари сони; s - сирпаниш (сиргалиш); Z_{III} - юмалаш жисмларининг сони; d_{III} - юмалаш жисмларининг диаметри; D_0 - юмалаш жисмларининг марказлари орқали айлана диаметри; Z_r - юмалаш жисмлари қирраларининг сони; Z_B - юмалаш йўлқаларидаги тўлқинлар сони; β - подшипник контакт бурчаги; k - вентилятор куракчалари сони; $q = 1, 2, 3, \dots$

Натижавий виброқўзғалиш кўриб чиқилган кучларнинг юмалаш жисмларига умумий таъсири билан аниқланиб, буюмалаш жисмларининг юмалаш частотаси билан қуйи частотали вибрациялар ва уларнинг юмаланиш частоталари суммаси ҳамда ички ҳалқанинг айланиш частотасига эна бўлган вибрациялар пайдо бўлишига олиб келади. Сўнгилари учун умумий ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$f = \left[\frac{D_0 - d_{III} \cos \beta}{2D_0} Z_{III} q + 1 \right] f_0. \quad (3.7)$$

Подшипниклар нуқсонлари мавжуд бўлганида механик вибрацияларнинг шаклланиш жараёнининг таклиф этилган тасаввури бир неча хил кучларнинг бир вақтнинг ўзида таъсир қилишини ҳисобга олиб, подшипник вибрация спектрида подшипникларнинг технологик нуқсонлари билан боғлиқ технологик ва эксплуатация нуқсонлари пайдо бўлишини изоҳлаш, (3.7) ифода билан аниқланадиган частоталарни эса ана шу нуқсонларнинг диагностика параметрлари сифатида қабул қилиш имконини беради.

Локомотив асинхрон электрдвигателлари таркибидаги юмалаш подшипнигининг диагностика моделиишлаб чиқилган. Бу модел

локомотив асинхрон электродвигателларнинг юмалаш подшипниклари вибрациясига ишлаш хусусиятларини, яъни подшипниклар нуқсонлари намоеън бўлганида ҳисобга олади.

Шундай қилиб, таъкидлаш мумкинки, бу масалани ишлаб чиқишга кўпгина ишлар бағишланганига қарамай, локомотив асинхрон электродвигателининг виброқўзгатувчи кучларини математик моделлаштириш ва бу кучларни тадқиқ этиш масалалари ҳозирга қадар ҳал қилинмай, анчагина долзарб аҳамият касб этади.

3.2.1 Моделни ишлаб чиқишда келтирилган фаразларга оид асосий маълумотлар.

Подшипниклардаги айланаётган ҳалқа ва у тегиб турган (контактга киришган) юмалаш жисмларни подшипникнинг юмалаш жисмлари сателлит вазифасини бажарадиган ўзига хос сайёралар тизими сифатида кўриб чиқиш мумкин.

Темир йўл радиал шарикли подшипниклариваасинхрон тортув электродвигателларидақўлланадиган қисқа цилиндрсимон ролиги бўлган роликли подшипниклартадқиқ этилади.

Юмалаш подшипникларида юзага келадиган виброқўзгатувчи кучларнинг умумий ҳолида, силжиш ва тезликларнинг функциялари бўлиб, шу сабабли бундай тенгламани фақат стационар қўйиб туриб аниқ ҳал қилиш мумкин.

Маълумки, юмалаш подшипниклари учун хизмат муддатибевосита вибрация юкламасига боғлиқ. Масалан, ротор таянчи реакциясига тенг марказдан қочма кучни ҳосил қиладиган дисбаланс таъсирида подшипникларнинг хизмат муддати тахминан беш марта қисқаради. Радиал юкланган юмалаш подшипникларида, масалан, ротор огирлиги ҳосил қиладиган юклма тақсимланадиган юмалаш жисмларининг сони юмалаш жисмлари ва юмалаш йўлкалари орасидаги радиал зазор катта-кичиклигига боғлиқ. Кичик зазорларда юк тушган юмалаш жисмларининг сони уч-тўртта бўлса, катта зазорларда эса икки-учтадан ошмайди. Подшипник

сепараторининг айланишиэса юк тушган юмалаш жисмларининг сони сепараторнинг айланиш частотасига каррали (бўлинадиган) частота билан бирликка ўзгариб, бунда ана шу карралик юмалаш жисмларининг сони $Z_{ш}$ га тенг.

Юмалаш подшипнигининг математик моделини (3.2-расм) ишлаб чиқишда қуйидаги фаразлар қабул қилинди.

1. Ташқи халқа корпусга, ички халқа эса тортув электр двигателининг валида қаттиқ ўрнатилади;

2. Юмалаш жисмлари, юмалаш элементлари ва сепаратор фақат подшипник сатҳи(юзаси)да (текислигида) ҳаракатлана оладилар. Бу ўқ йўналишидаги ҳар қандай ҳаракатни истисно этади.

3. Подшипниклар изотермик шароитларда ишляптилар деб фараз қилинади.

4. Деформациялар Герц назариясининг қайишқоқлигига мувофиқ юз бериб, яъни юмалаш жисмлари ва халқалар орасидаги қайишқоқ деформациялар кўриб чиқилади.

5. Подшипник сепараториюмалаш жисмлари орасидаги доимий бурчак остидаги зазор $\beta = \frac{2 \cdot \pi}{Z}$ ни таъминлаб (қар. 3.1-расм), улар, шу тарзда ўзаро, бир-бирига таъсир кўрсатмайдилар.

6. Ролик (шарик) сирпаниб кетиши юз бермайди, чунки улар юмалаш жисмларининг юзаси бўйлаб сиргалиб борадилар. Халқа юзаси бўйлаб идеал сирпаниш мавжуд бўлмаганлиги сабабли, юмалаш жисмлари турли чизикли тезликларга эгалар; сепаратор марказинатижавий олга босиб борадиган тезликка эга:

$$V_c = \frac{V_{6H} + V_H}{2} \tag{3.1.2}$$

7. Ташқи халқа қўзғалмас ҳисобланиб, корпусга маҳкам қилиб, ички халқа эса ротор валида қаттиқ қилиб қотирилган. Шу сабабли,

$$V_H = 0 \quad (3.1.3)$$

$$V_{вн} = \omega_{ротор} \times r \quad (3.1.4)$$

Бундан, сепараторнинг айланиш частотаси:

$$\omega_{сен} = \omega_{ротор} \left(\frac{r}{r+R} \right) \quad (3.1.5)$$

бунда, R , r - подшипникнинг мос равишда ташки ва ички ҳалқаси радиуси;

Юмалаш жисмлари частотаси қуйидагича топилади:

$$\omega_k = \omega_{ротор} \cdot Z \cdot \left(\frac{r}{r+R} \right) \quad (3.1.6)$$

Локомотивасинхрон электр двигателларида вибрацияни қўзғатувчи асосий частоталардан бири оборот (ротор) частотаси бўлиб, уқуйида ротор айланиш частотаси деб, қуйидаги ифода ёрдамида топилади:

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} \quad (3.1.7)$$

бунда, ω_r – роторнинг бурчак айланиш частотаси.

3.2.2. Юмалаш подшипникнинг қўзғалишлари асосий манбаларининг тавсифи.

Асосий қўзғатиш (қўзғалиш) манбалари, яъни **80-315Ш15** типли радиалшарикли подшипниклар ва **НО-92417К2М** ва **НО-32332 К2М** типдаги цилиндрсимон қисқа роликли радиал роликподшипниклартадқиқ этилди. Подшипникларнинг ушбу тип асинхрон тортув электр двигателларида кенг қўлланиб, темир йўллар ҳаракатланувчи таркибида ҳам кенг тарқалган.

Ички подшипник конструкциясининг ўлчамлари 3.1-жадвалда келтирилган бўлиб, [23] га биноан:

3.2.1-жадвал

Тадқиқ этилаётган подшипникларнинг асосий параметрлари

Подшипник типи	Ички диаметри, мм	Ташқи диаметри, мм	Ҳалқа эни B, мм	Ролик диаметри, мм	Ролик узунлиги	Роликлар сони	Подшипник массаси, кг	Роликлар марказлари орқали айлана
НО-32332 К2М	60	40	8	2	2	5	3	250
НО- 92417К2М	5	10	2	2	2	2	9,8	147,5
70- 2315КМШ	5	60	7	2	2	3	3,7	117,5
80- 315 Ш15	5	60	7	6,99	6,99		3,1	117,5

3.2-жадвалга мувофиқ подшипник модели элементлари параметрлари келтирилган.

3.2.2-жадвал

Подшипник модели элементлари параметрлари

Элемент	Материал	Зичлиги, кг/м ³	Юнг модули, н/м ²	Пуассон коэффициенти
Ролик	Пўлат	7750	1,9 x 10 ¹¹	0,305
Сепаратор	Бронза	8545	1,1 x 10 ¹¹	0,324
Ички халқа	Пўлат	7750	2,1 x 10 ¹¹	0,305
Ташқи халқа	Пўлат	7750	2,1 x 10 ¹¹	0,305

3.2.3 Виброқўзғатувчи кучларнинг параметрларини диагностика моделининг параметрлари сифатида таҳлил қилиш

Локомотив тортув электрдвигателиундан фойдаланиш жараёнида юзага келадиган ностационар юкламалар таъсирида бўлиши мумкин.

Локомотивнинг қисқа туташтирилган роторли асинхрон электрдвигателлари эксплуатацияси жараёнида асосан механик ва электрмагнит виброқўзғатувчи кучлар учрайдилар: мос равишда, механик виброқўзғатувчи кучлар роторнинг мувозанатсизланганлиги, ўқлар номувофиклиги, подшипниклар қийшайиши ва уларнинг нуқсонларига олиб келиб, электрмагнитвиброқўзғатувчи кучлар эса ротор стерженлари узилиши, қисқа туташтирилган ҳалқалар бўгинларининг узилишини келтириб чиқарадилар. Локомотив қисқа туташтирилган роторли асинхрон электрдвигателларини таъмирлаш характери ва уни эксплуатация қилиш имкониятлари ва муддатлари, унинг таъмирлашга чиқишига баҳо беришқўп жиҳатдан пайдо бўлган носозлик турига боғлиқ. Шунинг учун локомотив қисқа туташтирилган роторли асинхрон электр двигателлари техник ҳолатини баҳолашда пайдо бўлаётган нуқсонларни аниқлашнинг ўзи эмас, балки шикастланиш турини аниқлаштириш мақсадга мувофиқ.

Эксплуатацияда локомотив асинхрон электр двигателларининг юзага келадиган носозликлари улар вибрацияланиш даражаси ва характери кучайиши билан кузатиладилар.

Юмалаш подшипниги вибрациясини келтириб чиқарадиган қўзғалишларнинг асосий манбалари бутайёрлаш ва йиғишдаги технологик хатоликлар, эксплуатация жараёнидаги, зазорларга боғлиқ бўлган зарбли таъсирлар, юмалаш йўлаклари ва подшипник элементлари нуқсонлари, ҳамда айланадиган элементлар мувозанатсизлашуви, қаршилик кучлари ва ташқи қўзғатишлардир [4].

Локомотив асинхрон электр двигателлари конструкцион материалларининг емирилишитолиқиш, шикастланишлар аста-секин йиғилиши, толиқиш дарзлари ҳосил бўлиши, уларнинг ривожланиши ва

емирилиш кабилар таъсиридаги толиқиш оқибатида юз беради. Материалларнинг толиқиш туфайли емирилиш жараёнини шартли равишда уч босқичдан иборат деб тасаввур қилиш мумкин, яъни инкубациябосқичида дислокацияларни силжитиш, уларнинг тўсиқлар яқинида жамланиши, ҳамда говаклар юзага келиши билан боғлиқ толиқиш нуқсонлари ҳосил бўлади. Кейинги босқич – бу ўта кичик дарзнинг ҳосил бўлиш босқичи бўлиб, улар кристаллар панжараси говакланиб, бўшашиши натижасида ҳосил бўладилар. Емирилишнинг сўнгги босқичи бу микродарзларнинг ҳосил бўлиши, сўнг уларнинг ривожланиб, бутунлай емирилишидан иборат.

Локомотивнинг қиска туташтирилган роторли асинхрон электр двигателларида эксплуатация жараёнида, соф синусоидал магнит майдонидаги ҳаво зазорида, майдон спектри фақат асосий гармоникага эга бўлган вибрациялар юзага келади, яъни вибрациялар статорнинг ўқ чизигини деформациялайдиган радиал куч таъсирида пайдо бўладилар. Магнит майдонининг носинусоидаллиги сабабларини тортув электр двигателининг виброфаоллигининг кучайиши деб қараш лозим. Айрим деталлар, узеллар ваумуман асинхрон тортув электр двигателининг тебраниши шовқин ва вибрация юзага келишига олиб келиб, бунда жараён интенсивлиги виброқўзгатувчи кучларнгава материалларнинг қайишқоқ ва акустик хоссаларига, ҳамда унинг конструкциясига боғлиқ. Айтиш лозимки, механик сабаблар туфайли келиб чиққан виброқўзгатувчи кучларнинг орасидаайниқса тортув электр двигателининг подшипник узеллари сабабли келиб чиққан кучлар катта ўрин тутиб, бунда шовқин ва вибрация манбаи интенсивлиги юмалаш подшипниклари ва подшипник шитларининг шикастланишларига оид кўплаб омиллар билан боғлиқ. Локомотив асинхрон электр двигателининг механик келиб чиққан вибрацияланишининг асосий манбалари – айланадиган қисмларнинг мувозанатсизлиги, эксцентриситет мавжудлиги, турли-туман қийшайишлар, зазорлар ва подшипникларва подшипник шитларининг

нуксонлари, ўзаро таъсир қиладиган деталларнинг бир-бирига нисбатан силжишлари, мойлаш технологиясига риоя қилмаслик ва бошқа носозликлардир.

