

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019. Т.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ЯХШИЕВ ШЕРАЛИ НАМОЗОВИЧ**

**МЕТАЛЛ КЕСИШ ДАСТГОҲЛАРНИНГ ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ  
БАҲОЛАШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.07 – Машинасозлик машиналари, аппаратлари,  
агрегатлари ва қурилмалари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации  
доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on  
sciences**

**Яхшиев Шерали Намозович**

Металл кесиш дастгоҳларнинг техник ҳолатини баҳолаш усулларини  
ишлаб чиқиш.....3

**Яхшиев Шерали Намозович**

Разработка метода оценки технического состояния  
металлорежущих станков .....23

**Yaxshiev Sherali Namozovich**

Development of a method for assessing technical condition  
metal cutting machines .....41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....45

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019. Т.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМий КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК  
ИЛМий КЕНГАШ**

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ**

**ЯХШИЕВ ШЕРАЛИ НАМОЗОВИЧ**

**МЕТАЛЛ КЕСИШ ДАСТГОҲЛАРНИНГ ТЕХНИК ҲОЛАТИНИ  
БАҲОЛАШ УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.07 – Машинасозлик машиналари, аппаратлари,  
агрегатлари ва қурилмалари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/T2102 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертация Навоий давлат кончилик институтида бажарилаган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Эгамбердиев Илхом Пулатович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Умаров Толиб Умарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Мухамедов Джобирхон**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Фарғона политехника институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи PhD.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли илмий кенгашнинг 2021 йил «06» ноябрь соат 11<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Ташкент, Университет кўчаси., 2. Тел./ факс(99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@edu.uz](mailto:tadqiqotchi@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( № 222 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Ташкент, Университет кўчаси., 2. Тел./ факс(99871)227-10-32,

Диссертация автореферати 2021 йил «19» октябрь куни тарқатилди.  
(2021 йил «19» октябрь даги 128 рақамли реестр баённомаси).

**К.А.Каримов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

**Н.Дж.Тураходжаев**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, профессор

**Н.Дж.Тураходжаев**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш  
кошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## **КИРИШ (фан доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда технологик машиналарни такомиллаштириш, энергия ва ресурс тежамкор, юқори тезликда ишлайдиган техника технологияларни ишлаб чиқаришга қўллаш, маҳсулотлар сифатини ва рақобатбардошлигини ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга металл кесувчи дастгоҳларнинг ишончлилигини ошириш муаммолари, ускуналарнинг носозликлари билан боғлиқ йўқотишларни камайтириш, техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш харажатларини камайтириш ҳамда дастгоҳларнинг юритиш механизмларини юритмаларини кинематик ва динамик моделлаштириш машинасозликнинг асосий масалаларидан саналади. Бу борада ривожланган мамлакатлар, жумладан АҚШ, Франция, Германия, Япония, Хитой, Россия ва бошқа мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида рақобатбардош ҳамда сифатли маҳсулотлар олишда юқори самарадорликка эга ва ресурстежамкор технологияларни яратишда машина ва механизмларнинг янги конструкцияларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Кўплаб тадқиқотларга қарамай, металл кесувчи дастгоҳларининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш муаммоси охиригача ечилмаган ва уни ҳозирда ечиш муҳим аҳамият касб этади.

Бугунги кунда дунёда, ишончлиликни ошириш, металл кесувчи дастгоҳларга техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш борасида бутун дунёда сезиларли ютуқларга эришилди. Бироқ, башоратли баҳолаш, техник ҳолат ва таъмирлаш, шунингдек, металл кесувчи дастгоҳ ускуналарини таянч тугунларига техник хизмат кўрсатишни яхшилашга доир қатор асосий масалалар ҳал этилмаган. Металл кесувчи дастгоҳларнинг техник ҳолатини меъёрдан оғиш даражасини билвосита кўрсаткичларини баҳолаш, яъни унинг таркибий тугун ва қисм-деталларининг ўзаро таъсиридаги хусусиятига қараб тебраниш жараёнларининг хусусиятларини ўзгартириш орқали баҳолаш муҳим вазифадир. Шунга кўра, металл кесувчи дастгоҳлар ишончилигини ошириш учун уларга техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг ресурстежамкор усулларини ишлаб чиқиш бўйича илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш заруратини тақозо этмоқда.

Республикамызда машинасозликни ривожлантириш, машина ва механизмларнинг янги авлодларини яратиш бўйича чуқур назарий ҳамда тажрибавий тадқиқотлар олиб боришга, хусусан, машинасозлик соҳаси учун металл кесувчи дастгоҳ ускуналарининг ишлаш сифатини ошириш ва таъмирлашнинг ресурстежамкор технологияларини ишлаб чиқиш бўйича қатор чора тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...макроиқтисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг

жорий этиш»<sup>1</sup> вазифаси белгилаб берилган. Ушбу вазифани бажаришда, жумладан металл кесувчи дастгоҳларнинг шпиндель тугунини динамик сифатини лойҳалаш даврида прогноз қилиш муҳим масалалардан ҳисобланади ҳамда республика машинасозлиги учун катта аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикаси янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятларга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялари ривожланишининг II «Энергетика энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммони ўрганилганлик даражаси.** Олимлар: В.С. Баласаньян, В.Б. Бальмонт, В.В. Бушуев, А.Джонс, Т. Харрис, З.М. Левиной, А.М. Фигатнер, В.Э. Пуш, А.П.Соколовский, Д.Н.Решетов, Б.С.Балакшин, Ш.П. Алимухамедов, Дж.Е.Аликулов, Б.Т.Мардонов, М.Жураев ва бошқалар фан ва амалиётларнинг ривожланишига катта ҳисса қўшган олимлар томонидан металлни кесиш дастгоҳини мустаҳкамлигини таъминлаш ва техник таъминот билан таъмирлаш ишларини такомиллаштиришга катта ҳисса қўшган. Улар Металл кесиш дастгоҳларини техник ҳолатини баҳолашни такомиллаштирган, шунингдек металл кесувчи дастгоҳларини ишлатилиш коэффициентини ҳисоблаб чиққан, шу жумладан техника ресурсларни башоратлари, сифат ва ишончлилиқ кўрсаткичлари бўйича ускуналарни истиқболлиги берилган. Биринчи бўлиб металлларни кесиш жараёнида ҳосил бўладиган вибрацияни автотебраниш таъбиятини Н.А.Дроздов кўрсатди. Шу йўналиш бўйича В.А.Кудинов, М.Е.Эльясберг ва бошқалар йирик тадқиқотларни ўтказишди, чет элда эса И.Тлустый, М. Векк. ва бошқалар.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилиқ институти илмий-тадқиқот режасининг доирасида БВ-А<sub>тех</sub>-2018-516 сон «Машина ва ускуналарни моделлаштириш асосида путур етказмасдан текшириш усулини ва математик моделини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш» (2018-2020 йй) амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** металл кесувчи дастгоҳ техник ҳолати ва вибрацион характеристикалар орасида ўзаро боғлиқлик ўрнатиш асосида уларнинг техник ҳолатини баҳолаш усуллари ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 07 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

Металл кесиш дастгоҳлари ишлашининг ишончлилиги ва самарадорлиги ҳолатини таҳлил қилиш, адабиётларни, патент ва фонд материалларини таҳлил қилиш ва назарий жиҳатдан умумлаштириш;

эксплуатацион параметрларнинг (айланиш частотаси ва ўқ юкланиши), шунингдек, радиал бўшлиқ ва подшипниклар тугунининг олдиндан тирбантлилиги асосида таянч узелни чидамлилиги тадқиқ қилиш;

ўзининг хусусий амплитуда-частотали характеристикасига боғлиқлигини ва металл кесиш дастгоҳларини механизмининг мажбурий тебранишлари пайдо бўлишини ўрганиш;

металл кесиш дастгоҳларини техник ҳолатини кузатиш ва баҳолаш учун диагностика усуллари параметрларини асослаш;

металл кесиш дастгоҳларини подшипникларининг техник ҳолатини бузмасдан баҳолаш усулини ишлаб чиқиш;

металл кесиш дастгоҳларини техник ҳолатдаги ўзгаришларни башорат қилиш ва қолдиқ муддатини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш;

металл кесиш дастгоҳларини техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш бўйича таклифлар ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** Машинасозлик заводларида кенг қўлланиладиган металл кесиш дастгоҳлари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** – металл кесиш дастгоҳларининг техник ҳолатидаги ўзгаришларни кузатиш усуллари ва услублари.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда лаборатория, саноат шароитида экспериментал тадқиқотлар, шу жумладан мураккаб тадқиқот усуллари ишлатилган; «APM Winmashin» ва «Ansys» дастурий комплексидан фойдаланган ҳолда техник ҳолатнинг математик ва рақамли моделларини таҳлил қилиш натижаларини назарий умумлаштириш; ўхшашлик усуллари, математик статистика ва корреляцион таҳлил.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

- шпиндел тугунларининг ривожланаётган нуқсонларни аниқлашни автоматлаштирилган маълумот йиғиш қурилмаларидан олинган маълумотлар тўпламидан фойдаланиш асосида бузмасдан диагностика қилиш усули ишлаб чиқилган;

- металл кесувчи дастгоҳлар тебраниш сигналларининг юқори частотали компонентларини спектрал таҳлили асосида дастгоҳларни монтаж ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усули ишлаб чиқилган;

- белгиланган нуқталарда ва керакли частота диапазонларида қайд этилган тебраниш сигналларининг юқори частотали компонентларини таҳлил қилишга асосланган металл кесувчи дастгоҳ подшипник таянчлари техник ҳолатини вибромониторинг ўтказиш усули ишлаб чиқилган;

- тебраниш кўрсаткичларини динамикасини ҳисобга олган ҳолда айни пайтдаги подшипник таянчларининг ҳолат даражасини аниқлаш имконини берувчи металл кесиш дастгоҳларининг таянч тугунларини техник ҳолатини баҳолаш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

- автоматлаштирилган маълумот йиғиш қурилмаларидан олинган маълумотлар тўпламидан фойдаланиш асосида шпиндел тугунларининг бузмасдан диагностика қилиш усули ишлаб чиқилган;
- металл кесувчи дастгоҳларни монтаж қилиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усули ишлаб чиқилган;
- металл кесувчи дастгоҳларнинг техник ҳолатини виброммониторинг қилиш усули ишлаб чиқилган;
- металл кесувчи дастгоҳлар техник ҳолатидаги ўзгаришларни башорат қилиш ва қолдиқ ресурс қийматини аниқлаш усули ишлаб чиқилган.

#### **Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.**

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги тебранишни ўлчаш ва таҳлил қилишнинг замонавий усулларида фойдаланган ҳолда назарий ва амалий механиканинг асосий усуллари, тебраниш жараёнлари назарияси, шунингдек экспериментал маълумотларнинг етарли миқдorigа асосланган лаборатория ва ишлаб чиқариш тажрибаларининг катта миқдори билан исботланган.

#### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти тебраниш сигналларининг спектрал характеристикаларининг назарий умумлашмалари ва таҳлиллари билан белгиланиб, бу нуқсонлар турини аниқлашга ва уларнинг ривожланишини башорат қилиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти металл кесиш дастгоҳларини таянч тугунлари элементларининг техник ҳолатини виброммониторинг ўтказиш бўйича усул ишлаб чиқишга ва подшипник тугунларида қолдиқ ресурс қийматини ва сифатини аниқлашга ҳамда башорат қилишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Металл кесиш дастгоҳларини ишончлилигини ошириш ва техник ҳолатини баҳолаш усуллари ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

автоматлаштирилган маълумот йиғиш қурилмаларидан олинган маълумотлар тўпламидан фойдаланиш асосида шпиндель тугунларининг бузмасдан диагностика қилиш усули «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК НМЗ ИЧБ амалиётга жорий қилинган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 02 мартдаги 02-06-07/2440-сон маълумотномаси). Натижада, режалаштирилган ва режадан ташқари таъмирлаш туфайли металл кесувчи дастгоҳларнинг ишдан чиқишини 1,2 марта камайтириш имконини берди.

металл кесувчи дастгоҳларни монтаж қилиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усули «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК НМЗ ИЧБ амалиётга жорий қилинган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 02 мартдаги 02-06-07/2440-сон маълумотномаси). Натижада, дастгоҳларда техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш харажатларини – 20-22% га камайтириш имконини берди.

металл кесувчи дастгоҳларнинг виброммониторингини ўтказиш усули «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК НМЗ ИЧБ амалиётга жорий қилинган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2021 йил 02 мартдаги 02-06-07/2440-сон маълумотномаси). Натижада, машинасозлик ускуналарининг



ресурсини 12-15% га ошириш, унинг тўхтовсиз ва авариясиз ишлаши таъминланади.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқотнинг натижалари 2 та республика ва 6 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 13 та илмий ишлар чоп этилган бўлиб, улардан 4 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини нашр этиш учун тавсия этилган, шу жумладан 3 таси республика ва 1 та чет эл журналларида.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш қисмида** ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва талаби, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предмет характерлаштирилиши, республика фан ва технологиясини ривожлантириш учун устувор йўналишлари учун тадқиқот боғлиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилик ва амалий натижалари кўрсатилган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёйиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш, эълон қилинган ишлар ва диссертацияни таркиби тўғрисида маълумот.

Биринчи бобда **"Тадқиқотнинг мақсади ва вазифаларни асослаш"**, металл кесиш дастгоҳларини эксплуатация ва таъмирлаш бўйича тадқиқотлар олиб бориш орқали таҳлил қилинди. Бугунги кунда бутун машинасозлик ишлаб чиқаришнинг муваффақиятли ишлашининг калити, биринчи навбатда, барча бўлинмаларнинг ускуналарининг ишончли ишлашини таъминлаш учун барча бўлинмаларнинг ўзаро боғлиқлиги. Замоनावий металл кесиш дастгоҳлари ихчам ва энергия тежамкор бўлиб бормоқда. Буларнинг барчаси замоनावий техник хизмат кўрсатишда талаб даражасини ошириш, диагностикани ишончлилиги ва ускуналарни ўз вақтида таъмирлашга қаратилган.

Металл кесиш дастгоҳларини ишончлилигини оширишдаги муаммосини ҳал қилиш, шунингдек, металл кесиш дастгоҳларига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш, машинасозлик ускуналарини эксплуатация сифатини баҳолаш ва автоматлаштириш бўйича: В.С. Баласан, В.Б. Балмонт, В.В. Бушуев, А.Жонс, Т. Харрис, З.М. Левин, А.М. Фигатнер, В.Э. Пуш, А.П. Соколовский, Д.Н. Решетов, Б.С. Балакшин, Н.А. Дроздов, В.А.Кудинов, М.Е. Эльясберг, И.Тлустый, М.Векк, О.С. Кроль, В. А. Ванин, И.А.Бойко, А.М. Ханов, А.В. Шафранов, Ш.П. Алимухамедов, Дж.Е. Аликулов, Б.Т.Мардонов, М. Жураев ва бошқалар тадқиқотлар олиб боришган.

Машинасозлик ишлаб чиқаришининг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда металл кесиш дастгоҳларини техник ҳолатини баҳолаш вазифаси долзарбдир. Бу ерда, биринчи навбатда, машинасозликдаги ускуналарни техник ҳолатини ишлаб чиқариш циклини барча босқичларида кузатиб боришга,

исталган вақтда дастгоҳни қолган ресурсини аниқлашга ва дастгоҳни белгиланган ҳажмдаги ишини эҳтимолий ҳисобланган вақтга кўра бажарилиш кафолатини беришга имкон беради.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, НМЗ ИЧБ - да металл кесиш дастгоҳларига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг амалдаги тизими унчалик самарали эмас ва бир қатор камчиликларга эга, қониқарли ҳолатда бўлган механизмлар таъмирлаш ва сошлаш ишларига жалб қилинади, иш пайтида келиб чиқадиган носозлик фақат тартибга солинадиган иш даврида аниқланади ва бартараф қилинади, режалаштирилган техник хизмат кўрсатиш ўртасида ҳалокатли бузилиши муқаррар. Табиийки, техник хизмат кўрсатиш ишларини ўз вақтида олиб борилмаганлиги, уларнинг ҳажми ва таркиби жиҳозларнинг ҳақиқий ҳолатига мос келмаслиги натижасида бу юқори эксплуатацион ва моддий харажатларнинг кўпайишига олиб келади.

Илгари Ўзбекистон Республикасида ва хорижий мамлакатларда ўтказилган тадқиқотлар, шуни кўрсатдики, энг илғор ва тежамкор усули - бу ҳақиқий ҳолатга асосланган техник хизмат кўрсатиш тизими.

Бунда, металл кесиш дастгоҳларида ҳосил булдиган тебранишларга асосланган ва тебраниш сигнали параметрларини ўлчаш асосида техник ҳолатини назорат қилиш амалга оширилади. Шу билан бирга, тебраниш икки жиҳатдан кўриб чиқилади: машинанинг техник ҳолатидаги ўзгаришлар омили ва белгиси сифатида таъсир қилади.

Диссертация ишининг «**Металлни кесиш дастгоҳларининг шпиндел тугуни динамикасини назарий тадқиқ қилиш**» деб номланган иккинчи боби металл кесиш дастгоҳлари ишлашига таъсир қилувчи омилларни аниқлашга бағишланган.

Ўтказилган тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатдики, металл кесиш дастгоҳларининг ишончлилиги ва мустаҳкамлигига таъсир этувчи асосий омил бу радиал бўшлиқларнинг номинал қийматлари четланишларидир.

Вал цапфасини оғирлик марказининг ҳаракатланиш траекторияси тескари синусоид шаклида ифодаланиши мумкин

$$y = \Delta \left| \sin \frac{\pi x}{\lambda} \right|, \quad (1)$$

бу ерда  $x = \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_0} \cos \beta \right) \frac{D_0 t}{2}$  йўл, думалаш жисмлари босиб ўтади;

$\lambda = \frac{\pi D_0}{Z}$  думалаш жисмлари орасидаги масофа;

$x$  ва  $\lambda$  ларни (1) қўйиб, оламиз

$$y = \Delta \left| \sin \left[ \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_0} \cos \beta \right) Z \right] \frac{t}{2} \right|, \quad (2)$$

бу ерда  $\Delta$  – тебраниш кенглигини частотаси  $\omega_2$  билан вални думалаш жисми орқали юмалатиш  $\omega_2 = \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_0} \cos \beta \right) Z$ ;

$\omega_0$  – валнинг айланиш частотаси;  $D_T$  – думалаш жисмларининг диаметри;  $D_0$  – подшипникнинг ўртача диаметри;  $Z$  – думалаш жисмларининг сони;  $\varphi$  – контакт бурчаги;  $t$  – вақт.

Юклама нисбатига ва радиал тирқиш катталигига қараб ҳар вақтда подшипник ҳалқалари битта думалаш жисми орқали, шу жумладан думаловчи жисмлар ҳам иккитадан кейин – уч ёки тўрт ва ҳоказо контактли ўзаро ҳаракатларни амалга ошириши мумкин.

Жисмларнинг мослашувчанлиги ва думалаш йўлакларини ҳисобга олиб вални тебраниш кенглик частотасидаги  $\omega_2$  валнинг тебраниш ҳажми қуйидагича аниқланади

$$\Delta = a - (\delta_i - \delta_j), \quad (3)$$

бу ерда  $a$  – мутлоқ биқир ҳалқа ва думалаш жисмлари бўлганда иккита қўшни думалаш жисмлари орасидаги вални чўкиш қиймати;  $\delta_i$  – юкламага йўналтирилган ҳалқаларнинг қиймати, бунда вал цапфаси битта, учта, бешта ва бошқа думалаш жисмларида бўлади  $i=1, 3, 5, \dots$ ;  $\delta_j$  – юкламага йўналтирилган ҳалқаларнинг қиймати, бунда вал цапфаси икки, тўрт, олти ва бошқа думалаш жисмларида бўлади  $j=2, 4, 6, \dots$ .

Чегарали тирқиш  $S_{zp}$ , бунда подшипникдаги думалаш зарбаларсиз тебраниб ҳаракатланиш имконияти ҳам мавжуд бўлиб, қуйидагича тенг:

$$S_{zp} = 2 \cdot a \cdot \left( \frac{1}{\cos \frac{\varphi}{2}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4)$$

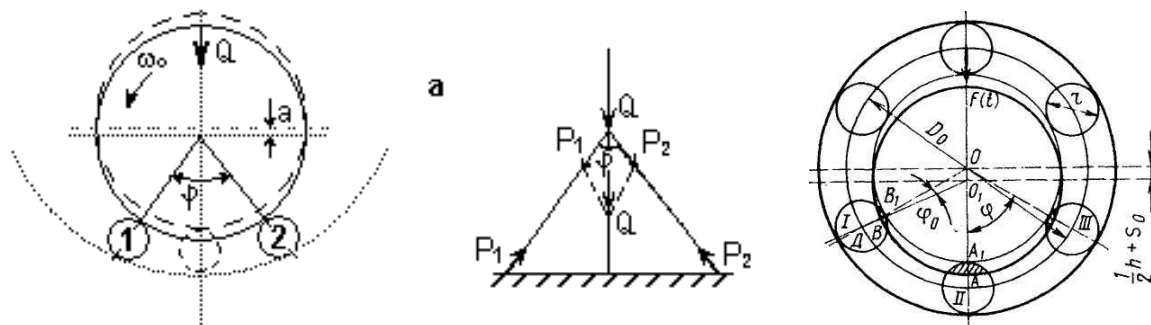
бу ерда  $\varphi$  – думалаш жисмлари орасидаги бурчак.

Шундай қилиб, подшипник думалаганда вал цапфасининг ҳаракати подшипникда радиал тирқиш ишчи қиймати (С) ва думалаш жисми орқали вал цапфасининг думалаш частотаси ( $\omega_2$ ) аниқланади.

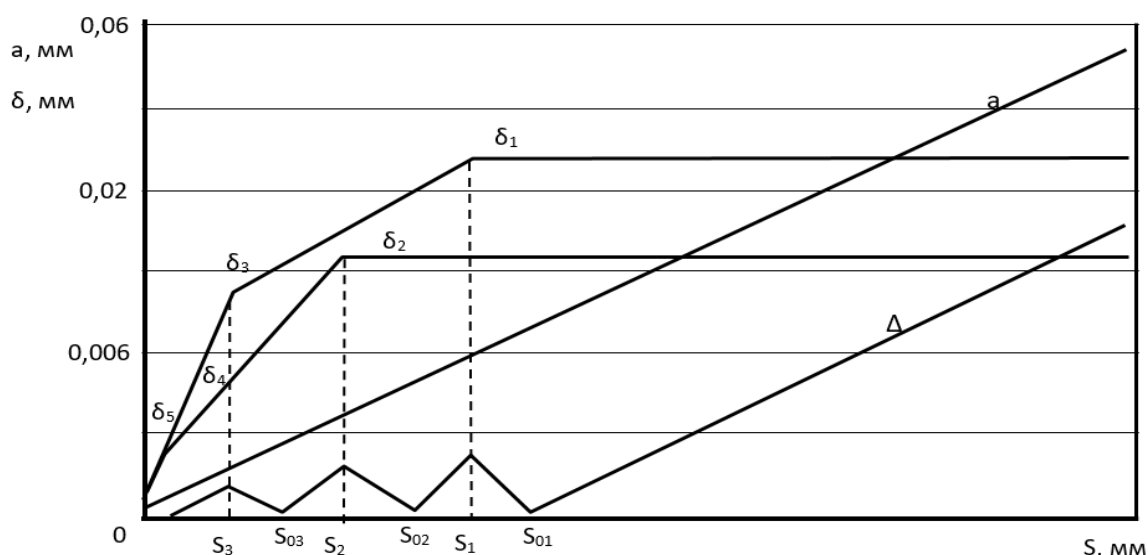
Валларнинг жисмлари думалаш бири-икки ҳолатида бошқа икки-уч, уч-тўрт, тўрт-беш ҳолатига ўтишида радиал тирқишнинг чегарали қиймати икки усулда аниқланади, шунга биноан

$$s_1 \Rightarrow a_{13} \Rightarrow \delta_1; \quad s_2 \Rightarrow a_{14} \Rightarrow \delta_2; \quad s_3 \Rightarrow a_{15} \Rightarrow \delta_3.$$

Подшипник ҳалқаларининг думалаш жисмлари билан ўзаро таъсирда бўлишини ҳисоблаб берувчи схемаси 1-расмда келтирилган.