3.2.4 Юмалаш подшипниги ролигининг дарз зонасидаги ташқи халқага зарбли таъсир кўрсатиши кучиини аниқлаш.

3.3 ва 3.4-расмларда подшипникларнинг одатий шикастланишларидан бири – ташқи ёки ички халқанинг дарзи сурати келтирилган. Бу нуксон пайдо бўлишига тортув электр двигателининг айрим элементларида қўшимча динамик юкламалар сабаб бўлади. У бошқа носозликлар юзага келишига сабаб бўлиши мумкин. Келинг, подшипник халқаси зонасидаги роликларнинг айланиб ўтиш жараёнини батафсил кўриб чиқамиз.



3.2.1-расм. Тортув электр двигатели роликли подшипниги ички халқасининг дарзлари

Роликнинг дарз зонасидан ўтишида динамик таъсир кучлари даражасини баҳолаш мақсадида зарб кучининг ҳисоб-китобини амалга оширамиз.

Подшипникларнинг аксарият шикастланишлариниматематик моделда даврий импульсли таъсирлар кўринишида имитациялаш мумкин. Бундай таъсирлар кўринишида ички ва ташқи халқалар, роликлар ва сепараторлардаги дарзлар, чиганоклар (раковиналар), электровозлар куйиш излари ва бошқа шу кби шикастланишлар моделлаштирилиши мумкин.

Шундай қилиб, зарб кучи дарз зонасидаги ўзаро урилишнинг нисбий тезлигининг ертикал таркибий қисмига чизиқли тарзда боғлиқ бўлиб чиқади.

Шу сабабли подшипниклар нуқсонларини вақтида аниқлаш ва ривожланишининг олдини олиш ҳаракатланувчи таркибга техник хизмат кўрсатишнинг комплекс технологиясида, подшипниклар носозликларини аниқ ва ишончли излаб топишда ҳал қилувчи тадбир бўлиб ҳисобланади. Локомотивлар тортув электр двигателлари подшипниклари носозликларини ишончли аниқлашга қаратилган тадқиқотлар долзарб аҳамият касб этиб, чунки подшипникларни локомотивларэлектр двигателларининг оралиқ ревизияларини ўтказишда уларни жойидан кўчирмаган ҳолда деярли бехато яроқсизга чиқариш имконини беради. Бу поездларнинг ҳаракатланиш хавфсизлигини ошириб, электрдвигателларининг оралиқ ревизияларига сарфланадиган меҳнат сарфини камайтиради.

3.2.4 Подшипникузели динамик моделининг баёни

Кўшимча кучлар юзага келишинингяна бир манбаи –ички радиал зазор, ҳолати вақти-вақти билан ўзгариб турадиган шариклар (роликлар)нинг узил-кесил сони, шунингдек локомотив асинхрон электр двигателиподшипник узелинингички ва ташқи халқаларида нуқсонлар мавжудлиги.Бу кучлар подшипник узели қаттиқлигининг вақти-вақти

билан ўзгариб туриши оқибатида юзага келадилар. Подшипник узелидаги ўзгаришларни аниқроқ таҳлил қилиш учун барча элементлар вибрацияланишини биргаликда кўриб чиқиш керак.

Қаттиқлик ўзгаришининг ана шундай манбаларини ҳисобга олиб, локомотив асинхрон электр двигатели подшипник-ротор тизими тебранишларининг умумлаштирилган дифференциал тенгламаси тузилиб, у қуйидаги шаклда ёзиб олинishi мумкин:

$$M\ddot{X} + D\dot{X} + KX = f(X, \dot{X}, \omega, t) + P_m \quad (3.2.10)$$

бунда, M – роторнинг инерцион хоссаларини тавсифлаб келадиган матрица; D –демпфирлаш ва гироскопик кучлар матричаси; K – қаттиқлик матричаси; $\ddot{X} \dot{X} X$ – мос равишда вибротезлашишлар, вибротезликлар ва вибросилжишлар устунлари; P_m – огирлик кучи;

$f(X, \dot{X}, \omega, t)$ – ротор тизими силжишлари ва тезликларига боғлиқ бўлган подшипникларда юзага келадиган, виброқўзгатувчимувозанатсизланган кучларнинг вектори.

Энг содда кўринишда ташқи қўзғалиш даврий импульситенгламанинг ўнг қисмида жойлашган функция билан тақдим этилиши мумкин:

$$f(t) = F \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (3.2.11)$$

бунда, F - шарча нуқсон (дарз) яқинидан ўтганидаги зарб кучи;

ω – роторнинг айланиш частотаси; t – вақт;

Бу ҳолда дифференциал тенглама тизимларини қуйидаги кўринишда ёзиб олиш мумкин:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + d\dot{x} + kx = F \cdot \sin(\omega t + \varphi) \\ m\ddot{y} + d\dot{y} + ky = F \cdot \cos(\omega t + \varphi) + P_m \end{cases} \quad (3.2.12)$$

Дифференциал тенглама Коши формати кўринишида тақдим этилади

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m & -d/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ F \cdot \sin(\omega t + \varphi) \end{bmatrix} \quad (3.2.13)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -k/m - d/m & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1/m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ F \cdot \cos(\omega t + \varphi) + P_m \end{bmatrix} \quad (3.2.14)$$

Локомотив асинхрон электр двигателлари юмалаш подшипнигининг ўз частоталари ва амплитуда-частота тавсифлари ҳисоби натижалари графиклар тарзида тақдим этилган. Ҳисоб-китоблар **MATLABR2012b** дастури ёрдамида бажарилган бўлиб, ечим тақдим этилади (diff.m файли, қар. 1-иловада).

2. Ҳаракат тенгламалари

Қабул қиламиз:

Қаттиқлик коэффициенти:

$$k_c = c_1; \quad k_n = c_2; \quad k_g = c_2;$$

Демпфирланиш коэффициенти:

$$d_n = \epsilon_2; \quad d_g = \epsilon_2; \quad d_c = \epsilon_1;$$

m_n - ташқи ҳалқа массаси;

m_g - ички ҳалқа массаси;

F_1, F_2 - ташқи қўзғалишлар вектори;

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x}_1 + (\epsilon_1 + \epsilon_2) \cdot \dot{x}_1 - \epsilon_1 \dot{x}_1 + (c_1 + c_2)x_1 - c_1 x_2 = F_1 \\ m \cdot \ddot{x}_2 - \epsilon_1 \dot{x}_1 + (\epsilon_1 + \epsilon_2) \cdot \dot{x}_2 - c_1 x_1 + (c_1 + c_2)x_2 = F_2 \end{cases}$$

(1)

Ўз частоталарини аниқлаш диагностика босқичининг зарур босқичи бўлиб келади. Бунинг учун қуйидагиларни кўриб чиқамиз:

$$M\ddot{x} + B\dot{x} + Cx = 0$$

(2)

бунда;

$$M = \begin{bmatrix} m_{\text{ротор}} & 0 \\ 0 & m_{\text{вин}} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} (\epsilon_1 + \epsilon_2) - \epsilon_1 & \\ -\epsilon_1 & (\epsilon_1 + \epsilon_2) \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) - c_1 & \\ -c_1 & (c_1 + c_2) \end{bmatrix};$$

Ушбу холда (2) тенгламада чизикли ўзгартириш ёрдамида нормал координаталарга ўтиш билан ўз частоталарининг аналитик ифодаларини топиш мумкин

$$y = T \cdot x$$

(3)

бунда, T - алохида бўлмаган, қуйидаги кўринишдаги матрица:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix};$$

(2) тенгламада ўзгарувчини алмаштириб, қуйидагига эга бўламиз:

$$MT^{-1}\ddot{y} + BT^{-1}\dot{y} + CT^{-1}y = 0$$

(4)

Тенгламани (4) 2 мустақил тенгламадан иборат тизим кўринишида тақдим (тасаввур) этиш мумкин:

$$m\ddot{y}_1 + e_2\dot{y}_1 + cy_1 = 0$$

$$m\ddot{y}_2 + (2e_1 + e_2)\dot{y}_2 + (2c_1 + c_2)y_2 = 0$$

(5)

3.3 Контакт кучини аниқлаш ва ўз қийматларини ҳисоблаб топиш

3.3.1 Контакт кучининг ҳисоби

Юмалаш подшипниги локаллашган (кичик жой эгаллаган) нуқсонининг ҳисобий схемаси 3.2.2-расмда берилган. 3.3-жадвалда келтирилган подшипникнинг геометрик параметрлари танлаб олинган.

3.3-жадвал

80-315Ш15 туркумли шарикли подшипникларнинг геометрик тавсифлари

Параметр номланиши	Ўлча ш бирлиги	Қиймат и
--------------------	-------------------	-------------

Подшипникнинг ташқи диаметри (D _o)	мм	160
Подшипникнинг ички диаметри (d _i)	мм	75
Юмалаш жисмларининг диаметри(шарик) (d)	мм	32
Ўртача диаметр (D _c)	мм	117,5
Юмалаш жисмларининг сони(Z)	шт.	9
Радиал зазор (δ)	мм	0,02
Контакт бурчаги (α)		0°(ҳисобланади)
Ротор массаси (m _p)	кг	600
Подшипник массаси(m _п)	кг	3,1
Демпфирланиш коэффициенти (D)	Нс/м	200

Подшипникнинг *i*-нчи ролигига таъсир қилаётган контакт кучини аниқлаш учун Герц формуласидан фойдаланилиб, у қуйидаги кўринишда ёзиб олинishi мумкин:

$$F_{\theta_i} = K \cdot (R_{\theta_i})^n \quad (3.3.1)$$

бунда, $n=3/2$ – шарикли подшипниклар учун

F_{θ_i} - *i*-чи ролик(шарик)ка таъсир қилувчи куч;

K - каттикликкоэффициенти, подшипникнинг ўзаро тегиб турган деталлари контакт жойидаги эгрилигига ва ана шу деталлар тайёрланган материалларнинг қайишқоқ хоссаларига боғлиқ;

r_{θ_i} - ҳалқа шикастланиши туфайли радиал четлашиш;

R_{θ_i} - силжиш, у қуйидагича берилади,

$$R_{\theta_i} = x \cdot \cos \theta_i + y \cdot \sin \theta_i \quad (3.3.2)$$

радиалзазорни ҳисобга олишда

$$R_{\theta_i} = x \cdot \cos \theta_i + y \sin \theta_i = (r_{\theta_i} + \delta) \quad (3.3.3)$$

r_{θ_i} ни қўйиш билан контакт кучи қийматига эга бўламиз,

$$F_{\theta_i} = K \cdot [(x \cdot \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - (\delta)]^2 \quad (3.3.4)$$

Агар қавс ичидаги ифода нолдан катта бўла бошласа, у ҳолда ролик(шарик)нинг бурчак ҳолати юкланган, юмалаш жисмларининг контакт зонасида куч юзага келишига олиб келади. Агар қавсдаги ифода манфий ёки нолга тенг бўлса, бу ҳолда ролик контакт зонасида жойлашмаган ва ўзаро таъсирланиш кучи нолга тенг. Тенг таъсир қилувчи куч ҳар бир юмлаш жисмидан тушадиган кучлар суммасига тенг.

3.3.2 Локомотив асинхрон электр двигателларининг подшипник-ротор тизими учун мўлжалланган дифференциал тенглама

Юқорида айтилганларни ҳисобга олиб, инерция кучлари, тикловчи ва демпфирловчи кучлар, шунингдек подшипник халқаси ички юзасига таъсир қиладиган доимий вертикал кучни ҳисобга олган ҳолда асосий тенгламалар тизими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m \ddot{x} + d \dot{x} + \sum_{i=1}^Z K [(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - (\delta + \Delta_S)]^n \cdot \sin \theta_i = F \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (3.3.13)$$

$$m \ddot{y} + d \dot{y} + \sum_{i=1}^Z K [(x \cos \theta_i + y \sin \theta_i) - (\delta + \Delta_S)]^n \cdot \sin \theta_i = F \cdot \cos(\omega \cdot t) + P_m \quad (3.3.14)$$

3.3.3 Тенгламалар тизими ўз қийматларини ҳисоблаб топиш

(3.3.13) ва (3.3.14) тенгламалар иккинчи тартибга доир, параметрли қўзғатиш самарасига эга бўлган иккита ночизикли оддий дифференциал тенглама тизимидан иборат.

Бу ерда, m – локомотив асинхрон электр двигателларининг ротори ва подшипниклар тутиб турган ички халқанинг массаси; d – демпфирланиш коэффициенти; Z – шарчалар сони; i – шарчалар рақами ($i=1,2,3 \dots Z$); δ – подшипникдаги радиалзазор; K – контакт қаттиқлиги коэффициенти;

Бошлангич силжиш қуйидаги кўринишда ёзиб олинади: $x = x_1 - x_2$;

$$y = y_1 - y_2;$$

3.3.4 Шарчалар (роликлар) контакти ва юмалаш подшипникларининг ҳалқаларидаги қаттиқликни аниқлаш

Қаттиқлик коэффициенти (қаттиқлик) – тикловчи куч ёки момент тавсифининг карама-қарши белги билан олинган ҳосиласи. Тикловчи куч (момент) тизимнинг мувозанат ҳолатидан четлашганида юзага келиб, у ана шу четлашишга нисбатан тесқари, карама-қарши йўлланган. Шарчалар (роликлар) ва подшипник ҳалқалари контактидаги қаттиқлик контактли қайишқоқлик назарияси асосида аниқланиши мумкин [18,21,32,37].