1-расм. Думалаш жисмлари абсолют биқир жисм ва думалаш йўлаклари орасида валларнинг чўкиб қолиши



**2-расм. а, δ, Δ ифодалар – радиал тирқиш С қийматлари**

Ҳисоблаш натижалари 2-расм ва 1-жадвалда келтирилган. Бу ерда валнинг силжиш абсолют бикир ҳалқа ва думалаш жисмларида  $a$  қиймати,  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  – думалаш жисми ва ҳалқаларнинг деформациясидаги элатик қиймат,  $\Delta$  – валнинг  $\omega_2$  частотада тебраниши.

**1-жадвал**

**Подшипник ҳалқаларининг силжиш қиймати**

Ҳисоблаш қиймати	Подшипник рақами			
	1	2	3	4
$a/S$	0,008	0,010	0,015	0,006
$\delta_1, \text{ мм}$	0,0165	0,0245	0,03245	0,0184
$\delta_2, \text{ мм}$	0,0122	0,0146	0,02045	0,0134
$\delta_3, \text{ мм}$	0,0086	0,0097	0,01265	0,0092
$\delta_4, \text{ мм}$	0,0045	0,0055	0,0065	0,0057
$\omega_2/\omega_0$	12,15	17,6	13,8	19,44

Олинган натижалар таҳлили бўйича, бунда:

$S > S_{ep}$  бўлганда валнинг  $\omega_2$  частота билан тебраниши “подшипник ҳалқаси-думалаш жисми”нинг силжишига мос келмаслиги эмас, балки тирқиш қиймат даражасини аниқлашга боғлиқ;

$0 < S < S_{ep}$  бўлганда подшипникларнинг таянч тугунлари учун вибротезлик даражасида тебраниш  $\omega_2$  частотоси 0,45 мм/с дан ошмайди;

йўлак ва думалаш жисмларидаги тебраниш юқламасининг минимум шартлари ишчи радиал тирқиш  $S = S_{ep}$  қийматларини аниқлайди, бунда таянч тугун подшипниклари учун 20 дан 70 мкм гача бўлган чегарада туради.

Думалаш жисмлари бўйлаб юмалатишда валнинг оғирлик марказига даврий жойлашишидаги вибротезликнинг амплитуда қийматини дифференциал ифодадан (2)

$$V = 2\pi \cdot f_2 \cdot S = \omega_2 \cdot S. \quad (5)$$

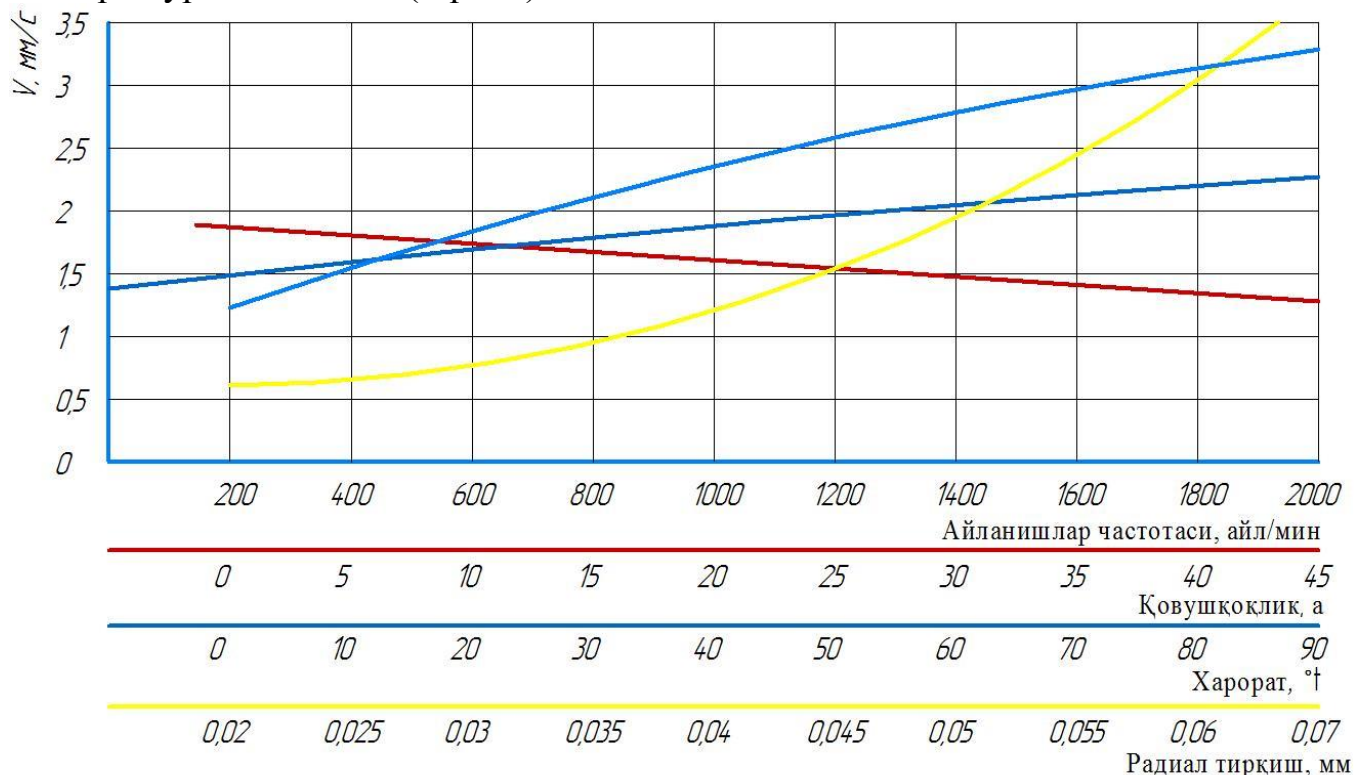
Бунда даврий тўлқинли кучи  $C_y$ , пайдо бўлиб, таянч тугун корпусига узатилади ва тебранишларни қисқа ( $\omega_2$ ) частотали вал цапфасининг думалаш жисми частоталар билан қўзғатади

$$C_y = \sum_{k=1}^n C_k \cos k \left[ \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_o} \cos \varphi \right) Z \right]^2 t, \quad (6)$$

бу ерда  $k=1, 2, 3, \dots, n$  – гармоника рақами;  $C_k$  – гармоника амплитудаси, бунда радиал тирқиш –  $S$  чизиқли қийматига боғлиқ.

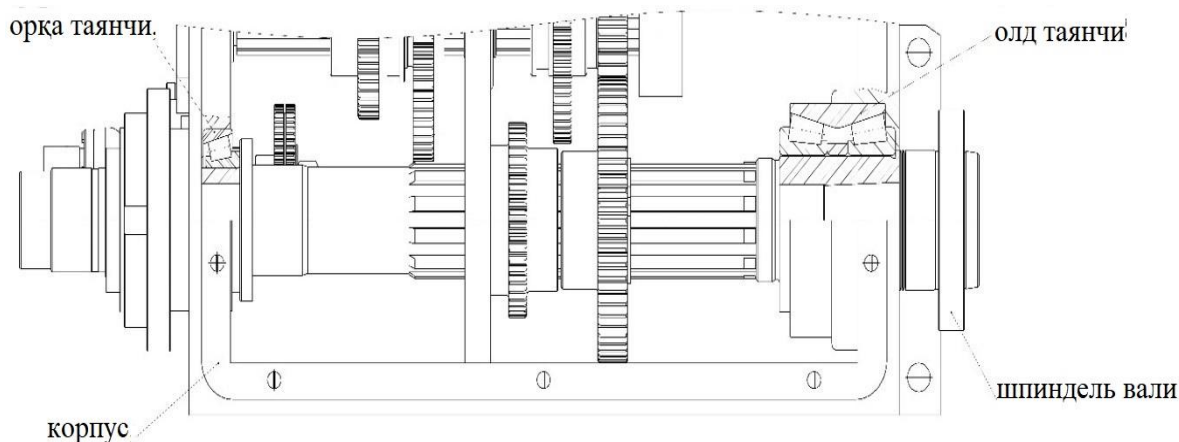
Думаловчи подшипникда ишчи радиал тирқишларнинг кўрсаткичлари ҳисобланган  $k\omega_2$  частотали тебранишлар, подшипник яқинидаги таянч тугун корпусида ўрнатилган вибродатчик (пъезоакселерометр) ёрдамида қабул қилинади. Қабул қилинган жисмоний моделга мувофиқ, бу тебранишлар подшипник тугунининг техник ҳолати тўғрисида зарур маълумот манбаи ҳисобланади.

«Металл кесувчи дастгоҳларнинг техник ҳолатини баҳолашни назорат қилишнинг вибродиагностик усуллари асослаш» деб номланган диссертациянинг учинчи бобида металл кесиш дастгоҳларининг турли хил иш шароитларида подшипник таянчларида виброакустик сигнални ўлчаш ва таҳлил қилиш масалалари кўриб чиқилган. Тадқиқот давомида металлни кесиш дастгоҳларидан эксплуатация пайтида таянч тугунларида виброакустик сигналлари тўғрисида маълумот олинган. Айланиш тезлиги, қовушқоқликлиги, ҳарорати ва тирқиш катталигининг подшипникдаги тебраниш интенсивлигига таъсири кўриб чиқилган (3-расм).



3-расм. Таянч тугунларининг тебраниш интенсивлиги айланиш частотаси, ҳарорат, қовушқоқлик ва радиал тирқишларига боғлиқлиги

Назарий ҳолатларни тасдиқлаш учун НТ-250М дастгоҳининг шпиндел тугунини тажриба синов тариқасида ўрганиш бўйича тадқиқот ишлари олиб борилди, унинг соддалаштирилган тасвири 4-расмда келтирилган.

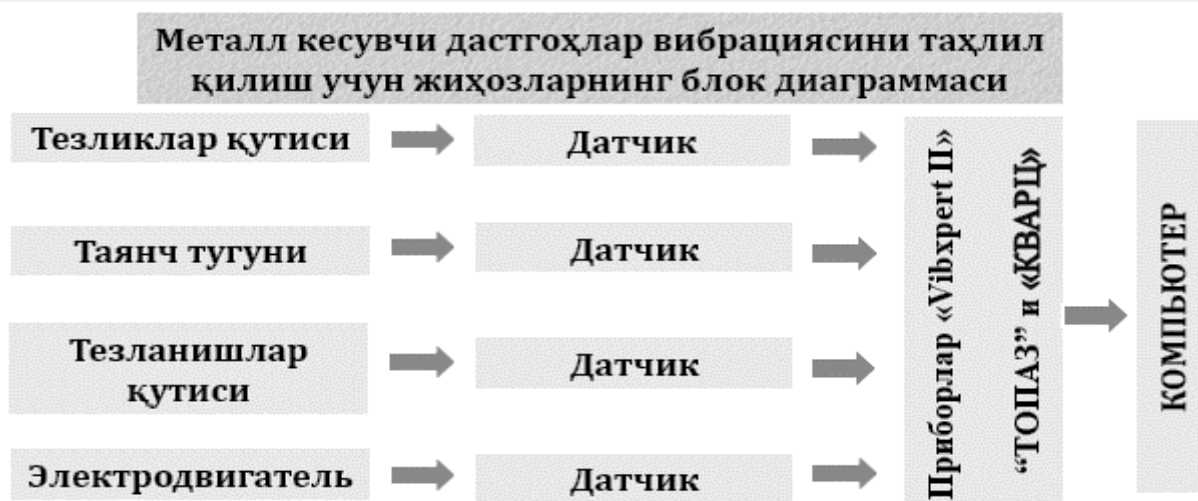


**4-расм. НТ-250М шпиндел тугунининг соддалаштирилган тасвири**

Тебраниш ўлчовларидан фойдаланган ҳолда НТ-250М шпиндел тугуни дастгоҳининг техник ҳолатини аниқлаш учун маълумот тўплаш ва ишлов бериш методологияси, шунингдек вибрация сигналининг параметрларига таъсир этувчи омилларни аниқлаш бўйича тадқиқотлар олиб борилган.

Тажриба давомида шпиндел тугунларининг қуйидаги хусусиятлари ўлчанди ва қайд этилди: вибросилжиш, вибротезлиги ва вибротезлашиш, шунингдек турли хил ишлов бериш шароитида НТ-250М шпиндел тугун элементларининг вибрация спектрлари.

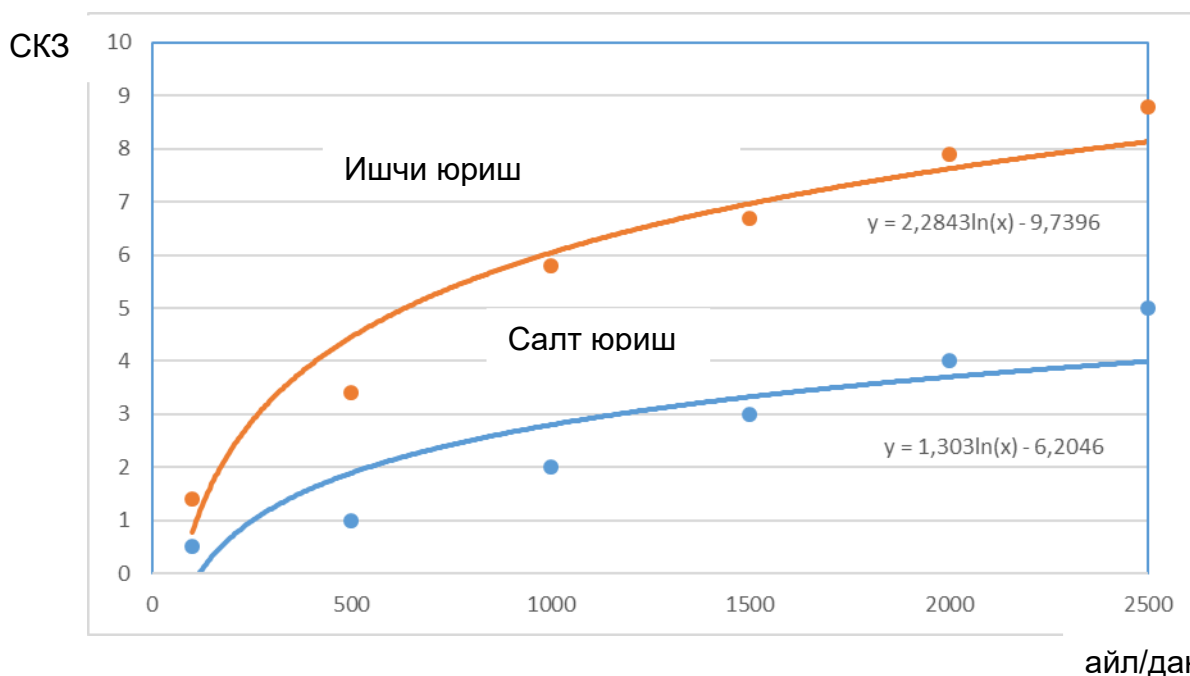
Тебраниш сигналени частотали таҳлил қилиш имконини берувчи «VIBXPERT II» қурилмасида таянч тугунларининг техник ҳолатидаги ўзгаришлар тўғрисидаги маълумотлар қайд этилди. Тебранишларни ўлчаш учун тавсия этилган схемани ҳисобга олган ҳолда ўлчашлар ўтказилди (5-расм), бу схема датчик (пьезоакселерометр), таҳлил қилувчи қурилма («VIBXPERT II» қурилма) ва дастурий пакетга эга бўлган компьютерни ўз ичига олади.



**5-расм. Металл кесиш дастгоҳларнинг вибро таҳлили учун аппарат блок схемаси**

Ўлчов натижалари «VIBXPERTII» микропроцессоридан фойдаланиб қайта ишланди. Ҳар бир тажриба 10 чизикли ўртача кўрсаткич бўйича ўтказилди, бу ўлчовларнинг ишончилигини кафолатлайди. Ҳар бир ўлчовда виброжайлашининг умумий даражаси, вибротезлиги, чўкки туридаги вибротезлашиши ва ўртача квадрат оғиши, шунингдек, ушбу хусусиятларнинг ўртача спектри аниқланди. Ўлчов натижаларига кўра танланган частотадаги вибрация қийматлари маълумотларни узатгандан сўнг, шахсий компьютерда «VIBXPERT II» текширгичи ёрдамида мавжуд спектр бўйича кузатилди.

Тажриба натижаларига кўра, тизимнинг хусусий частота спектрларининг аналитик маълумотлари томонидан олинган маълумотлар билан қониқарли яқинлашиши кузатилмоқда. 6-расмда шпиндел тугунларининг подшипник таянчлари вибрация жадаллиги дастгоҳнинг иш параметрларига боғлиқлиги кўрсатилган. Тажриба-синов қийматларидан кўриниб турибдики, вибрация жадаллиги шпинделнинг айланиш частотаси ва кесиш режимларига бевосита боғлиқ.



**6-расм. Шпиндел тугунининг айланиш частотасидан вибрацияланиш жадаллиги қиймати**

Шпиндел тугуни (5-расм) поғонали балка сифатида эластик таянчларда  $l$  узунликда демпферлаш билан боғлиқ ҳолда тебраниш тезлигига мутаносиб тарзда кўриб чиқилади. Балкани 3 та участкага бўламиз: чегараланган ўзгарувчи диаметри (инерциянинг геометрик моменти), таянчи, тўпланган оғирлиги ва ташқи тўпланган кучланиши. Ҳар бир  $i$ -участка ўзгармас тақсимланган  $m_i$  оғирлик ва эгилувчи  $EJ_i$  бикирлигига эга (участканинг чегарасига қараб).

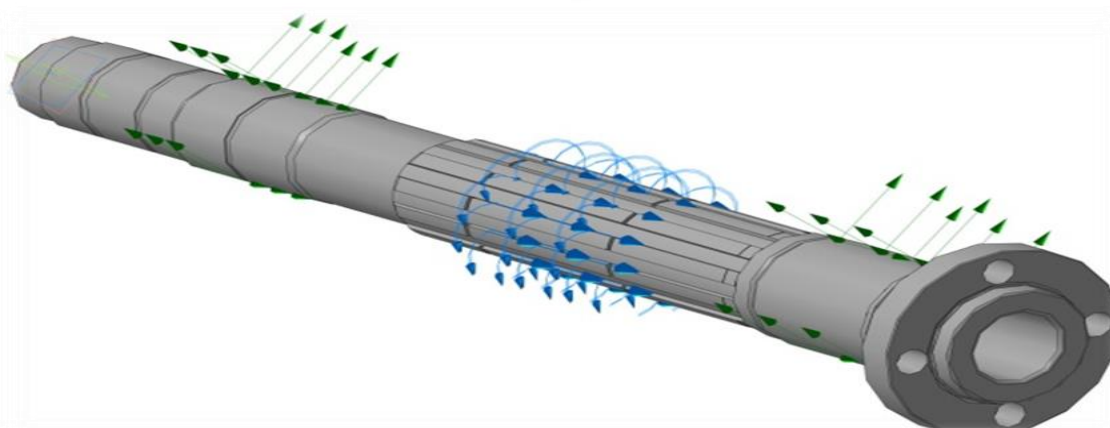
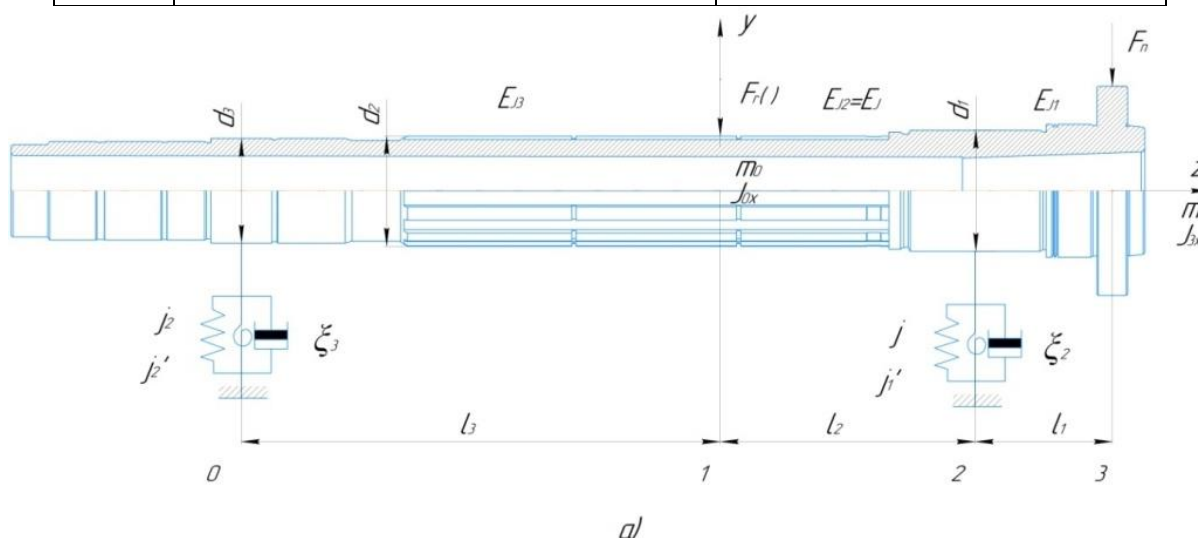
Илмий ишда, «APM Structure 3D» соҳасида НТ-250М шпинделининг динамик ҳисоби келтирилган.

Моделлаштириш натижалари. 2-жадвалда ишлаб чиқилган математик моделни модал таҳлил қилиш натижасида олинган шпиндел тугунининг табиий тебранишлари биринчи бешта частотасини кўрсатади.