Юмалашподшипнигининградиал қаттиқлиги доимий бўлмай, ҳалқалар яқинлашиши ва юмалаш жисмлари комплектининг бурилиш бурчагига боғлиқ.

Бундан ташқари, цикли юмалаш подшипнигининг радиал қаттиқлиги шарчалар комплектининг ташқи юкламанинг юмалаш жисмлари қўзғалмас (ташқи) ҳалқа бўйлаб ўтиш (мелькание) частотасининг йўналишига нисбатан ўзгариб туриши мумкин.

Подшипникнинг қайишқоқ тавсифини аниқлаш мақсадида шарчалар комплектининг 3.4-расмда берилган нол зазор (таранглик) ҳолати учун ташқи радиал юклама йўналишига нисбатан ихтиёрий ҳолатини кўриб чиқамиз.Юклама вертикал тушган бўлиб, юмалаш жисмлари комплектининг ҳолатибурилиш бурчаги φ билан берилади. Юклама подшипникнинг горизонтал ўқидан қуйида жойлашган юмалаш жисмлари орасида тақсимланади.

Юмалаш подшипнигининградиал қаттиқлиги, шундай қилиб, юмалаш жисмлари комплектининг силжиши ва бурилиш бурчагига боғлиқ.

Юмалашжисмлари комплектинингбурилиш бурчаги φ вақти-вақти билан (аррасимон қонунга биноан) $-\beta/2$ дан $\beta/2$ гача бўлган ораликда шарчаларнинг подшипник ҳалқаларидан биттадан липиллаб ўтиш частотаси ташқи юкламанинг характерига боғлиқ равишда ўзгариб туради.

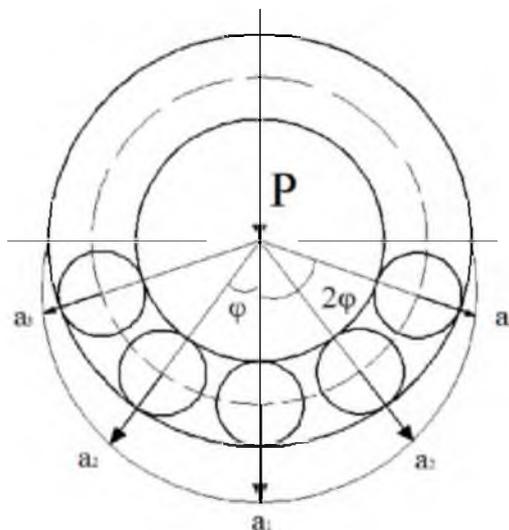
Ўзгариш тезлиги φ тегишли халқанинг равна сепараторга нисбатан айланиш бурчак тезлигига тенг.

3.3.5. Юмалаш жисмларинингякка куч таъсиридан пайдо бўладиган контакт босимлари

Маълумки, юмалаш подшипникларинингхизмат қилиш муддати бевосита вибрацион юкламага боғлиқ. Масалан, ротор таянч реакциясига тенг бўлган марказдан қочма кучни ҳосил қиладиган дисбаланс амал қилганида подшипникларнинг ишлаш муддати тахминан беш марта қисқарар экан.

Радиал юкланган юмалаш подшипникларида, масалан, ротор огирлиги билан ҳосил қилинадиган юклама тақсимланадиган юмалаш жисмларининг сониюмалаш жисмлари ва юмалаш йўлкалари орасидаги радиал тирқиш катталигига боғлиқ. Зазор ўлчами кичкина бўлганида юк тушадиган юмалаш жисмларинингсони ўч-тўрттани ташкил қилса, катта зазорларда эса икки-учтадан ортмайди. Подшипниксепараторининг айланиши юк тушган юмалаш жисмларинингсони бир бирликка сепаратор айланиш частотасига каррали частота билан ўзгаришига олиб келиб, бунда карралик юмалаш жисмларинингсони Z га тенг.

Z бўлганидаги (шарчалар сони) якка юклама таъсиридан тушадиган контакт кучларининг тақсимланиши 3.5-расмда кўрсатилган.



3.3.1-расм. Якка юкламадан тушадиган контакт кучларининг тақсимланиши

$$a_1 = a_0; \quad a_2 = a_0 \cdot \cos \varphi, \quad a_3 = a_0 \cdot \cos 2\varphi \text{ деб қабул қиламиз}$$

$$\text{Бу ҳолда, } \varphi = \frac{\pi}{6}$$

$$a_0 + 2a_0 \cdot \cos \varphi + 2a_0 \cdot \cos 2\varphi = P \text{ эканлигини ҳисобга олиб,} \\ (2.4.1)$$

Бундан,

$$a_0 = a_1 = 0.268 \quad a_2 = 0.232 \quad a_3 = 0.134$$

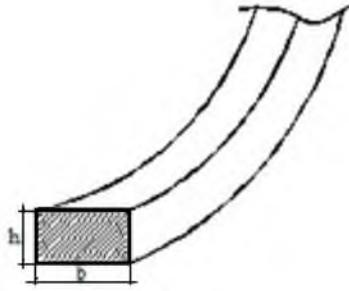
3.3.6 Локомотив тортув электрдвигателлари подшипнигининг букилишга мойиллигини аниқлаш

Мойиллик коэффициенти – бу каттиклик коэффициентиға тескари, карама-қарши катгалик.

Комплекс қаттиклик – чизиқли тизимнинг гармоний мажбурий вибрацияланишида гармоник мажбурловчи куч амплитудасининг силжиш комплекс амплитудасига нисбатидир.

Подшипникнинг букилишга мойилликлари δ_k Максвелл-Мор формулалари асосида 3.3-жадвалда келтирилган энергетика услуби ёрдамида аниқланган. [78] маълумотнома(справочник)да келтирилган подшипник материалининг қайишқоқлик модули $E=2.1 \times 10^{11} \left(\frac{H}{m^2}\right)$ га тенг;

Подшипник ҳалқаси кўндаланг кесимининг инерция моменти 3.6-расмда кўрсатилган ана шу формула $J = \frac{b \cdot h^3}{12} (mm^4)$ бўйича аниқланади; уни кўпайтириб, подшипник ҳалқаси кўндаланг кесимининг букилишга каттиклигига эга бўламиз $EJ = 6.114 \times 10^6 (H \cdot m^2)$,



3.3.2-рasm. Подшипник ташки ҳалқасининг кўндаланг кесими

Мойиллик коэффициентини δ_k : ни аниқлаймиз.

$$\delta_k = \frac{1}{K} \quad (3.4.2)$$

$$\delta_k = \delta_{1k} + 2 \cdot \delta_{2k} + 2 \cdot \delta_{3k}; \quad (3.4.3)$$

δ_{1k} - 2.5-рasmда кўрсатилган a_1 дан силжиш.

δ_{2k} - силжиш $2a_2$ дан;

δ_{3k} - силжиш $2a_3$ дан;

Олинган натижаларни интеграциялаш ва жамлаш билан ишлов берилувчанлик коэффициентини аниқлаймиз:

$$\delta_{1k} = \frac{\pi \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (3.4.4)$$

$$\delta_{2k} = \frac{2.767 \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (3.4.5)$$

$$\delta_{3k} = \frac{2.56 \cdot R^3}{E \cdot J} \quad (3.4.6)$$

$$\delta_k = \frac{2.82 \cdot R^3}{EJ} \quad (3.4.7)$$

Агар ана шу формулаларда радиал юклама бирга тенг деб олинса, у ҳолда букилувчанликка эквивалент катталиқка эга бўламиз.

Контакт ўрнидаги қаттиқлик қуйидагига тенг бўлади:

$$K = \frac{1}{\delta_k} = \frac{EJ}{2.82 \cdot R^3}, \quad (3.4.8)$$

бунда, δ_k - роторга кўйилган якка куч таъсиридан деформацияланиш.

Агар юкорида келтирилган формулаларга локомотив асинхрон электр двигателлари **80-315Ш15** туркумли шарикли подшипникларининг тегишли параметрлари кўйилса, у холда шарча ва халкалар ўртасидаги контакт каттиқлигига келтирилган катталиқка эга бўламиз $K = 1.873 \times 10^9 \left(\frac{H}{M}\right)$. Бу катталиқдан (K) дифференциал тенгламаларни хал қилишда фойдаланилган.

Локомотив асинхрон электрдвигатели вибрацияси, одатда, мураккаб тузилмага эга бўлиб, турли шаклдаги детерминацияланган ва тасодифий компонентлардан ташкил топган. Вибрацияланишни вақтга боғлиқ равишда таҳлил қилишнинг энг содда тури қийматига кўра қолган компонентлардан анча катта, ёки вибрация сигналидан аввалдан ажратиб олинандиган айрим вибрация компонентларининг шаклини аниқлаб олиш ҳисобланади [8].

3.4 Локомотив тортув электрдвигателлари юмалаш подшипниги сепараторининг математик моделини ишлаб чиқиш

Локомотивлар асинхрон электрдвигателларининг ротор ўқлари ва валларида ўрнатиладиган подшипникли узеллари ўта муҳим конструктив элемент ҳисобланиб, ҳаракатланувчи таркибнинг ҳаракатланиш хавфсизлиги кўп жиҳатдан уларнинг техник ҳолатига боғлиқ.

Одним из основных элементов, ограничивающих долговечность катта тезликлар ва юкламалар шароитларида ишлайдиган юмалаш подшипникларининг узок муддат ишлашини чеклаб кўядиган асосий элементлардан бири сепаратор бўлиб, унинг шикастланиши ва ишдан чиқиши подшипникнинг, ҳамда умуман асинхрон тортув электр

двигателининг ресурси ва ишончлилигини чеклаб қўяди. Асинхрон тортув электр двигателларида қўлланадиган замонавий юмалаш подшипникларининг сепараторлари конструкцияси турли-туман бўлиб, қўп жихатдан таянчнинг юклама-тезлик параметрлари, унинг ҳароратга оид ҳолати ва мойлаш-совутиш муҳитининг тавсифлари билан белгиланади.

Роликли подшипник сепараториюмалаш подшипникларининг асосий элементларидан бири бўлиб, предназначенным для удержания элементов качения на соответствующем расстоянии друг от друга и предотвращает контакт между элементами качения, поддерживает равномерное качение тел по окружности подшипника, помогает улучшить условия работы юмалаш подшипнигининг. Также, обеспечивается низкий ишқаланиш коэффициенти и повышается КПД в условиях недостаточного смазывания подшипника.

Инерция кучи йўл қўйиладиган чегараларнинг энг юқори қийматларига етиб, маълум вақт ўтгач, подшипниклар сепараторида сепараторнинг тўлиқ бузилишига олиб келиши мумкин бўлгантолиқиш дарзлари юзага келадилар. Бундан ташқари, юмалаш подшипнигининг сепаратори емирилишига тарли даражада мойламаслик, абразив заррачалар таъсири, шунингдек ташқи ифлосланишлар ҳам олиб келиши мумкин. Шу туфайли подшипникпоналаниши (тиқилиб қолиши) рўй бериб, бу бевосита подшипник сепарацияловчи қурилмасининг синишига олиб келади. Бироқ юмалаш подшипнигисепараторлари емирилишининг асосий сабаблари ҳам мавжуд [1]:

- Вибрациялар;
- Ўта юқори айланиш частотаси;
- Едирилиш;
- Поналаниш (тиқилиб қолиш).

Агар юмалаш подшипнигивибрациялар шароитида ишлаётган бўлса, у холда инерция кучларишунчалик катта буладики, бирмунча вақтдан сунг, сепаратор материалида толикишдан дарз кетишлар пайдо була бошлайди.

Ўзгарувчан айланиш частотаси билан, яъни ўзгарувчан белгили тезлашиш шароитларида ишлайдиган подшипникларда сепараторга контакт жойларида каттагина сиқилиш зўриқишларини пайдо қиладиган ва шунга боғлиқ равишда кучли емирилиш келтириб чиқарадиган инерция кучлари таъсир қилади.

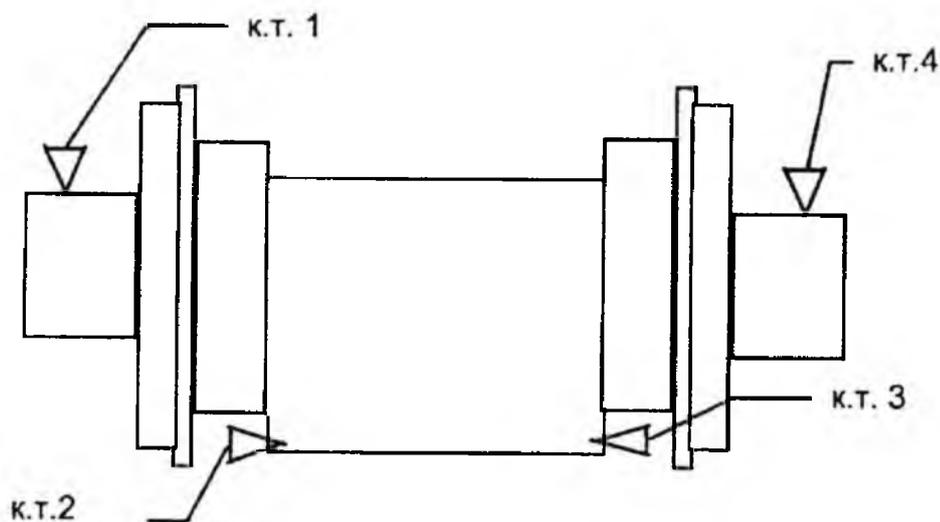
4-БЎЛИМ. ХАРАКАТ ТАРКИБИ ТОРТУВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ ДИАГНОСТИКА УСУЛИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

4.1. Ўлчаш технологиясини ўтказиш

4.1.1. Локомотивни сақлаш бўйича кўрсатмаларга кўра осиб қўйиш (технологик карта).