2-жадвал

**Шпиндел тугунининг хусусий частоталарнинг ҳисоблаш натижаси**

N	Частота [рад/сек]	Частота [Гц]
1	3211,3	511,0
2	3211,4	511,12
3	5291,7	842,2
4	6068,5	965,8
5	6073,1	966,5



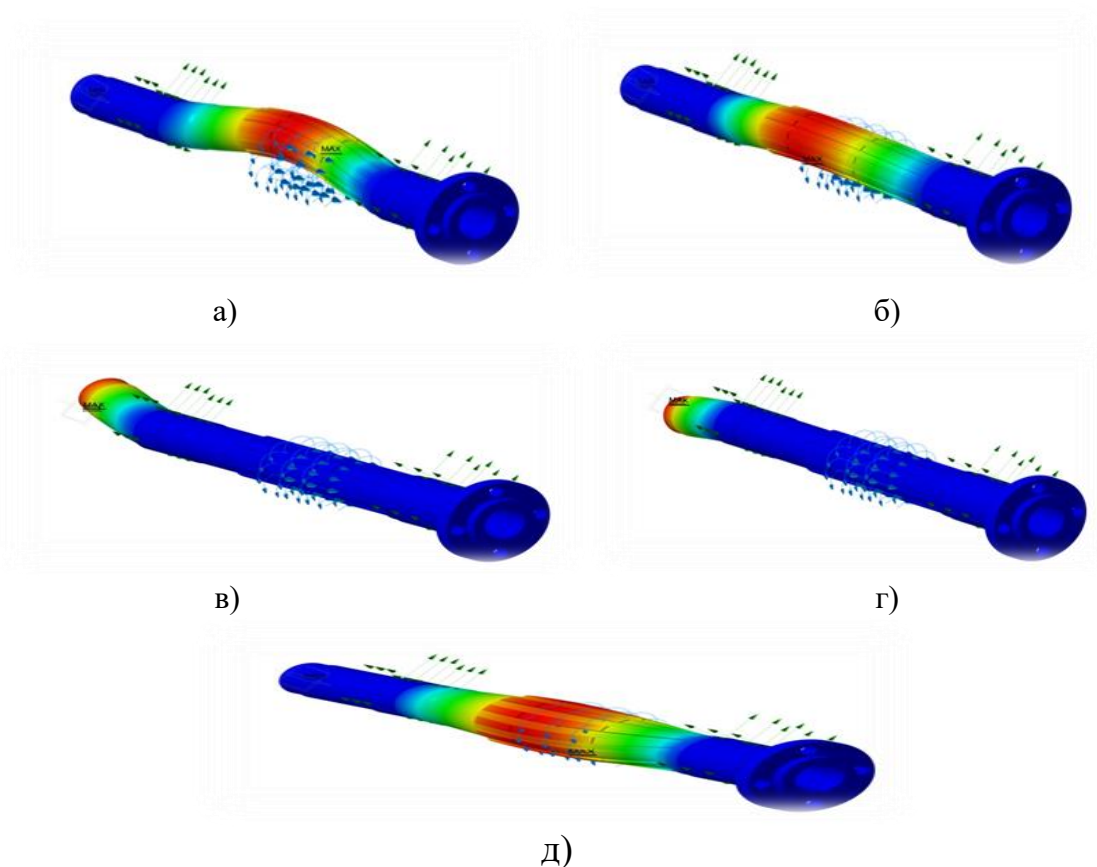
**7-расм. НТ-250 М токарлик дастгоҳидаги шпиндел тугунининг эластик-демпферли элементларининг схема кўриниши ва модели**

Тажрибалар натижасида шпинделнинг турли айланиш тезлигида подшипникларнинг таянч тугунларида тебраниш амплитудасининг қийматлари ўртасидаги боғлиқлик аниқланди.

Шпинделнинг айланиш частоталари диапазони 40 дан 2500 айл / дақ гача бўлганлигини ҳисобга олсак, шпиндел тугуни учун ҳисобланган максимал тебраниш частотаси 42 Гц га, минимал эса – 0,67 Гц га етади. Шундай қилиб, бирон бир хусусий тебранишлар частотаси бу диапазонга тушмайди, яъни



шпиндел тугунининг тебраниши ишлов беришнинг аниқлиги ва сифатига таъсир қилмайди.



**8-расм. НТ-250 токарлик дастгоҳининг шпиндел тугунининг хусусий частоталарнинг ҳисоблаш натижаси**

Ушбу бобда металл кесиш дастгоҳлари подшипник ички нуқсонлар билан ишлаётганида, характерли компонентлар, гармоникалар, табиий частоталар билан вақтинча вибросигналида пайдо бўлади, унга кўра нуқсоннинг ўрнини тўғри аниқлаш мумкин. Ушбу таркибий қисмлар частоталарининг рақамли қийматлари подшипникнинг геометрик ўлчамлари ва ротор механизмининг айланиш тезлигига боғлиқ. 3-жадвалда дастгоҳлардаги подшипникларининг характерли частоталарини ҳисоблаш натижалари кўрсатилган.

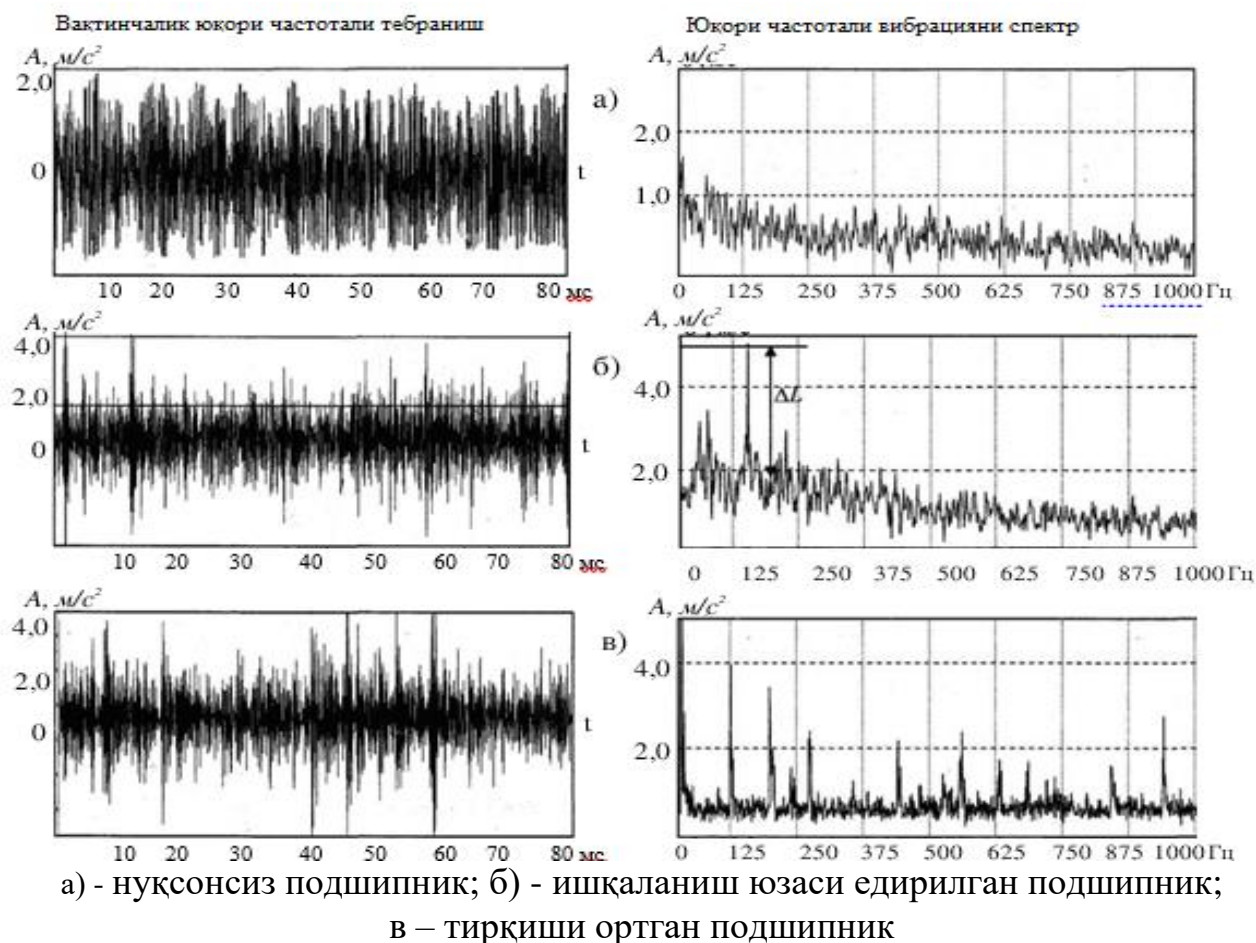
**3-жадвал**

**НТ-250М подшипникларнинг характерли частоталарини ҳисоблаш**

№ п/п	m, кг	n, шт	d, мм	D, мм	B, мм	Z, шт	D <sub>тк</sub> , мм	F <sub>об</sub> , Гц	f <sub>тк</sub> , Гц	f <sub>с</sub> , Гц	f <sub>в</sub> , Гц	f <sub>н</sub> , Гц
2-697920Л2	5,49	1	98,425	152,4	92	26	18,5	40	16,8	6,8	864	176
4-7716Л1	3,11	1	80	140	77,07	14	15	40	30,8	10,4	415,2	144,8
7308	0,703	2	40	90	23	12	13,1	33	22,8	7,9	301,8	94,2
36208	0,36	1	40	80	18	9	12,7	33	15,5	5,9	242,9	54,2
36209	0,41	2	45	85	19	9	12,7	33	16,2	6,3	239,6	57,4
112	0,39	1	60	95	18	12	11,11	33	15,6	5,9	323,7	72,3

Изоҳ: f<sub>вр</sub> – валнинг айланиш частотаси; f<sub>тк</sub> – думалаш жисмининг айланиш частотаси; f<sub>с</sub> – сепараторнинг айланиш частотаси; f<sub>в</sub> – ички ҳалқа бўйлаб думалаш жисмининг айланиш частотаси; f<sub>н</sub> – ташқи ҳалқа бўйлаб думалаш жисмининг айланиш частотаси; f<sub>2</sub> – думалаш жисми орқали вални юмалатиш частотаси.

9-расмда нуқсонсиз, едирилган ва тирқиш ошган подшипникларнинг юқори частотали ва эгилувчи спектрлари келитрилган.



**9-расм. Дастгоҳ шпиндел тугунинг юқори частотали тебраниши ва унинг эгилувчи спектрининг вақт сигнали**

Диссертация ишининг «Металл кесиш дастгоҳларининг техник ҳолатини баҳолаш усуларини ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи боби экспериментал тадқиқотлар орқали тебраниш мониторинги технологиясини ишлаб чиқишга бағишланган ва тебраниш параметрларини ўлчаш асосида унинг ҳолатини башорат қилиш учун зарур бўлган металл кесиш дастгоҳларининг техник ҳолатини баҳолаш мезонларини танлашни асослаб берилган.

Вибрация параметрларини вақт мобойнида ўзгаришини кузатиш асосида қолдиқ ресурсни баҳолаш усули келтирилган. Умумлашган вибрацион кўрсаткичнинг миқдор техник ҳолатини баҳолаш учун мақсадга мувофиқлиги асосланди. Металлни кесиш дастгоҳларини ҳолатига кўра техник хизмат кўрсатишни ташкиллаштириш бўйича тавсиялар келтирилган.

Металл кесувчи дастгоҳларнинг техник ҳолатидаги ўзгаришларни кузатиш учун, ривожланишнинг дастлабки босқичида захираларга таъсир қиладиган турли хил нуқсонларни топиш ва ажратиш имконини берадиган умумий вибродиагностик хусусиятни аниқлаш имконини беради. Ушбу муаммони ҳал қилиш бизга нафақат техник ҳолатнинг диагностикасини, балки тугун

ҳолатидаги ўзгаришларнинг ишончли прогнозини ҳам тақдим этишга имкон беради.

Металл кесувчи дастгоҳларнинг техник ҳолатини баҳолаш учун ягона кўрсаткич сифатида, худди шу иш шароитида белгиланган нуқталарда ўлчанган вибрация параметрлари қабул қилинади (масалан, ЎКҚ - вибротезлигининг ўртача квадрат қийматлари). Тебранма тезлигини  $n$  дастгоҳлари учун  $m$  ҳар хил нуқталарда ўлчаганимиздан сўнг қуйидаги матрицани оламиз:

$$a_{ij} = \begin{vmatrix} a_{11} a_{12} \dots a_{1j} a_{1m} \\ a_{21} a_{22} \dots a_{2j} a_{2m} \\ \dots \\ a_{i1} a_{i2} \dots a_{ij} a_{im} \\ \dots \\ a_{n1} a_{n2} \dots a_{nj} a_{nm} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

- бунда объектларнинг вибрация ҳолатини тавсифлаш.

Матрицанинг ҳар бир қатори  $j$  га мос келади – металл кесиш дастгоҳининг ўлчанган вибрация параметрлари. Матрицанинг ҳар бир устунида бутун йиғиндиси учун  $i$  чи тебраниш параметрларидан бири бўйича техник ҳолат кўрсаткичларининг қиймати кўрсатилган, у ўрганилаётган  $n$  дастгоҳларни ўз ичига олади.

$a_{ij}$  матрицада жойлаштирилган барча қийматлардан вибрация кўрсаткичларининг минимал қийматлари танланган – улар асос сифатида қабул қилинади;

$$|a_{ij}|_{\delta} = \|a_{\delta 1}, a_{\delta 2}, \dots, a_{\delta j}, \dots, a_{\delta m}\|. \quad (8)$$

Энг яхши техник ҳолат вибрация кўрсаткичларининг минимал қийматларига эга бўлган металл кесиш дастгоҳига тегишли. Бундай металл кесиш дастгоҳини таққослашда стандарт сифатида қабул қилинади. Кейинги барча баҳолашлар ушбу эталон бўйича амалга оширилади, шундан сўнг  $k_{ij}$  ягона кўрсаткичлар бўйича техник ҳолат даражасини билиб олиш мумкин:

$$k_{ij} = \frac{a_{\delta j}}{a_{ij}} < 1. \quad (9)$$

Металл кесувчи дастгоҳнинг  $i$  техник ҳолати даражаси умумлаштирилган вибродиагностик кўрсаткичлар бўйича қуйидаги формулага биноан аниқланади:

$$K_i = \left\{ m \sum_{j=1}^m \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \cdot \left[ (m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij} \right]^{-1}. \quad (10)$$

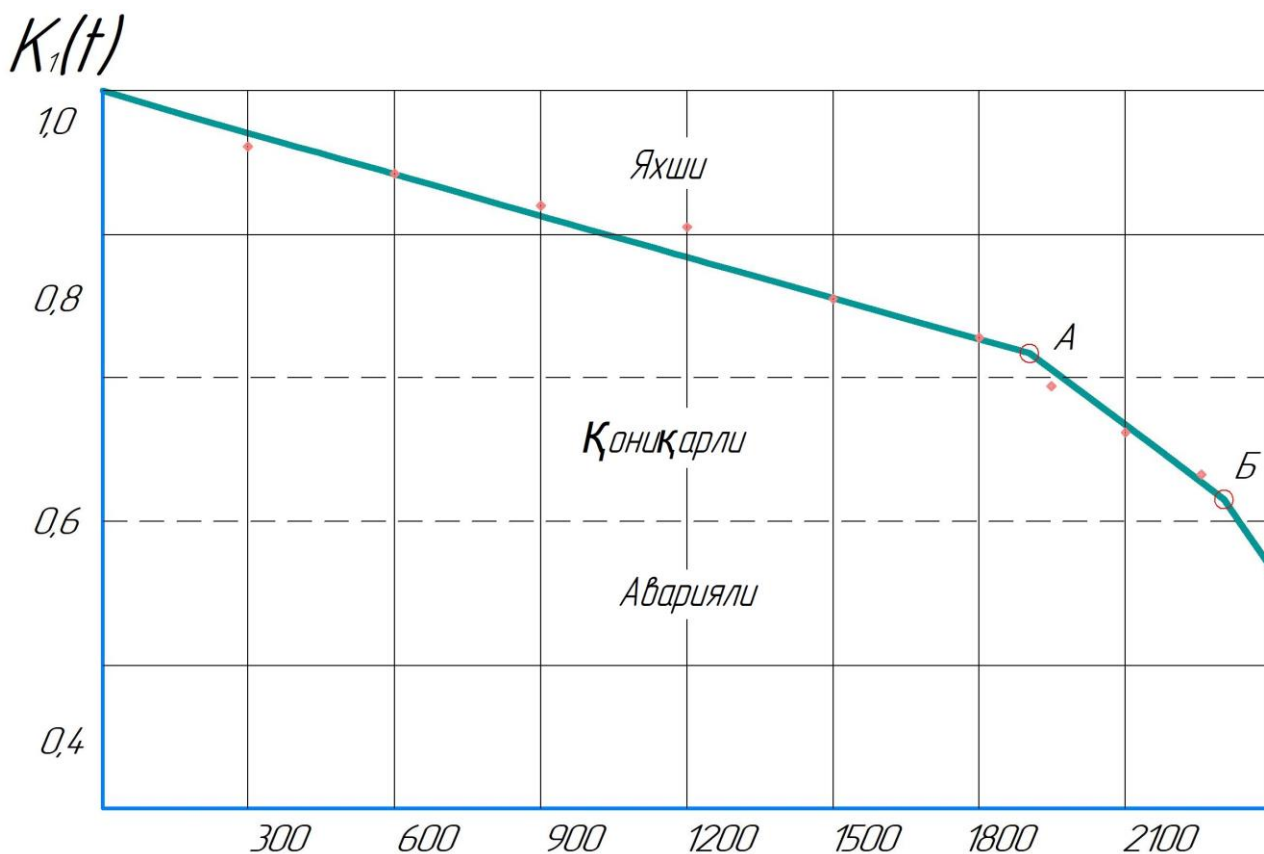
Келтириб ўтилган усул барча ўрганиб чиқилган машиналардаги динамик хусусиятларининг тўлиқ йиғиндиси бўйича таққослаш ва муайян тартиб қоидага асослаш ва номақбул бўлган тугунларни аниқлаш имконини беради, бу ерда бузилишлар эҳтимоли юзага келиши мумкин.

Миқдорий равишда, ҳар бир подшипникнинг техник ҳолати эгилувчи спектори билан баҳоланди. Бунинг учун биз (10) формулага мувофиқ умумлаштирилган вибродиагностик параметрни ҳисоблашда худди шу усулдан фойдаландик. Бироқ, бу ҳолда, бир қатор частота таркибий қисмлари (масалан, ўн) учун вибротезлашувининг энг юқори кўрсаткичлари матрицага (7) алмаштирилиши керак.

Бундай ҳолда, матрицанинг ҳар бир қатори (7) маълум бир вақтнинг ўзида олинган эгилувчи спекторининг частотасида таркибий қисмларининг дастлабки ўн чўққисига тўғри келадиган тебраниш тезлашув қийматлари тўпламини англатади. Сатр рақами олиб борилган ўлчовларнинг тартиб рақамига тўғри келади.

НТ-250М металл кесувчи дастгоҳдаги №2-697920Л2 подшипниги учун умумлаштирилган вибрация параметрларининг қиймати вақтга боғлиқлиги 8-расмда келтирилган.

Бу ерда, дастлабки ишлаш даврида,  $K$  қийматининг секин пасайиши кузатилади, чунки подшипник элементлари ейилиши натижасида тирқиш ошади.  $A$  нуқтасига мос келадиган вақтда, радиал тирқиш натижасида ейилиш тезлигининг ортиши кузатилади.  $B$  нуқтасига тўғри келадиган моментнинг бошланиши, подшипник элементларининг толиқишлари билан бирга келади, бу эса эгилувчи спекторидаги частотанинг таркибий қисмлари кўпайишига олиб келади ва умумлаштирилган вибрацион параметри пасайиши билан бирга кузатилади.



10-расм. Умумлашган вибрацион параметрни вақтга боғлиқлиги

Оддий ёйилиш ҳолати учун, умумлаштирилган кўрсаткичларни чизикли

$K > 0,6$  қиймат билан белгиланувчи подшипникларнинг ҳолати яхши тоифа сифатида баҳоланди: бунда таъмирлаш оралиғидаги даврда тўхтовсиз ишлаш эҳтимоли жуда юқори.  $0,6 \leq K \leq 0,4$  бўлганда – ҳолати қониқарли. Бунда виброўзгаришлар орасидаги интервални камайтириш ва қисқа вақт мобайнида подшипник тугунларини таъмирлаш ишларини амалга оширишни талаб этади.  $K < 0,4$  да ёйилиш зарбали-толиқиш жараёнлари кучайиши натижасида подшипникдаги тирқиш кенгайди шиддатли кўринишда бўлади. Бундай ҳолат аварияли ҳолат ҳисобланади, чунки бузилиш эҳтимоли бунда 2,5 марта ошади. Подшипник таянчларини зудлик билан таъмирлаш талаб этилади.

Техник хизмат кўрсатиш тизимини ишлаб чиқаришда ҳақиқий техник ҳолат бўйича қўллаш ҳам методик таъминотни талаб қилади. Шу мақсадда амалга оширилган тадқиқотлар натижасида ишлаб чиқилган:

1. Автоматлаштирилган маълумот йиғиш қурилмаларидан олинган маълумотлар тўпламидан фойдаланиш асосида шпиндел тугунларининг бузмасдан диагностика қилиш усули
2. Металл кесувчи дастгоҳларни монтаж қилиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усули
3. Металл кесувчи дастгоҳларнинг вибромониторингини ўтказиш усули.

Юқорида келтирилган усуллар ва тавсияларни Навои машинасозлик заводида жорий этилган. Жорий этиш натижасида иш харажатлари 18-20% га камайтириш ва дастгоҳларнинг ресурсини 15-17% га оширишни таъминлайди.

## ХУЛОСА

1. Шпиндел тугуни операциясини кинематик ва динамик таҳлил қилиш асосида НТ-250М дастгоҳидаги шпиндел тугуни подшипникларининг баъзи бир камчиликларига мос келадиган характерли вибрация частоталари ҳисоблаб чиқилган. Бу вибрация частоталарини аниқлашда хизмат қилади.

2. Гармоник кучнинг чизикли бўлмаган эгилувчан характеристикаси билан «контакт» га таъсирида бўлганида, шпиндел тугунининг амплитуда-частота хусусиятларини шакллантириш механизми таҳлили ўтказилди. Частота модуляцияси юқори резонанс частоталари доирасида ва амплитуда модуляцияси пастки доираларида содир бўлиши аниқланган. Бу амплитуда кўрсаткичларини аниқлаш учун хизмат қилади.

3. НТ-250М шпиндел тугуни дастгоҳининг вибрация спектори ўрганилди. Тебранишлар спектрида 2-12 Гц частотада, паст частоталарда, 20-60 Гц ўртача частоталарда, шунингдек подшипникларда содир бўладиган жараёнлар натижасида юзага келадиган юқори частотали вибрациялар мавжудлиги аниқланди.

4. Тугуннинг динамик сифатини таъминлаш мақсадида НТ-250М дастгоҳни бошқариш тизимининг математик модели ишлаб чиқилган. Бу бошқариш тизимини аниқлаш учун хизмат қилади.

5. Вибрацияли сигналнинг юқори частотали таркибий қисмини таҳлил қилиш асосида яратилган дастгоҳлар ва спектрал хусусиятларнинг подшипникларнинг таянч элементлари техник ҳолатининг ўзаро боғлиқлиги бўйича нуқсонлар турини аниқлаш ва уларнинг ривожланишини тахмин қилиш имконини беради. Хусусан, радиал тирқиш-зазорнинг катталашиши эгилувчи спекторидаги частота таркибий қисмларининг кўпайиши билан тавсифланганлиги аниқланди ( $f_2$  - валнинг думалаш жисмлари орқали айланиш частотаси,  $k = 1, 2, 3, \dots$  - гармоника рақами);

6. НТ-250М дастгоҳини шпиндел туғуни ўрнатиш ва таъмирлаш сифатини мониторинг қилиш методологияси ишлаб чиқилган. Бу мониторинг сифатини ошириш имконини беради.

7. Металл кесувчи дастгоҳлар подшипник таянчларининг техник ҳолатини мониторинг қилиш асосли бўлиб, бу вақтнинг ўзида қолдиқ захирасининг қиймати ва подшипник узелларининг сифат даражасини аниқлаш ва прогнозлаш имконини беради. Умумлаштирилган вибро-диагностик кўрсаткич  $K$  бўйича металл кесиш дастгоҳлари подшипник таянчларининг техник ҳолати уч соҳага бўлинади: яхши  $K > 0,6$ ; қониқарли  $0,6 \geq K \geq 0,4$  ва авария ҳолати  $K \leq 0,4$ , бу ерда ейилишнинг жадаллашиш жараёнлари кескин ошиши юзага келди, унда зарба-толшиқиш жараёнлари натижасида тирқиш-зазор қиймати ўзининг чегара қийматидан ошиши туфайли кескин ўсиши кузатилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
DSc.03/30.12.2019. Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**ЯХШИЕВ ШЕРАЛИ НАМОЗОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

**05.02.07 – Машины, аппараты, агрегаты и установки  
машиностроения**

**АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PHD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2021.1.PhD/T2102.**

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горном институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** Эгамбердиев Илхом Пулатовчи  
доктор технических наук, доцент

**Официальные оппоненты:** Умаров Толиб Умарович  
доктор технических наук, профессор

Мухамедов Джобирхон  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «06» ноября 2021 года в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №222). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «19» октябрь 2021 года  
(реестр протокола рассылки №128 от «19» октябрь 2021 года).