4.1.2. Схема йигилади. Депо юриқномаси (технологик карта) га мувофиқ КМБ(колесно-моторного блока) - нинг тортиш двигателини айлантиради.

1.1 расмга биноан локомотив учун КМБ нинг назорат нуқталарига датчиклар жойлаштирилади.



Расм. **Ошибка! Текст указанного стиля**

в документе отсутствует..1

4.1.1. Айланиш датчигини арава юкланишларини кўтарувчи рессорага ўрнатилади.

4.1.4. КМБ тортув электродвигателини айлантиради.

Текширувчи дастур айланишлар ойнасида кузатилганда камида 180 обр/мин доимий тезликка етганда, КМБ танланган мос ёзувлвр нуктасида ўлчашни амалга оширади. Маълумот олиш пайтида, айланиш тезлиги дастур томонидан назорат қилинади. Вибрацияли сигнал рухсат этилган 20% зонадан ортиқ айланиш тезлигида эътиборга олинмайди. Ишлаб чиқилган дастур билан бир вақтда вибрация датчигидан мос келадиган улагич уланган эшитиш воситаси орқали сигнални эшитиш керак. Бундай тинглаш операторга ёки бошқа масъул шахсларга ўзгартириш ёки уни ишга тушириш хақида ишончли қарор қабул қилишга имкон беради.

4.1.5. Ўлчовдаги алоҳида операцияларнинг ўртача вақти:

Датчикни ўрнатиш учун – 3 дақиқа;

Двигателни 1 дақиқада 150 айл/дақ тезликда айлантеришга ўрнатиш;

Двигателдан маълумотларни олиш учун подшипник воситаси 1,5 дақиқа учун 0,5 дақиқада айланади;

КМБ ни тўхтатиш учун – 2 дақиқа;

Ўлчаш даврийлигини танлаш, машиналар ишлаш тартиби ва тайёрлаш ишлари.

Дастурларда подшипниклар икки хил усулда аниқланади. Биринчиси, тебраниш спектрининг ягона ўлчовлари учун оммавий диагностика хизматларига тегишли. Бундай ҳолда ўлчовларнинг даврийлиги турли соҳаларда 100 мингдан ортиқ подшипникларнинг диагностика маълумотларига асосланган ҳолда дастурий таъминот тўпламини ишлаб чиқувчилар томонидан аниқланади. Оптимал ўлчаш частотаси ўзига хос машиналардаги ўртача туриш муддати маълумотлари билан боғлиқ ва бу ресурс муайян ўлчов нуқтасини (ташхисланган тугун) конфигурация вақтида фойдаланувчи томонидан ўрнатилади. Узок муддатли маълумотлар шуни кўрсатадики, подшипник махфий ишлаб чиқариш камчиликларига эга бўлмаса, ва тўғри ишлатилса, подшипникда ўрнатиш ва ҳеч бўлмаганда ўртача камчиликка эга бўлмаса, муаммосиз ишлашнинг пастки чегараси ўртача ишлашнинг 20-25% ини ташкил этади. Шунга қарамай, подшипник сиқиш ҳолатида ишламайдиган машинанинг таркибий ўзгаришлар содир бўлиши мумкинлигини ҳисобга олсак, ишлаб чиқарувчилар 6 ойга тенг бўлган дефектсиз подшипниклар учун диагностика ўлчовлари орасидаги максимал ораликни ўрнатадилар. Тавсия этилган ораликни қисқартириш, агар фойдаланувчининг ўртача туриш муддати 2,5 йилдан кам бўлса ва ташхис натижалари ўртача ёки оғир нуқсонлар аниқланса. Диагностика ўлчовлари орасидаги интервалларни танлашнинг иккичи усули, тебраниш спектрлари ва уларнинг конвертларини мунтазам равишда ўлчаш орқали роторни подшипниклар билан ташхислаш учун ишлатилади. Бундай ҳолда нуқсонли машиналарнинг тебраниш ўлчовлари ўртасидаги интерваллар фойдаланувчи томонидан носоз ривожланиш ставкалари ҳақидаги маълумотларга асосланади. Тавсия этилган оралик бир ойдан уч ойгача ташкил қилади, аммо у фойдаланувчиларнинг чидамлилиги, шунингдек

машиналарнинг профилактик фаолиятининг частотасини ҳисобга олган ҳолда диагностика ишларини бажариш харажатларини инобатга олган ҳолда кичикроқ ва каттароқ ўрнатилиши мумкин. Агар нуқсонда ташхис қўйилган тугмачада битта ўртача нуқсон пайдо бўлишига мос келадиган ўзгаришлар мавжуд бўлса, тавсия этилган оралик ярмига камаяди. Иккита ўрта ёки кучли оралик носоз кўринишга мос келадиган ўзгаришлар учта омил бўйича ўлчовлар оралигида тавсия этилган ораликни автоматик равишда қисқартиришга олиб келади. Кейинчалик мураккаб ҳолатларда ташхис қўйилган тугунни (таъмирлашни) ўзгартириш ёки фавкулотда тугуннинг бузилиши эҳтимоллиги жуда юқори бўлмаса, унда нуқсонли машиналар учун фойдаланувчи белгиланган вақт оралигида 20% ини қайта ўлчаш тавсия этилади.

Йиғиш подшипнигига ташхис қўйиш вақтида машинанинг ишлаш режимини танлашнинг асосий тавсияси, ҳар бир даврий вибрация ўлчовларида бир хил айланиш тезлигини таъминлашдир. Ташхис қўйиш учун ўртача қийматдан +10% гача бўлган частотага мос келувчи ўлчов гуруҳлари қўлланилади. Юқори тезликли машиналар учун энг узоқ ишлайдиган режимни танлаш тавсия этилади. Яъни машинанинг номинал иш режими.

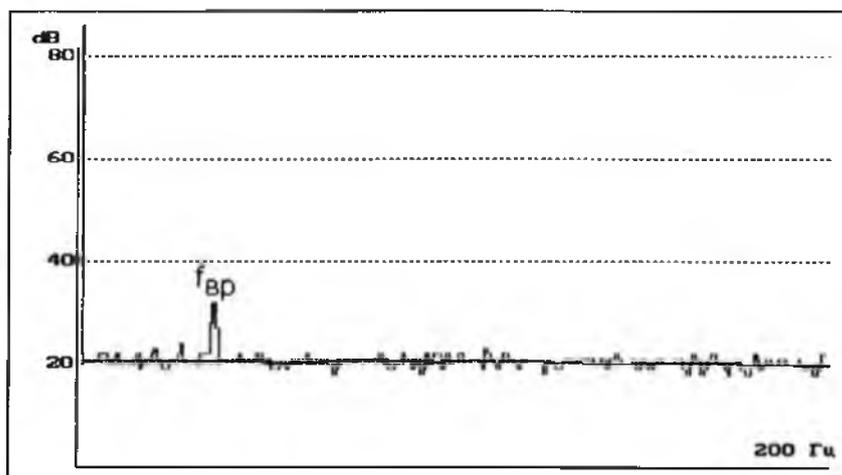
Ишлаш режимини танлаб олиш бўйича яна бир тавсифномалар айниқса ушбу юқларнинг зичлигига қарамасдан машинанинг бошқа қисмларидан ётқизилган динамик кучларнинг юқлиги.

Диагностик ўлчовларни бажаришда машинанинг тезлигини барқарорлигини таъминлаш керак. Ўлчов маълумотларини қайта ишлаш жараёнида автоматик равишда аниқланган барча носозликлар чуқурликдаги уч гуруҳга бўлинган: заиф (И), ўрта (М), ва кучли (С).

4.2. Диагностика турларининг дефект аломатлари

“ВАСТ” ОАЖ нинг маълумотларига кўра, тебраниш конверсиясининг спекторинингягона ўлчовларидан подшипникларни

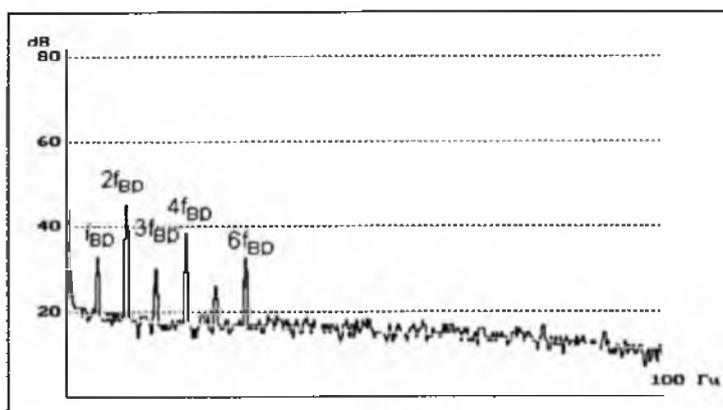
ташхислашда аниқланган ва аниқланган нуқсонларнинг диагностика турларининг дефект аломатлари берилган. Бу нуқсон кутилмаганда рўй берадиган дефектларни олдини олиш учун бажарилади, агар дефект ягона бўлиб, уларда бошқа ўзеллар диагностика объектининг дефектлари вақт ўтиши билан кучайиши рўй бермаган ҳолатда. Масалан, валнинг муфтага бириктирилгандаги дефектлар, тишли узатма ва бошқалар.



4.1.2 Расм. Подшипник ташки (қўзгалмайдиган) ҳалқасининг титраш спектри.

4.1.1. Подшипникнинг ташки (қўзгалмайдиган) занжирининг ҳаракатланиши унинг ўзига зарар етказмайди. Лекин унинг иш тартиби подшипник устидаги кўтарма юки билан кўрсатади. Бу дефект горизонтал валга эга бўлган машиналарда ё роторнинг кучли тенг таъсир қилмайдиган, ёки валнинг зарбасини курсатади. Вертикал валга эга бўлган машиналарда подшипник ишнинг табиий равишда ишлайдиган усули ҳисобланади ва у хизмат кўрсатиш муддатини ўзгартирмайди. Подшипник ушбу тартибининг белгиси максимал амплитудалар 1-3 нинг гармоникага тенг бўлган $kf_{вр}$, частотали кичкина (уч ёки тўртгача) гармоник тебраниш таркибий қисмлари спектрининг кўриниши 1.4 расмда кўрсатилган. Подшипникларнинг бир хил бўлмаган радиал кўтарилиши, одатда унинг асосий қисмида, масалан, рухсат берилган диаметрда каттароқ ҳолатда сиқилганда, қисмларида, айланишда колсаларнинг нотўғри жойлашувида ва подшипник устига эксенел юкларнинг кўтарилишида келиб чиқади.

Ушбу нуқсоннинг белгиси, титрашнинг конверсияси спектрида ва биринчи навбатда вал ротацион частотасининг иккинчи гармоникасида (1-расмга қаранг) гармоник таркибий қисмларининг ўсишидир. Бу нуқсон одатда, янги подшипник ўрнатилгандан кейин дарҳол намоён бўлади ва бу подшипникнинг ички ҳалқасининг иккита қарама-қарши нуқтасида қайтиб юкнинг ошиши билан бирга келади ва ёйилган юзага таъсир қиладиган ортиқча юкларнинг тезлашишига олиб келади. Бу ҳолатда подшипникка ҳаддан ортиқ юк тушади ва бир хил бўлмаган шовқин белгиси юқолиши мумкин, аммо подшипникнинг тезлаштирилган айланмаси давом этади.

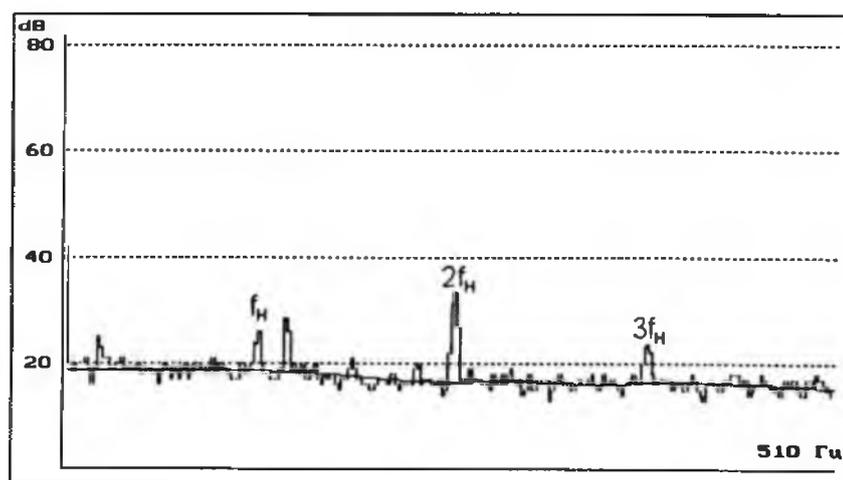


4.1.3 Расм Подшипникнинг радиал айланмаси билан тебраниш зарбининг спектрлари.