**К.А.Каримов**

Председатель специализированного совета  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Н.Дж.Тураходжаев**

Ученый секретарь специализированного совета  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Н.Дж.Тураходжаев**

Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире важно совершенствовать технологические машины, применять в производстве энерго- и ресурсосберегающие, высокоскоростные технологии, повышать качество продукции и конкурентоспособность. В то же время проблемы повышения надежности металлообрабатывающих станков связаны с задачей снижения потерь, связанных с отказами оборудования и уменьшение расходов на техническое обслуживание и ремонт, а также динамическое моделирование приводных механизмов металлообрабатывающих станков, что является одной из основных задач машиностроения. В связи с этим исследовательские центры в развитых странах, включая США, Францию, Германию, Японию, Китай, Россию и другие страны, уделяют особое внимание разработке новых конструкций машин и механизмов в создании высокоэффективных и ресурсоемких технологий. Несмотря на многочисленные исследования, проблемы повышения долговечности и надежности металлорежущих станков до конца не решена.

На сегодняшний день во всем мире достигнут значительный прогресс в области по повышению надежности, совершенствования системы технического обслуживания и ремонта металлообрабатывающих станков. Однако не решен ряд ключевых вопросов, по прогнозной оценке, технического состояния и ремонту, а также совершенствованию техническому обслуживанию опорных узлов металлообрабатывающих станков. Оценка степени отклонения технического состояния металлорежущего станка от нормы по косвенным признакам, а именно, по изменению свойств вибрационных процессов, зависящих от характера взаимодействия комплектующих его узлов и деталей, является важной задачей. В связи с этим возникает необходимость в выполнении научных исследований по разработке ресурсосберегающих способов технического обслуживания и ремонта шпindelных узлов для повышения эффективности металлообрабатывающих станков.

В Республике выполнен ряд научно-практических работ по проведению углубленных теоретических и экспериментальных исследований по развитию машиностроения, созданию новых поколений машин и механизмов, в частности, разработке новых поколений эффективных, ресурсосберегающих технологии ремонта и др. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017 – 2021 годах, определены задачи, в частности «...снижение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий»<sup>1</sup>. В связи с этим становится актуальным решение задач по прогнозированию необходимого динамического качества еще на стадии проектирования шпindelных узлов металлорежущих станков.

Настоящее диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлении №ПП-3682

от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Настоящая исследовательская работа выполнена в рамках приоритетного направления развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энергия и энергосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Большой вклад в развитие науки и практики по обеспечению надежности и совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков внесли ученые В.С. Баласаньяна, В.Б. Бальмонта, В.В. Бушуева, А.Джонса, Т. Харриса, З.М. Левиной, А.М. Фигатнера, В.Э. Пуша, А.П.Соколовский, Д.Н.Решетов, Б.С.Балакшин, Ш.П. Алимухамедов, Дж.Е.Аликулов, Б.Т.Мардонов, М.Жураев и многих других ученых. Ими усовершенствованы методы оценки технического состояния металлорежущих станков, а также рассчитаны коэффициенты использования металлорежущего оборудования, в том числе даны прогнозы ресурса техники, параметры выбора перспективного оборудования по показателям качества и надежности. Дроздов Н.А. впервые указал на автоколебательную природу вибраций, возникающих при резании металлов. Затем крупные исследования в этом направлении провели Кудинов В.А., Эльясберг М.Е. и другие, а за рубежом Тлустый И., Векк М. и др.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Работа выполнена в рамках прикладного проекта Навоийского горного института БВ-А<sub>тех</sub>-2018-516 «Исследование и разработка математических моделей и методов неразрушающего контроля состояния машин и оборудования на основе моделирования» (2018-2020 гг.).

**Целью исследования** является установление взаимосвязи между техническим состоянием металлорежущих станков и их вибрационными параметрами, для разработки метода оценки их технического состояния, что позволит повысить эффективность использования металлорежущего оборудования.

**Задачи исследования:**

анализ и теоретическое обобщение литературных, патентных и фондовых материалов состояния надежности и эффективности эксплуатации металлорежущего оборудования;

исследовать влияние эксплуатационных параметров (частоты вращения и осевой нагрузки), а также радиального зазора и предварительного натяга подшипниковых узлов на долговечность опорного узла;

исследование зависимости собственной амплитудо-частотной характеристики (АЧХ) и возникновения вынужденных колебаний механизма металлорежущего оборудования;

обоснование параметров диагностических методов контроля и оценки технического состояния металлорежущих станков;

разработка метода безразборной оценки технического состояния подшипниковых узлов металлорежущих станков;

разработка метода прогнозирования изменения технического состояния и оценки остаточного ресурса металлорежущего оборудования;

разработка предложений по совершенствованию системы технического обслуживания металлорежущего оборудования.

**Объектом исследования** является металлорежущие оборудование, широко используемые на машиностроительных заводах.

**Предметом исследования** методы и способы мониторинга за изменением технического состояния металлорежущего оборудования.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы: комплексные методы исследований, включающие экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях; Теоретические исследования, базируются на основах классической механики и САЕ (Computer - aided engineering) системы. Подобия динамических систем различной природы, на основах метода конечных элементов, на методах операционного исчисления, системного и математического анализа, методах цифровой обработки сигналов, математической статистики и корреляционного анализа.

Эксперименты проводились на производственных условиях. При выполнении экспериментов использовались современные измерительные средства (VIBXPERTII и ТОПАЗ) получения и передачи информации.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

- разработана методика без разборного диагностирования шпиндельного узла, позволяющая обеспечивать распознавание развивающихся дефектов на основе комплексного использования информации автоматизированных устройств сбора данных.
- разработаны методы контроля качества монтажа и ремонта металлорежущих станков, которые основываются на спектральном анализе высокочастотных составляющих вибросигналов.
- разработана методика проведения вибромониторинга технического состояния элементов подшипниковых опор металлорежущих станков, который основывается на анализе высокочастотных составляющих вибросигналов, зарегистрированных в заданных точках и в требуемых частотных диапазонах;
- разработана методика оценки технического состояния опорных узлов металлорежущих станков, который учитывает динамику вибрационных показателей и позволяет определить уровень состояния подшипниковых опор в текущий момент времени, а также прогнозировать их остаточный ресурс.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны методы контроля качества монтажа и ремонта металлорежущих станков;

разработана методика без разборного диагностирования шпиндельного узла станка на основе комплексного использования информации автоматизированных устройств сбора данных;

разработана методика проведения вибромониторинга технического состояния подшипниковых опор металлорежущих станков;

разработана методика прогнозирования изменения их технического состояния и определение величине остаточного ресурса металлорежущих станков.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования доказана значительным объемом лабораторных и промышленных экспериментов, основывающихся на научно обоснованных методах теоретической и прикладной механики, теории колебательных процессов, а также же значительным объемом экспериментальных данных, в том числе были использованы современные методы измерения и анализа вибрации.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость исследования определяется теоретическими обобщениями и анализами спектральных характеристик вибросигналов, которые позволяют определить вид дефектов вместе с прогнозированием их развития.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке методики вибромониторинга технического состояния элементов опорных узлов металлорежущего оборудования, позволяющая определять и прогнозировать величину остаточного ресурса и качество подшипниковых узлов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных исследований по разработке методов оценки технического состояния металлорежущих станков:

методика без разборного диагностирования шпиндельного узла станка на основе комплексного использования информации автоматизированных устройств сбора данных внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/2440 от 02 марта 2021 г.). В результате сократилась время простоев металлорежущих станков из-за плановых и неплановых ремонтов – на 1,2 раза.

методика контроля качества монтажа и ремонта металлорежущих станков внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/2440 от 02 марта 2021 г.). В результате снизилась затраты на технические обслуживания и ремонта станка – на 20-22%.

методика прогнозирования изменения их технического состояния и определение величине остаточного ресурса металлорежущих станков внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/2440 от 02 марта 2021 г.). В результате повышен ресурс машиностроительного оборудования на 12-15%, обеспечена его безотказность и безаварийность.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования произведена на 2 республиканских и 6 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы всего 13 научных работ, из них 4 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 3 из которых в республиканских и 1 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «**Обоснование цели и задачи исследования**» проведен анализ исследований по эксплуатации и ремонту металлорежущего оборудования. Сегодня залог успешного функционирования всего машиностроительного предприятия заключается прежде всего в четко скоординированном взаимодействии всех подразделений для обеспечения надежной и безотказной работы оборудования. Металлорежущие станки становятся менее металлоемкими, более энергоемкими. Все это определяет новые, более жесткие требования к техническому обслуживанию, достоверности диагностики и своевременному ремонту оборудования.

Решению проблемы надежности, а также совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков, автоматизации и оценки качества эксплуатации машиностроительного оборудования посвящены работы В.С. Баласаньяна, В.Б. Бальмонта, В.В. Бушуева, А.Джонса, Т. Харриса, З.М. Левиной, А.М. Фигатнера, В.Э. Пуша, А.П.Соколовский, Д.Н.Решетов, Б.С.Балакшин, Ш.П.Алимухамедов, Дж.Е.Аликулов, М.Жураев, Н.А.Дроздов, В.А.Кудинов, М.Е.Эльясберг И.Тлустый, М.Векк и др. учёных.

Задача оценки технического состояния металлорежущих станков особо актуальна, прежде всего, в виду специфики машиностроительного производства. Здесь возникает, прежде всего задача слежения за техническим состоянием машиностроительного оборудования на всех стадиях жизненного цикла, что позволит определять в любой момент остаточный ресурс станка и

давать гарантию выполнения машиной определенного объема работ за фиксированное время с расчетной вероятностью.

Результаты научного исследования показывают, что действующая система, используемая на ПО НМЗ является низко эффективной, а также имеет ряд недостатков при техническом обслуживании и ремонте станков: металлорежущие станки, находящиеся в удовлетворительном состоянии, подвергается ремонтным работам; своевременно не реагирует на отказ оборудования выявленный в процессе эксплуатации до назначенного ремонтного периода. Несомненно, данный подход приводит к большим эксплуатационным издержкам и снижению эксплуатационного ресурса металлорежущих станков.

Из этих работ, также, как и многих зарубежных, следует, что наиболее прогрессивным и экономически целесообразным методом технического обслуживания является система техобслуживания по фактическому состоянию.

Такой контроль в работе осуществлен на основе измерения параметров вибросигнала, генерируемого работающей машиной. При этом вибрации рассматриваются в двух аспектах: как фактор, влияющий на изменение технического состояния машины и как признак изменения состояния.

Вторая глава диссертации **«Теоритические исследования динамики шпиндельных узлов металлорежущих станков»** посвящена определению влияющих факторов на работоспособность металлорежущих станков.

Результаты проведенных исследований показали, что основным фактором, влияющим на надежность и долговечность подшипниковых узлов металлорежущих станков, является существенное отклонение величин радиальных зазоров от их номинальных величин.

Траекторию движения центра тяжести цапфы вала можно представить в виде обращенной синусоиды

$$y = \Delta \left| \sin \frac{\pi x}{\lambda} \right|, \quad (1)$$

где  $x = \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_o} \cos \beta \right) \frac{D_o t}{2}$  путь, проходимый телами качения;  $\lambda = \frac{\pi D_o}{Z}$  - расстояние между телами качения.