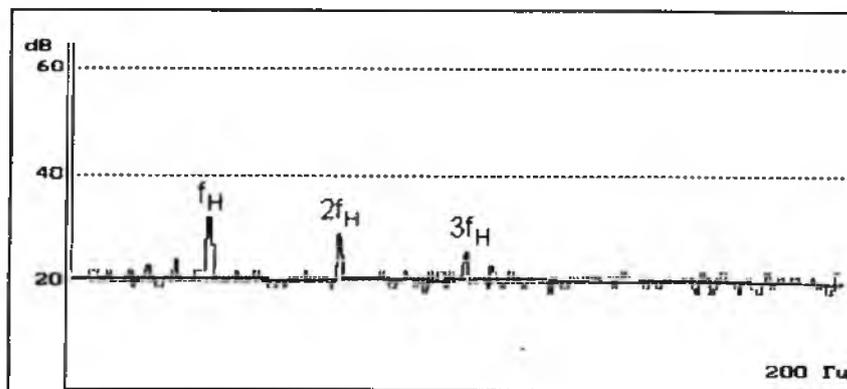
4.1.3. Подшипникдаги носозликлар асосан, подшипник ташқи ҳалқасининг нотўғри жойлашувидан ва жойлашув жойининг нотўғри талқин қилинишидан келиб чиқади. Бу дарҳол ўрнатишдан кейин пайдо бўлади. У ҳатто К ва айниқса, иккинчи гармоник $2F$ (расм 1.6) да kfn , частоталар спектри конвертнинг ўсиш компонентларининг белгисидир. Бу ўсиш сабаби ташқи ҳалқа икки қарама-қарши нуқталарда ишқаланиш юзасига ошувчи статик юк бўлади. Тезда эскириш ҳолатларидан бир натижа юқ бўлиши мумкин, лекин жадал эскириш ташқи ҳалқада давом этиши мумкин.

4.1.4. Ташқи подшипник ҳалқасининг ташқи кўриниши деярли ҳар доим локал равишда пайдо бўлиб, ташқи ҳалқа юзасининг муайян қисмларида подшипник элементининг ишқаланиш коэффициентини

ўзгартиради. Натижада, f_H частотаси билан юқори частотали тебранишнинг силлиқ модуляцияси пайдо бўлади ва конверсиялаштирувчи тебраниш спектрларида гармоник таркибий қисмлар kf_H частоталарида ўсади ва биринчи гармоник f_H да энг катта усиш кузатилади ва зарб спектрида кўп гармоникларнинг амплитудаси тезлик билан тушади.

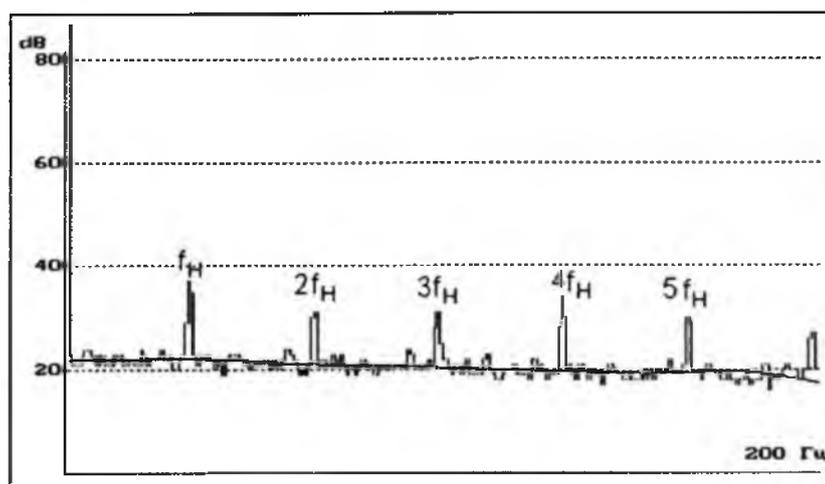


4.1.4 Расм Ташқи халқа спектрининг эгри жойлашуви



4.1.5 расм Подшипник ташқи халқасининг титраш спектрида емирилиши.

4.1.5. Подшипникнинг ташқи халқасида чиганоклар (ёриқлар) ҳар бир юмаловчи элемент қобиги (ёриқ) билан билан алоқа қилганда қисқа зарба импулсларининг пайдо бўлишига олиб келади. Натижада, юқори тебраниш зарб спектрларида kf_H билан бир қатор гармониклар пайдо бўлади ва бу гармониклар сони етарлича катта ва уларнинг к коэффициентидабир оз камаяди. (1.8-расмга қаранг)



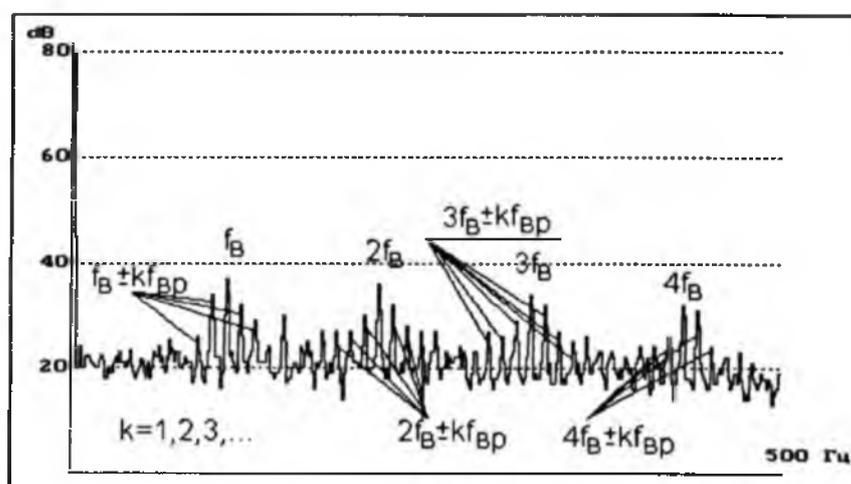
4.1.5 Расм Ташқи ҳалқа қобигидаги тебраниш зарралари спектри.

Заррачалар спектрини таҳлил қилишда қобик белгиларини ва ёриқларини ажратиб олиш жуда осон ва бу асосан, подшипник ёриқли бўлса камчиликларини тезроқ ривожланишига боғлиқ. Қобик белгилари охирида ташқи ҳалқанинг ялтирок белгиларига айланиши мумкин ва ёриқ белгилари барқарор бўлиб, кейинчалик ҳар бир ўлчов билан ўсиши мумкин.

4.1.6. Подшипник ички халқасининг кўриниши қоида тариқасида маҳаллий шароитда тўғри келади, лекин тез суръатларда ишқаланиш коэффициенти зонаси энг яқин ҳаракатланувчи жисмларнинг алоқа нукталари орасидаги масофадан ошиб кетади ва ишқаланиш кучларининг модулятцияси частотага нисбатан f_B дан кўра кучлироқ частотага эга. Шунинг учун, ички юзага ташҳис қўйилганда диагностика хусусияти $kf_{вp}$ частоталари билан бир қатор гармоникларнинг ковертлари спектрида кўринишидир. Ички халқадаги айланма билан пайдо бўлишига

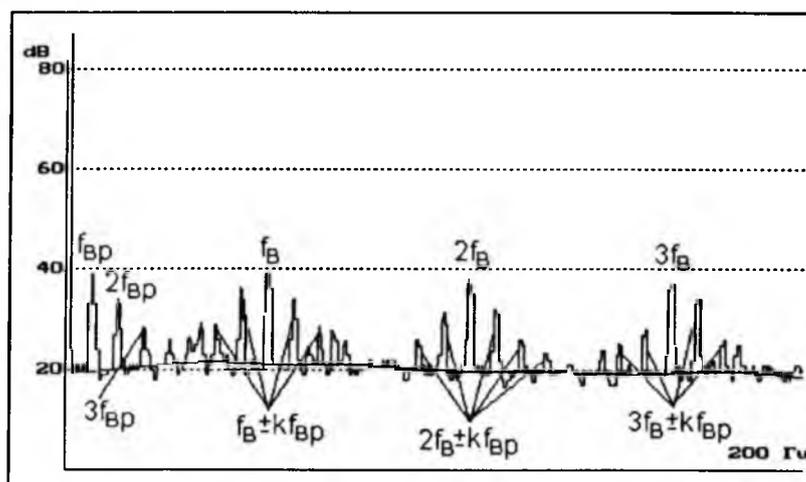
карамасдан kf_B частоталари билан бир қатор гармониклар ички ҳалқадаги қобик кўринишини диагностик белгиси сифатида ишлатилади. Кўпинча ички роликлар куйиб қолганда, подшипникнинг юқори частотали тебранишлари ҳам ошиб боради, бу нуқсоннинг кўшимча белгиси ҳисобланади. Таъкидлаш керакки, kf_{Bp} гармоникасининг тебраниш конвертлари спектрининг ўсиши бириктирилган мўфта, тишли узатма, ротор, ва бошқа машина қисмларининг белгиси ҳисобланади, шунинг учун бу хусусият аниқланганда машинанинг бошқа қурилмаларида нуқсон юқлигига ишонч ҳосил қилиш керак. Агар бунинг имкони бўлмаса, тебраниш зарбасининг конвертини вақти-вақти билан ўлчаш ва ўрнатиш жойида юқори частотали тебраниш ёки бошқа турдаги носозликларнинг пайдо бўлишигача нуқсон ривожланишини кузатиш керак.

4.1.7. Подшипникнинг ички ҳалқасида қобик (ёрик) лар билан алоқа қилганда қиска зарба импулсларининг пайдо бўлишига олиб келади. Натижада, kf_B частоталари билан бир қаторда гармониклар конверсиялаштирувчи тебраниш спектрида пайдо бўлади, бунинг сабаби, ўрнатиш жойида заиф радиал шовкинлар билан таъсирининг катталиги юқга боглиқ, яъни ичуи ҳалқанинг бурилиш бурчагидан зарб спектрида кўринадиган радиал компонентлар $\pm k_1 f_{Bp}$ билан фарқ қиладиган бир қатор гармоникаларда пайдо бўлади.

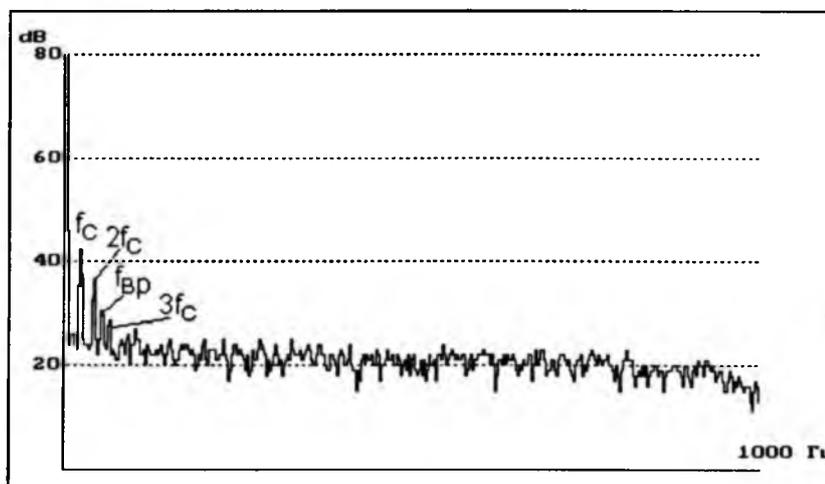


4.1.6 Расм подшипник ички ҳалқасида қобиқ бўлганда титраш зарбининг спектрлари.

Қобиқ белгилари ва ёриқни ички ҳалқага ажратиш ҳар доим ҳам мумкин эмас. Ёриқнинг билвосита зонасида ички ҳалқанинг радиуси ошиб кетганда кўп миқдорда гармониклар $k f_{вр}$ бўлган $k f_{вр} \pm k_1 f_{вр}$ горизанталларига бир вақтнинг ўзида пайдо бўлиши мумкин (расм 1.10). Бироқ, $k f_{вр}$ частоталар билан бир қатор гармоникларнинг пайдо бўлиши ёриқ бўлмаса қобиқ зонада ортиб борувчи айланма белгиси бўлиши мумкин. Кўпинча ёриқ носозликни ривожлантириш тезлигига қараб хавфсиз ҳолатга келтирилади, чунки қобиқ бир неча кун давомида барқарор қийматга эга бўлиши мумкин ва ёрилишда бир нуқсон монотоник равишда ошади.



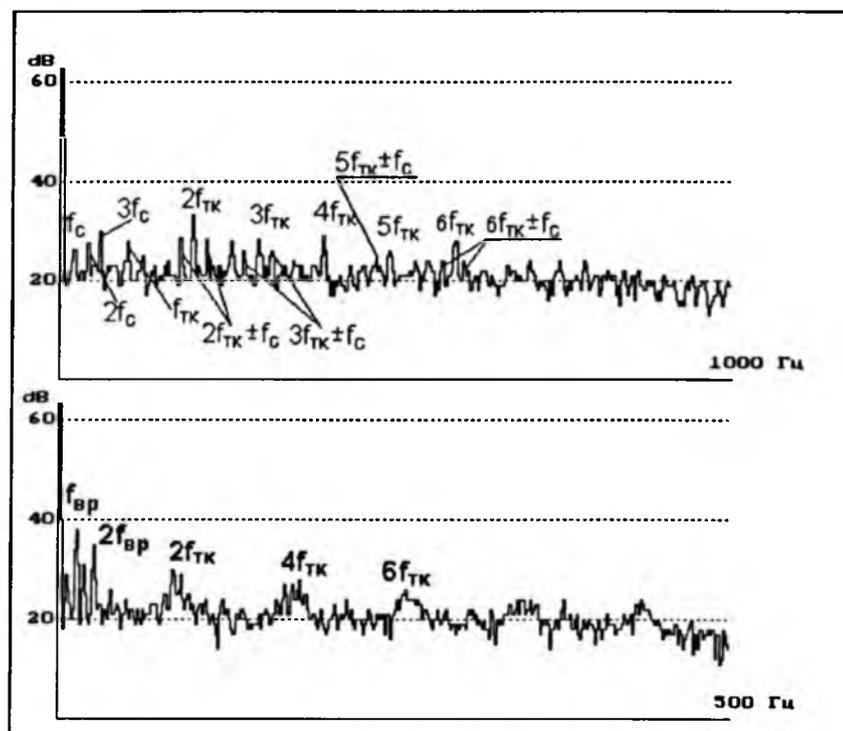
4.1.7 Расм Подшипник ички халқасидаги ёрик бўлганда тебраниш заръининг спектрлари.



4.1.8 Расм Сепаратор ва айланишдаги емирилишларнинг титраш зарб спектри.

4.1.8. Айланиш элементларининг ўрнатиш жойи ва унда ажратувчи нуксонлар энг хавфли нуксонлардан биридир, чунки у тезкор равишда ривожланади. Вибрацияли конверсия спектрдан дастлабки бир нуксон топилди, яъни битта (гурух) ёйилган тананинг юзасини юритиш. Бу билвосита нуксонли айланма элементига тегиб турган сепараторнинг ушбу қисмини такомиллаштирилганлигини кўрсатади.

4.1.9. Ушбу икки подшипник дефектларини кўриб чиқиш учун умумий хусусиятдир. Бошқа усуллари подшипникнинг бевосита эскирганлигини ёки ишдан чиққанлигини фарқини ўлчаш учун қўлланилади (1.12 расм).



4.1.9 Расм Бир қанча айланиш танасида, қобиғида титрш зарба спектри.

4.2. Айланиш танаси ва подшипник қобиғи энг хавфли ва энг тез ривожланадиган нуқсолар орасида ҳам бор. Бу нуқсон кўриниши ва тана тузилиши подшипник юзаларининг ҳар ўртасидаги бажарувчи кучли зарба ўсиши билан бирга ўсади. Шунинг учун, вазнли асосий частота $2f_{ТК}$ га тенг ҳисобланади. Ташқи ва ички халка бир бири билан алоқада кучли зарба амплитудаси билан фарқ қилиши мумкин, шунингдек, юк айланиш бурчагига боғлиқ бўлиши мумкин. Бироқ спектр конверт тебраниш ҳам $K1$ билан частоталар $k_1f_{ТК} + k_2f_c$ йигиндисига тенг бўлади. Бундан ташқари частоталар амплитудаси таркибий қисмлари билан бир қаторда бир неча компонентини ўз ичига олади (1.12 расм).

Бундан ташқари айланадиган ўқнинг айланиш ўқининг (проектцион) юналиши, сепараторнинг айланиши туфайли бу қисмлар тасодифий амплитудага ва частотали модуляцияга эга бўлиши мумкин, шундан кейин спектр бир хил шаклда кўрсатилгандек бўлади.

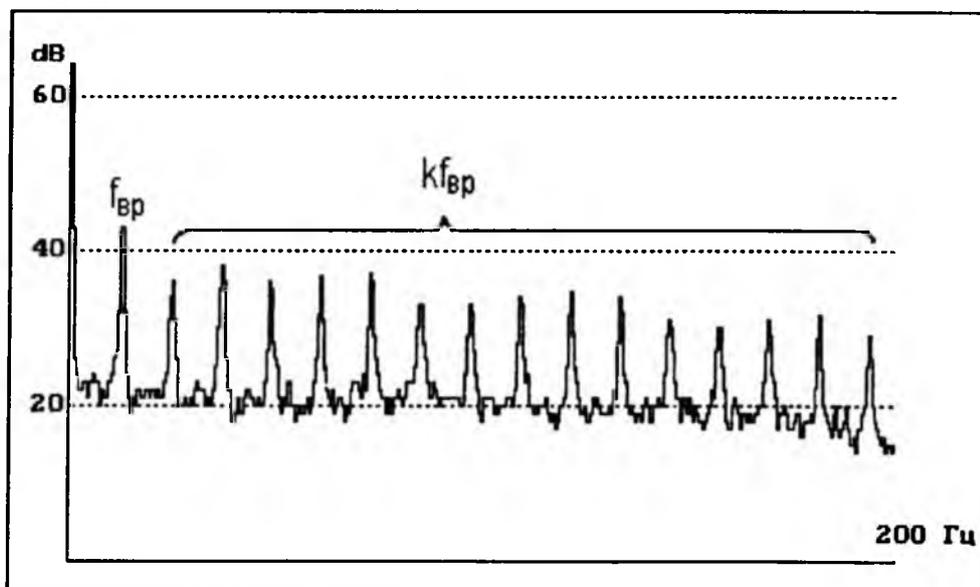
4.2.1. Кенгайтирилган (врвлвш) тузилган нуқсон уларнинг аломатлари мустақил ҳисобланади ва турли комбинатция частоталар билан гармоник ыр спектр олиб келиши эмас, балки иш учун ишлаб чиқилган икки ёки ундан кўп нуқсонлар хусусиятларини юзага келтиришни ўз ичига олдаи. Бу аломатлар ташқи халқа устида пайдо бўлади. Ушбу камчиликлар гуруҳи камдан кам кўринадиган мураккаб нуқсонлар белгиларини ўз ичига олади, аммо уларнинг ташқи кўриниши ўрнатиш жойидаги ишлаб чиқилган нуқсонларнинг биридан каттароқ бўлиши ҳақида кўшимча маълумот беради.

4.2.2. Сепаратордаги халқанинг силкинишини камдан кам ҳолларда носозлик ва вибрацияни ўлчаш пайтида пайдо бўлганида аниқлаш мумкин. Табиийки, бу жараён юқори частотали тебранишлар ва $kf_{вр}$ частоталари билан таъсир қилади. Бошқа частоталар билан ҳеч қандай таъсир доирасига эга эмас.

4.2.3. Бу нуқсон жуда хавфли ҳисобланади. Бунда ҳаракатни тезда тўхтатиш ва падшипникни алмаштиришни талаб қилади. Афсуски, бу турдаги нуқсонлар бошқа механик машиналарлар, масалан, муфтлар, тишли ва бошқа узатмалар каби тизимларни ажратиш жуда қийин. Шунинг учун подшипник механизмининг тебраниши ёки ҳарорати сезиларли даражада ошганига ишонч ҳосил қилиш керак.

4.2.4. Подшипник мойлашининг камчиликларнинг асосий диагностик хусусияти подшипник ўрнатиладиган жойнинг юқори частотали тебранишини оширади. Одатда, агар бу нуқсон битта бўлса зарба спектри вибрациясини бошқа турдаги ўрта ва кучли нуқсонларни юқ қилади. Аммо бу ҳолат тез-тез аксинча бўлади ва суяқ мойнинг етишмовчилиги оқибатида ва бу машиналарнинг мойлаш билан боглиқ бўлади. Бу эса

машинани тўхтатиш ва подшипник ҳолатини текшириш кераклигини талаб қилади. Мойлаш нуқсонини ҳақида аниқ бир қарорга келтирилган яна бир ҳолат мавжуд. Бу ёйиш ва ажратувчи юзалар шунчалик эскирганки, зарбалар импусларининг сони жуда катта ва улар бир-бирига боғлаб, уларнинг частоталари бузилади ва тебраниш конвертини спектрли усуллари билан аниқлаб олиш имконияти юқолади ва бу ҳолда шошилишч алмаштириш керак бўлади. Вибрацияли спектрнинг таркибий қисмлари ва уларнинг конверсиясининг частоталари, даврий вибрацияли ўлчовлар билан подшипниклардаги шикастланиш чизигининг камчиликларини аниқлаш учун ишлатилади.



4.1.10 Расм Ташқи ҳалкани четга сурганда титраш зарбасининг спектри.

4.2.5. Валнинг урилиши тез-тез учрайди ва нафакат ўзига хос хусусиятларга эга, балки кўплаб нуқсонларнинг диагностик хусусиятларини ўзгартиради. Шунинг учун турли хил диагностика хусусиятлари мавжуд, аммо уларнинг асосийлари куйидагилар:

- Катта тезликда (3-5дан ортиқ) гармониклар сони билан ротор тезлигининг гармоникасида машина паст частотали тебранишининг ўсиши;
- Вал айланиш частотаси билан подшипник ўрнатиш жойининг юқори тебраниш модуляцияси пайдо бўлиши, лекин подшипникларда зарба имплуслари белгилари ёки юқори тебраниш даражасининг сезиларли даражада ортиши;
- Ишқаланишнинг нуқсонли элементларига юкларнинг модуляция ва шунинг учун валнинг айланиш тезлиги билан тебраниш конверси спектрининг кўплаб гармоник таркибий қисмларини модуляция килиш.

п/п	Дефект кўрилиши	Титраш спектри		Зарра спектри	
		Асосий	Қўшимча	Асосий	Қўшимча
1	Валнинг урилиши (муфталар)	$k f_{вр}$	Ўсиш йўқ ВЧ	$k f_{вр}, k > 10$	Ўсиш йўқ ВЧ
2	Бир томонлама бўлмаган радиал тортув	$2f_{вр}$	$2f_{вр}$ Ўсиш йўқ ВЧ	$2f_{вр}$	$2f_{вр}$ Ўсиш йўқ ВЧ
3	Ташқи халқанинг эграиши	$2f_n$ Нет роста ВЧ	$2kf_n$ Ўсиш йўқ ВЧ	$2f_n$ Ўсиш йўқ ВЧ	$2kf_n$ Ўсиш йўқ ВЧ
4	Ташқи халқанинг емирилиши	f_n	$kf_n, k > 3$ ўсиш ВЧ	f_n	$kf_n, k > 3$ ўсиш ВЧ
5	Ташқи халқанинг ёрилиши	$kf_n, k > 3$	ўсиш ВЧ	$kf_n, k > 3$	ўсиш ВЧ
6	Ички халқанинг емирилиши	$kf_{вр}$	kf_n ўсиш ВЧ	$kf_{вр}$	kf_n ўсиш ВЧ
7	Ички халқанинг ёрилиши	kf_n	$kf_{вр},$ ўсиш ВЧ	kf_n	$kf_{вр},$ ўсиш ВЧ
8	Сепаратор ва айланиш танасининг емирилиши	$f_c, (f_{вр}-f_c)$	$kf_c, k(f_{вр}-f_c),$ ўсиш ВЧ	$f_c, (f_{вр}-f_c)$	$kf_c, k(f_{вр}-f_c),$ ўсиш ВЧ
9	Қобик ва бир қанча айланиш танаси	$2kf_{тк}$	$2kf_{тк},$ ўсиш ВЧ	$2kf_{тк}$	$2kf_{тк},$ ўсиш ВЧ
10	Мувозанатланмаган ротор	$f_{вр}$	Ўсиш йўқ $kf_{вр},$ ўсиш ВЧ	Йўқ $kf_{вр},$ $k > 1$	—
11	Улашиш ўзелларидаг и дефектлар	рост УНЧ, ($< 0.5 f_{вр}$)	Бошқа дефектлар йўқ	Аниқланмаган	
12	Дефектлар смазкаси	рост ВЧ	—	Ўсиш ВЧ	Кучли тузувчи йўқ
13	Муфталар дефекти	$kf_{вр}, k > 7$	Ўсиш йўқ ВЧ	$kf_{вр}, k > 10$	Ўсиш йўқ ВЧ
14	Ягона бўлмаган дефект	Гармоник тузилишнинг бошқа ўсиши			

Буерда: $f_{вр}$ - валнинг айланиш частотаси;

f_n - ички халқа бўйлаб харакатладиган жисмларнинг силжиши частотаси;

f_H - ташқи халқа бўйлаб ҳаракатладиган жисмларнинг силжиши частотаси;

f_{TK} - айланиш танасини айланиш частотаси;

f_C - сепараторнинг айланиш частотаси;

ВЧ - тебраниш спектрининг юқори частотали минтақаси;

УНЧ - тебраниш спектрининг юқори частотали минтақаси ($< 0,5 f_{вр}$);

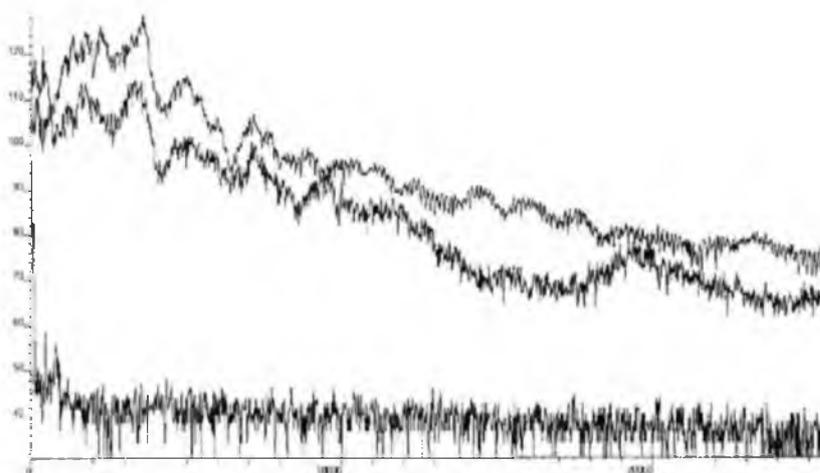
$k=1,2,3,4,\dots$

4.3. Ўлчовлани текширишда юзага келадиган хатоларни аниқлаш усуллари

(Тўғридан-тўғри локомотивларга ва стендларга мўлжалланган редукторлар билан гилдиракли-мотор блокларини диагностика қилиш учун). Ўлчовлардаги хатолар.

4.3.1. Титрш датчиги ёмон ўрнатилган

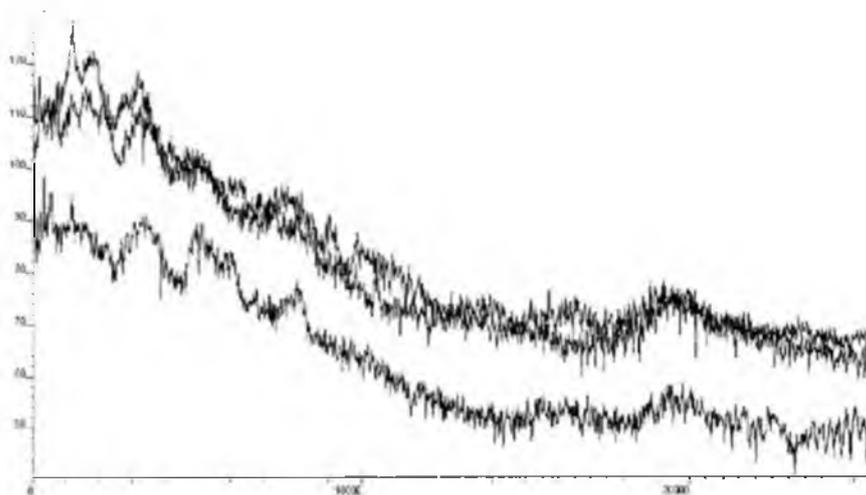
Бу амалёт бир хил нуқтада кетма-кет равишда амалга ошириладиган бир неча тебраниш спектрларининг биргаликдаги таҳлиллари билан аниқланади (1.14-расм). Датчик тўғри ўрнатилмаган бўлса, зарб элементлари такрорланмаслиги мумкин.



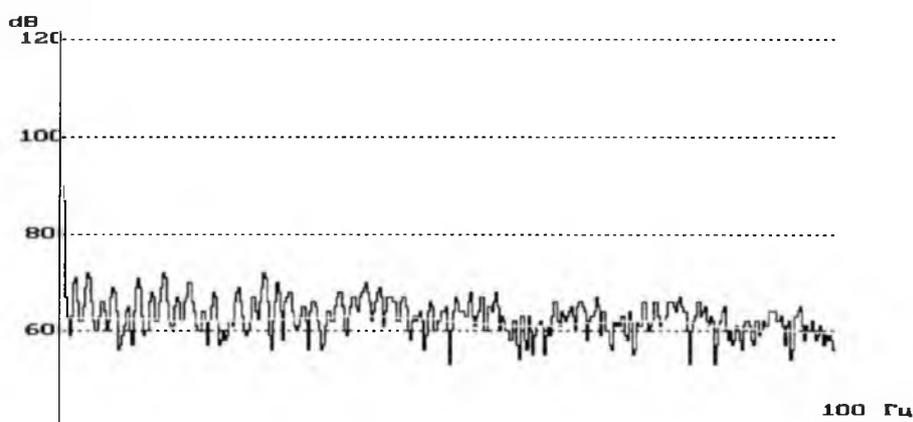
4.3.1 Расм Тўғридан-тўғри тебраниш спектри.

4.3.2. Бошқа сезувчанликка эга бўлган датчик ишлатилади. Бир нуқтада бир нечта тебраниш спектрларини биргаликда таҳлил қилиш оркали аниқланади. (1.15-расм)

4.3.3. Ўртача миқдордаги кам сонли кўрсаткич танланади (ўлчовлар учун тўғридан-тўғри спектр учун 8дан кам ва зарб спектрлари учун 12дан кам). 1.16-расм.



4.3.2 Расм. Тўғридан-тўғри тебраниш спектри.



4.3.3 Расм Титраш зарра спектри.

Диагностикадаги асосий хатолар.

4.3.4. Ўлчов нуқталари тўғри тузилган эмас.

4.3.5. Гилдарак редукторининг барча подшипниклари учун конфигурация мосламасини кўтариш учун амалга оширилади. Истисно (оддий подшипник) фақат айланиш қутиси оркали эмас,

балки тўғридан тўғри ғилдиракка (ғилдирак жуфти узатмалари билан) фақат битта ғилдирак жуфтлигини ташхис қилиш учун мўлжалланган.

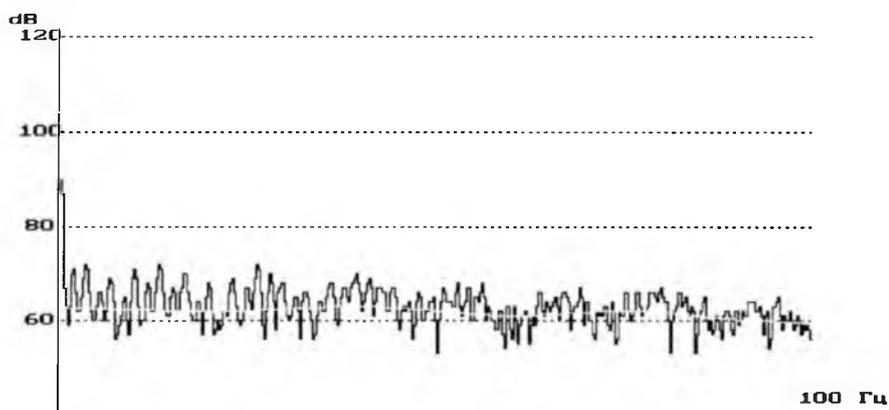
- Биринчи ўқнинг тезлигини нотўғри танлаш. Буни ҳал қилиш мумкин: биринчи ўқнинг частотаси ғилдирак жуфтлигининг тезлиги, Z_{12} Z_{21p} редуктор тезлигини созлашда, Z_{12} – катта редуктор ва Z_{21} – кичик шестерня

4.3.6. Айланиш частотасини нотўғри ўрнатиш.

- Кофигурация вақтида нотўғри ўрнатиш
- Спектрларга кирганда частота нотўғри ўрнатиш.

Иккала ҳолатда ҳам айланиш частотасини белгилаш фойдалидир. Буни тебраниш спектрларидан ва кичик ўлчовли конвертдан қилиш керак. Бу ерда график чизигини аниқлаш ва конфигурация киритишда уни тузатиш зарур. Расмда кўрсатилгандек белгиланган (1.17-расм)

4.3.7. Биричи операция – айланиш тездлигини аниқлаш.



4.3.4 Расм Титраш зарра спектри

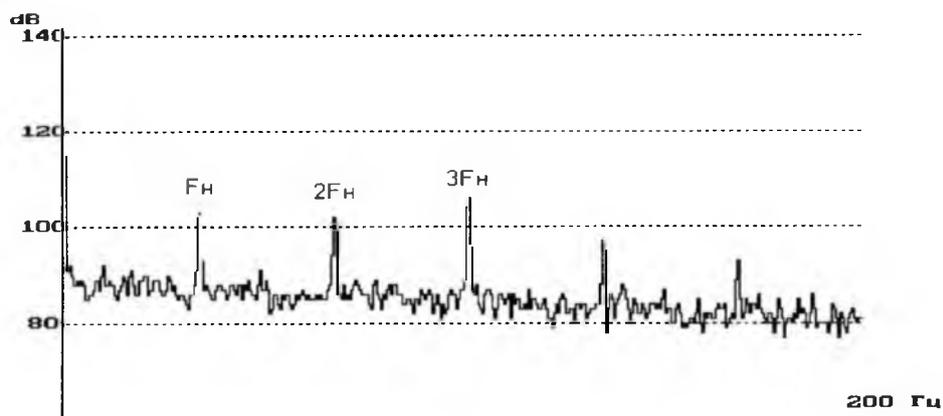
4.3.8. Иккинчи операция – зарра спектрининг график анализи.

Бу операция ҳеч қандай радиал таркибий қимслар бўлмаган гармоник кетма-кетликни очиб беради. (1.18-расм)

- Агар бундай кетма-кетлик бўлса, улар биринчи ёки иккинчи ўқ айланиш тезлигининг гармониклигини ёки йўқлигини текшириш керак.

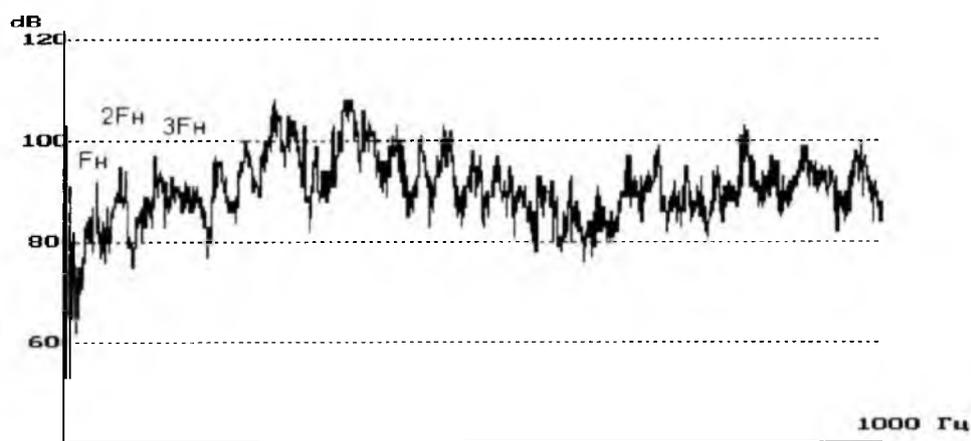
Ижобий жавоб билан улар тишли ғилдиракдаги камчиликларга алоқадор бўлиб, тебраниш спектридаги чегара қийматлари ошмаган ҳолда улар билан давом эттириш мумкин.

- Бундан ташқари ушбу гармоникаларда ташқи ҳалқалар ёки ҳаракатланувчи органларини нуксон аниқлаиса, тўғридан-тўғри спектрда бир хил таркибий қисмлар мавжуд (1.19-расм). Агар у мавжуд бўлса, унда бу нуксон тўғри аниқланганлигини тасдиқлайди ва тўшак ўрнини ўзгартириш тўғрисида қарор қабул қилиш керак.



4.3.5-Расм Титраш зарра спектри

Агар олдинга спектрда бу нуксон белгилари бўлмаса учунчи синов амалга оширилади. Кейин частота спектри тўғридан-тўғри спектрда аниқланади ва ўрнатиш мосламасининг конверсиялаштирувчи тебранишини спектрида пайдо бўлган частоталар билан ёнма-ён компонентлар мавжудлигини текширади. Агар бундай частоталар аниқланса автоматик равишда аниқланган нуксон деярли ҳеч қандай тўшиқ эмас аксинча тиргаклар ишлаб чиқаришда нуксон бўлади ва сигадиған суяқлик камчиликлари бўлмаса чиқиш иши давом этиши мумкин.



4.3.6 Расм. Титраш зарра спектри

1. Шикастланишга эга бўлган подшипникдаги юмалаш кинематикасини кўриб чиқиш натижасида ўзаро контактга киришган жисмлар ўртасидаги куч орқали таъсирланишни моделлаштирадиган функцияларнинг аналитик ифодалари олинган.

Бу функциялар диагностика стендидаги подшипниклар шикастланган гилдирак жуфтлиги вибрациялари математик моделининг куч кўзгатувчилари бўлиб келади.

2. Контактли кайишқоқлик назарияси асосида подшипникларнинг каттиклик тавсифлари аниқланиб, улардан стендда гилдирак жуфтлигининг кайишқоқ вибрацияларини моделлаштиришда фойдаланилди.

3. Ҳисобий-тажриба йўли билан ўқ материали, роликлар ва халқаларнинг контактлашиш зоналарида ва стенд асосидаги кайишқоқ бўлмаган қаршиллик коэффициентларни аниқланди.

Кўрсатилган коэффициентлар математик моделда Фойхт фаразига биноан тебранишларнинг сўнишини тасвирлаб келганлар.

4. Максимал тезлашишлар ва самарали частоталарнинг ҳисобий ва тажриба ёрдамида олинган қийматларини солиштириш уларнинг 10% хатолик билан ўзаро мос келишини кўрсатди.

5. Амалга оширилган тадқиқотлар мажмуи узлуксиз сигнал сезувчанлик чегарасини ва квантлаш одимининг катталигини асослаш

имконини бериб, бу қийматлар подшипниклар носозликларини тахлил қилиш компьютер тизимида ишлатилди.

6. УДП-85 стендидан МПП микропроцессор пульти билан бирга гилдирак жуфтликларининг оралиқ ревизияси пайтида 296 та носозлик аниқлаш имконини берди.

Бу диагностикадан ўтказилган барча гилдирак жуфтликларидан 5% ини ташкил қилди.

Аниқланган носозликлар ҳаракат хавфсизлиги учун хавф пайдо қилар эди.

ҲУЛОСА

1. Ҳаракат таркиби асинхрон тортув моторларини вибродиагностика қилиш орқали:

- таъмирлаш ва хизмат кўрсатишга сарфланадиган харажатларни қисқартириш;

- энди вужудга келаётган нуқсонларни аниқлаш ва уларнинг олдини олиш, шунингдек, уларни қайта тиклашга сарфланадиган харажатларни қисқартириш;

- хизмат кўрсатиш сифатини яхшилаш;

- электр двигателининг қолдиқ ресурсини аниқлаш;

- локомотив тортиш электр двигателларининг хизмат муддатини узайтириш;

- агар вужудга келган носозлик ёки ишдан чиқиш нормал эксплуатация қилиш имконини бермаса, электр двигателининг ишга яроқлилигини қайта тиклаш оптимал технологиясини белгилаш ва б.

- локомотив тортиш электр двигателининг эҳтимолий техник ҳолатини икки турга ажратиш: ишга яроқли ва ишга яроқсиз;

- локомотив тортиш электр двигателларининг вибрация ҳолатига мувофиқ келувчи нуқсонлар ва носозликларнинг хусусияти ва локализациясини аниқловчи диагнозни қўйиш;

- нуқсонлар ривожланишининг дастлабки босқичларида уларни аниқлаш ва вақт мобайнида уларнинг ривожланишини прогнозлаш.

2. Ҳаракат таркиби асинхрон тортув моторларини носозликларини аниқлаш ишончилигини аниқлашга қаратилган тадқиқотлар долзарб аҳамият касб этиб, чунки оралиқ ревизия жараёнида тортув моторларини қисмларга ажратмай туриб подшипникларни беҳато яроқсизга чиқариш (браклаш) имкониятини берадилар.

Бу чора поездлар ҳаракатланиш хавфсизлигини ошириб, асинхрон тортув моторлари оралиқ ревизиясига сарфланадиган меҳнатни камайтиради.

3. Локомотив тортув асинхрон электродвигателлари узелларининг вибродиагностика орқали дефектларини юзага келиши биланок аниқлаш тавсия этилди.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Мирзиёев Ш.М. Критический анализ, жесткая дисциплина и персональная ответственность должны стать повседневной нормой в деятельности каждого руководителя. Доклад на расширенном заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2016 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2017 год. 2017 год 14 января. - Ташкент: «Ўзбекистон», 2017. - 104 с.

2. Мирзиёев Ш.М. Мы все вместе построим свободное, демократическое и процветающее государство Узбекистан. Выступление на торжественной церемонии вступления в должность Президента Республики Узбекистан на совместном заседании палат Олий Мажлиса. Тошкент: «Узбекистан» НМИУ, 2016. -56 с.

3. Гиоев З.Г., Нелюбов В.П., Безразборная диагностика источников собственной корпусной вибрации вспомогательных асинхронных электродвигателей локомотивов, Вестник РГУПС, №2, 2011.

4. Диагностика состояния подшипниковых узлов безразборном диагностике / Электротехнические и компьютерные системы, №6, 2012., с. 46-49.

5. Иванов Д.Ю., Вибродиагностика механизмов, Челябинск, 2007.

6. Сарваров А.С, Петушков М.Ю., Купцов В.В, Современные методы диагностирование асинхронных двигателей и их развитие. Магнитогорск, 2010.

7. W. J. Wang, Diagnostic for Mechanical Systems through Analysing Variations in Vibration Signatures. The International Conference on Machine Diagnostic Techniques, August 2015 (Web of Science)

8. Wenxiu; Chu, Fulei: Vibration-based analysis of electric machinery; Chapter: 76 Publication: 1 Page.: 529-549 Published in: APR 2016 (Web of Science)

9. V. Rubino A. J. Rosakis & N. Lapusta Understanding dynamic friction through spontaneously evolving laboratory equipment, 18 May 2016, Mechanical analysis journal, p. 122-139 (Web of Science)
10. Adeline Pons, Axelle Amon, Thierry Darnige, Jérôme Crassous, and Eric Clément; Mechanical fluctuations suppress the threshold of soft-glassy solids: The secular drift scenario; Published 20 August 2015 (Web of Science)
11. Zhu, Lisha; Zhang, Rui; Zou, Changqing, Research on vibration characteristics of gear-coupled multi-shaft swing-bearing systems under the excitation of unbalance
12. Брынский Е.А., Преснов Ю.Л., Неисправности асинхронных электродвигателей и их диагностика : учеб.пособие, СпбГТУ,1999.
13. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. Рекомендации для пользователей систем диагностики. Издательство АО ВАСТ, Санкт-Петербург, 1997.
14. Барков А.В., Баркова Н.А. Современное состояние виброакустической диагностики машин. Издательство АО ВАСТ, Санкт-Петербург, 1997.
15. Розенгберг Г.Ш, Мадарский Е.З, Вибродиагностика: учеб. пособие, ПЭИПК Минэнерго РФ, Спб, 2003.
16. Губанов В.Ф., Орлов В.Н, Основы вибродиагностики объектов в машиностроении: учеб.пособие, Курган, 2004.
17. Гольдберг О.Д., Абдуллаев И.М, Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей. Энергоатомиздат, Москва, 1991.
18. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1997. -288 с.
19. Галахов М.А. Бурмистров А.Н. Расчет подшипниковых узлов. М.: Машиностроение, 1988. - 272 с.

20. Зеленченко А.П. Устройства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава: Учебное пособие. М.: МПС РФ, 2002.
21. Тэттэр В.Ю. Структура и алгоритмы оперативной вибродиагностики буксовых подшипников. - Омск: Омский научный вестник, 2001. - Вып. 18.
22. Пахолкин Е.В. Метод и средства поиска локальных дефектов при контроле опор качения: Дисс. . канд. техн. наук. Орел, 1999.
23. Мишин В.В. Метод и средства диагностирования, подшипниковых узлов с учетом макрогеометрии дорожек качения: Дисс.канд. техн. наук. Орел, 2000.
24. Тэттэр В.Ю., Щедрин В.И. Анализ развития систем вибродиагностики и тенденции их развития «Омский научный вестник» март 2000.
25. Lu, Wenxiu; Chu, Fulei: Radial and torsional vibration characteristics of a rub rotor; Nonlinear Dynamics; Chapter: 76 Publication: 1 Page.: 529-549
Published in: APR 2014(Web of Science)
26. Ouchbel, T.; Zouggar, S.; Elhafyani, M. L: Power maximization of an asynchronous wind turbine with a variable speed feeding a centrifugal pump 4th International Congress on Renewable Energy (IREC), Sousse, TUNISIA; Energy Conversion And Management DEC 19-22, 2015 Chapter: 78 Page.: 976-984 FEB 2016
27. Feng, ZP Feng, Zhipeng; Ma, HQ Ma, Haoqun ; Zuo, MJ Zuo, Ming J. Spectral negentropy based sidebands and demodulation analysis for planet bearing fault diagnosis - Journal of sound and vibration, p. 124-150, 2016 (Web of Science)
28. Тэттэр В.Ю. Методика оценки эффективности средств технической диагностики. «Локомотив» № 12, 2002.
29. Зеленченко А.П., Орехова Н.В., Федоров Д.В., Основы диагностики подшипников качения электрического подвижного состава. учеб. пособие, Спб, 2001.

30. Мазнев А.С, Федоров Д.В, Акустико-эмиссионная диагностика подшипниковых узлов электроподвижного состава. Учеб. пособие., Спб, ПГУПС, 2010.
31. Нелюбов В.П. Виброакустическая диагностика буксовых подшипниковых узлов подвижного состава: Дисс.канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2003.
32. Савченко Л.В. Методы диагностики подшипниковых узлов электродвигателей: Дисс.канд. техн. наук. Москва, 2002.
33. Баркова Н.А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудование, Спб, 2003.
34. Тихонов Ф.В. Разработка методов выбора параметров асинхронного тягового двигателя с учетом теплового состояния обмоток: Дисс.канд. техн. наук. Москва, 2008.
35. Колосова О.П. Вибродиагностика роторной системы на подшипниках качения: Дисс.канд. техн. наук. Челябинск, 1999.
36. Посадова О.Л. Автоматизированная система вибродиагностики автоколебаний компрессора авиационного газотурбинного двигателя: Дисс.канд. техн. наук. Рыбинск, 2010.
37. Крюков С.В. Вибродиагностика технического состояния деталей ГТД на основе исследования их собственных форм колебаний: Дисс.канд. техн. наук. Рыбинск, 2007.
38. Андреева О.А. Разработка методов диагностики двигателей собственных нужд электрических станций: Дисс.канд. техн. наук. Новосибирск, 2009.
39. Тычков А.С. Диагностирование ТЭД грузовых электровозов по параметрам магнитного поля: Самара, 2009.
40. Барков А.В., Баркова Н.А., Вибрационная диагностика колесоредукторных блоков на железнодорожном транспорте, СпбМГУ, 2002.-103с.

41. Галеев А.С., Вибродиагностика насосных агрегатов, Уфа.- 1997. 162с.
42. Adnan, Md Nasim; Islam, Md Zahidul: Forest PA: Constructing a decision forest by penalizing attributes used in previous trees, «Expert Systems With Applications» p.: 389-403, 2016 (Web of Science)
43. Wang, P Wang, Pan; Liu, F Liu, Fei ; Zha, XM Zha, Xiaoming; Gong, JW Gong, Jinwu: A Regenerative Hexagonal-Cascaded Multilevel Converter for Two-Motor Asynchronous Drive, Ieee Journal Of Emerging And Selected Topics In Power Electronics Chapter:5 Publication:4 Page.:1687-1699: SEP 2015
44. Brogna, A. S.; Balzer, M.; Smale, S A fast embedded readout system for large-area Medipix and Timepix systems ; Journal of instrumentation Chapter: 9 Article number: C05047 Published in: MAY 2015 (Web of Science)
45. Lingli Cui, Huaqing Wang: Diagnosis of Roller Bearings Compound Fault Using Underdetermined Blind Source Separation Algorithm Based on Null-Space Pursuit; Beijing University, 10 September 2015, p.:49-62
46. Tian Ran Lin, Kun Yu and Jiwen Tan, Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Roller Element Bearing, "Bearing Technology" May 31, 2015
47. Michael R. Hoerprich, Rolling Element Bearing Contact Geometry Analysis, Journal; Tribology Transactions, Volume 4, 2016 (Web of Science)
48. Гарг В.К., Дункипати Р.В., Динамика подвижного состава. М.: Транспорт, 1988. 391с.
49. Захезин А.М., Юпина О.П., Идентификация дефектов с использованием системы Matlab.
50. Шубов И Г, Шум и Вибрация электрических машин, Спб, 1986.
51. Нелинейные модели подшипников качения в роторной динамике// Вестник московского авиационного института. №2, Т.19. 2012. С.134-135.

52. Бек Г.Г., Подшипники качения./каталог-справочник, изд. 3-е., Спб, 2002.
53. Грищенко А.В., Козаченко Е.В., Новые электрические машины локомотивов: учеб.пособие для вузов ж.д. транспорта,- М.:ГОУ, 2008.271с.
54. Галахов М.А., Бурмистов А.Н., Расчет подшипниковых узлов, М.:1988.
- 55.Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю.Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации С.Пб: АО ВАСТ, 1997, с. 35
56. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации С.Пб: ГМТУ, 2000, 169 с.
57. Баркова Н.А. Введение в диагностику роторных машин по виброакустическим сигналам С. Пб: ГМТУ, 2002, 156 с.
58. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 1999, 344 с.
59. ГОСТ Р 52545.1-2006. Подшипники качения. Методы измерения вибрации. Основные положения.
60. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Неразрушающий контроль, кн.2. Акустические методы контроля. Под ред. проф. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1991, 180 с.
61. Захаров С.И. Способ диагностики подшипников качения А.с. 2133454, G01M13/04, 20.07.1999.
62. Захаров С.И. Устройство для виброконтроля и диагностики подшипников качения А.с. 96108554, G01M13/04, 25.04.1996.
63. Смирнов В.А. Вибрационная диагностика подшипников качения двигателя НК-12СТ газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3. Электрон, ресурс. Режим доступа: www.vibration.ru
64. Техническая диагностика подшипников качения. Электрон, ресурс. Режим доступа: <http://vwww.vdmk.com> .

65. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под. Общ. Ред. В.В. Ключева. Т.7. Кн.2: Вибрадиагностика. / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др., М.: Машиностроение, 2005. 829с.:ил.

66. Glowacz, Adam; Glowacz, Andrzej; Glowacz, Zygfryd : Detection of short-circuits of DC motor using thermographic images, binarization: *tehnicki vjesnik-technical gazette* p.: 1013-1018 Published in: AUG, 2016 (Web of Science)

67. He, Z. C.; Xiao, X.; Li, Eric: Design for structural vibration suppression in laminate acoustic metamaterials , *Composites part b-engineering* p.: 237-252, 2017

68. Prabhakar, Abhishek; Verma, Girish Chandra; Hariharan, Krishnasamy: Dislocation density based constitutive model for ultrasonic processes; *Mechanics Research Communications* Chapter: 85 p.: 76-80
Published in: OCT 2016

69. Glowacz, Adam : Diagnostics of Rotor Damages of Three-Phase Induction Motors Using Acoustic Signals and Smofs: *Archives of acoustics* Chapter: 41 Publication: 3 p.: 507-515 Published in: 2016
, p.: 4070-4082, 2017 *Journal of vibroengineering*

70. <http://www.vibration.ru>

Иловалар