Подставляя  $x$  и  $\lambda$  в (1), получим

$$y = \Delta \left| \sin \left[ \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_o} \cos \gamma \right) Z \right] \frac{t}{2} \right|, \quad (2)$$

где  $\Delta$  - размах колебаний с частотой  $\omega_2$  перекачивания вала через тела качения,  $\omega_2 = \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_T}{D_o} \cos \beta \right) Z$ ;  $\omega_0$  - частота вращения вала;  $D_T$  - диаметр тел качения;  $D_o$  - средний диаметр подшипника;  $Z$  - количество тел качения;  $\gamma$  - угол контакта;  $t$  - время.

В зависимости от соотношений нагрузки и величины радиального зазора в подшипнике в каждый момент времени кольца подшипника могут осуществлять контактные взаимодействия через одно тело качения, через два –

три или четыре и т.д. тела качения.

Размах колебания вала на частоте  $\omega_2$  с учетом податливости тел и дорожек качения определяется как

$$\Delta = a - (\delta_i - \delta_j), \quad (3)$$

где  $a$  - величина проседания вала между двумя соседними телами качения при абсолютно жестких кольцах и телах качения;  $\delta_i$  - величина сближения колец в направлении нагрузки, когда цапфа вала находится на одном, трех, пяти и т.д. телах качения  $i=1, 3, 5, \dots$ ;  $\delta_j$  - величина сближения колец в направлении нагрузки, когда цапфа вала находится на двух, четырех, шести и т.д. телах качения  $j=2, 4, 6, \dots$

Граничный зазор  $S_{sp}$ , при котором в подшипнике качения еще возможно колебательное движение без ударов, равен:

$$S_{sp} = 2 \cdot a \cdot \left( \frac{1}{\cos \frac{\varphi}{2}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4)$$

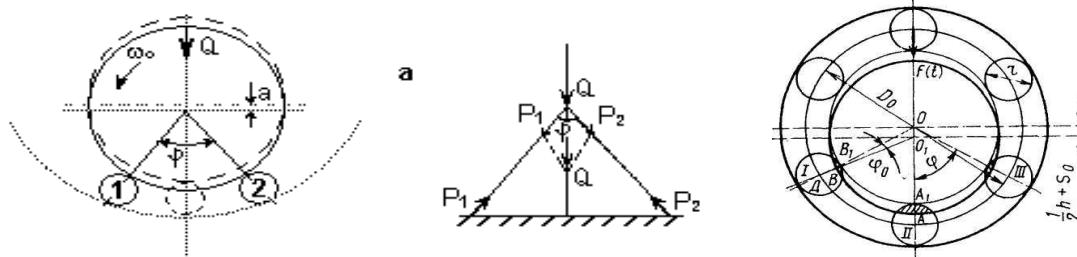
где  $\varphi$  - угол между телами качения.

Таким образом, движение цапфы вала в подшипнике качения определяется величиной рабочего радиального зазора в подшипнике ( $S$ ) и частотой перекатывания цапфы вала через тела качения ( $\omega_2$ ).

Граничные величины радиального зазора при переходе вала из положения на одном - двух телах качения в положение двух-трех, трех-четырех, четырех-пяти телах качения определены из условий

$$s_1 \Rightarrow a_{13} \Rightarrow \delta_1; \quad s_2 \Rightarrow a_{14} \Rightarrow \delta_2; \quad s_3 \Rightarrow a_{15} \Rightarrow \delta_3 \text{ соответственно.}$$

Расчетные схемы взаимодействия колец подшипника с телами качения приведены на рис. 1.

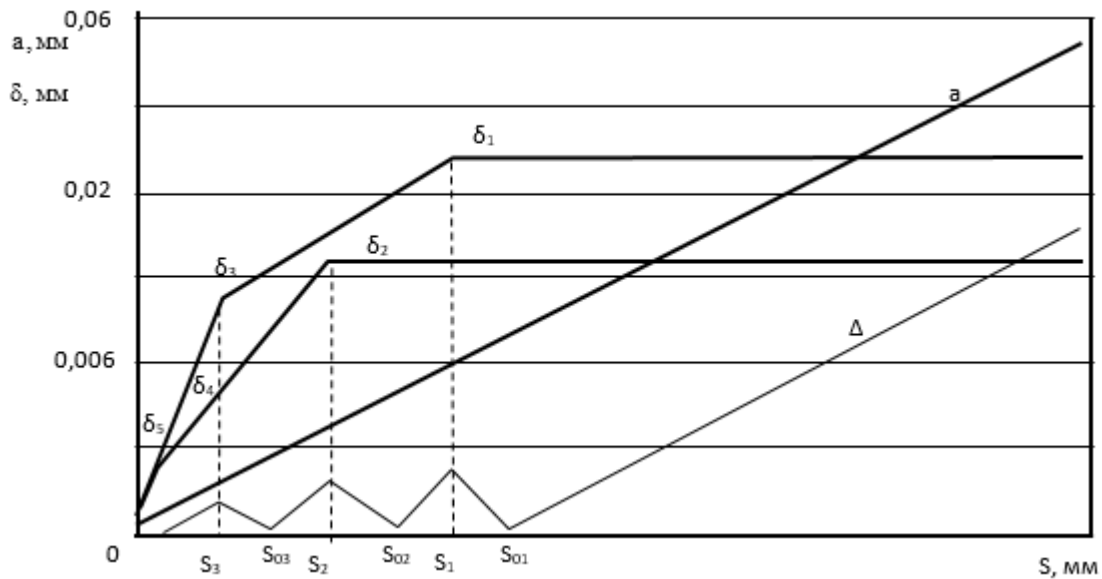


**Рис. 1. Проседание вала между телами качения при абсолютно жестких телах и дорожках качения**

**Таблица 1**

**Величины смещений колец подшипника**

Расчетная величина	Номер подшипника			
	1	2	3	4
$a/S$	0,008	0,010	0,015	0,006
$\delta_1$ , мм	0,0165	0,0245	0,03245	0,0184
$\delta_2$ , мм	0,0122	0,0146	0,02045	0,0134
$\delta_3$ , мм	0,0086	0,0097	0,01265	0,0092
$\delta_4$ , мм	0,0045	0,0055	0,0065	0,0057
$\omega_2/\omega_0$	12,15	17,6	13,8	19,44



**Рис. 2. Зависимости  $a$ ,  $\delta$ ,  $\Delta$  – от величины радиального зазора  $S$ .**

Анализ полученных результатов показывает, что:

при  $S > S_{sp}$  колебание вала с частотой  $\omega_2$  будет в большей степени определяться величиной зазора, а не податливостью сопряжения «кольца подшипника - тела качения»;

при  $0 < S < S_{sp}$  уровень виброскорости колебания с частотой  $\omega_2$  не превышает 0,45 мм/с для всех подшипников опорного узла;

условия минимума колебательной нагрузки на дорожках и на телах качения определяют величину рабочего радиального зазора  $S = S_{sp}$ , которая для подшипников опорного узла находится в пределах от 5 до 22 мкм.

Величину амплитуды виброскорости периодических перемещений центра тяжести вала при перекатывании по телам качения найдем дифференцированием выражения (2)

$$V = 2\pi \cdot f_2 \cdot S = \omega_2 \cdot S. \quad (5)$$

При этом возникает периодическая возмущающая сила  $C_y$ , которая передается на корпус опорного узла и возбуждает колебания с частотами, кратными частоте ( $\omega_2$ ) перекатывания цапфы вала через тела качения

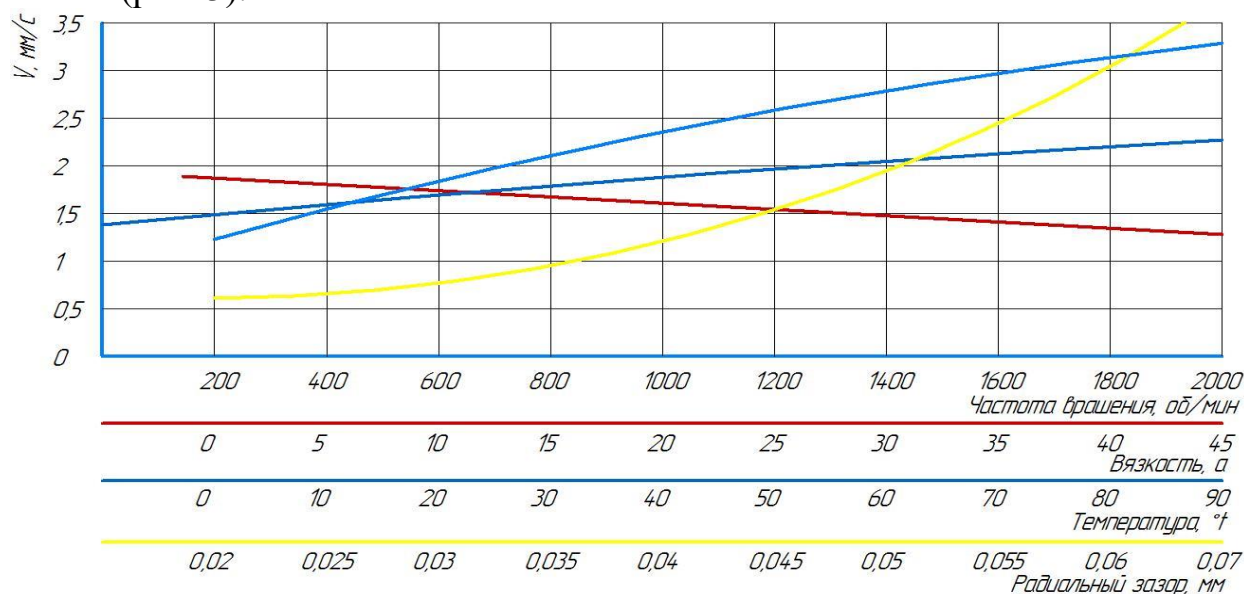
$$C_y = \sum_{k=1}^n C_k \cos k \left[ \frac{\omega_0}{2} \left( 1 - \frac{D_r}{D_o} \cos \varphi \right) Z \right]^2 t, \quad (6)$$

где  $k=1, 2, 3, \dots, n$  – номер гармоники;  $C_k$  – амплитуда гармоники, которая линейно зависит от величины радиального зазора –  $S$ .

Колебания с частотами  $k\omega_2$ , являющиеся показателями рабочего радиального зазора в подшипнике качения, воспринимаются вибродатчиком (пьезоакселерометром), установленным на корпусе шпиндельного узла, вблизи подшипника. В соответствии с принятой физической моделью эти колебания являются источником необходимой информации о техническом состоянии подшипникового узла.



В третьей главе диссертации «Обоснование вибродиагностических методов контроля оценки технического состояния металлорежущих станков» обоснованы вибродиагностические методы контроля, используемые для оценки технического состояния металлорежущих станков. В ходе исследования получены данные виброакустического сигнала в опорных узлах при производственных условиях эксплуатации металлорежущих станков. Рассмотрено влияние на интенсивность вибраций в подшипниках от частоты вращения, температуры, вязкости и радиального зазора металлорежущих станков (рис. 3).



**Рис. 3. Влияние на интенсивность вибраций в опорных узлах от частоты вращения, температуры, вязкости и радиального зазора металлорежущих станков**

С целью подтверждения теоретических положений проведено экспериментальное исследование шпиндельного узла станка НТ-250М, упрощенное изображение которого приводится на рис. 4.



**Рис. 4. Упрощенное изображение шпиндельного узла НТ-250М**

Для определения технического состояния ШУ станка НТ-250М с помощью вибрационных измерений разработана методика сбора и обработки информации, а также проведения исследований по выявлению эксплуатационных факторов, влияющих на параметры вибрационного сигнала.

В процессе эксперимента измерялись и регистрировались следующие характеристики ШУ: виброперемещения, виброскорости и виброускорения, а также спектры вибрации элементов шпиндельного узла НТ-250М, при различных режимах обработки.

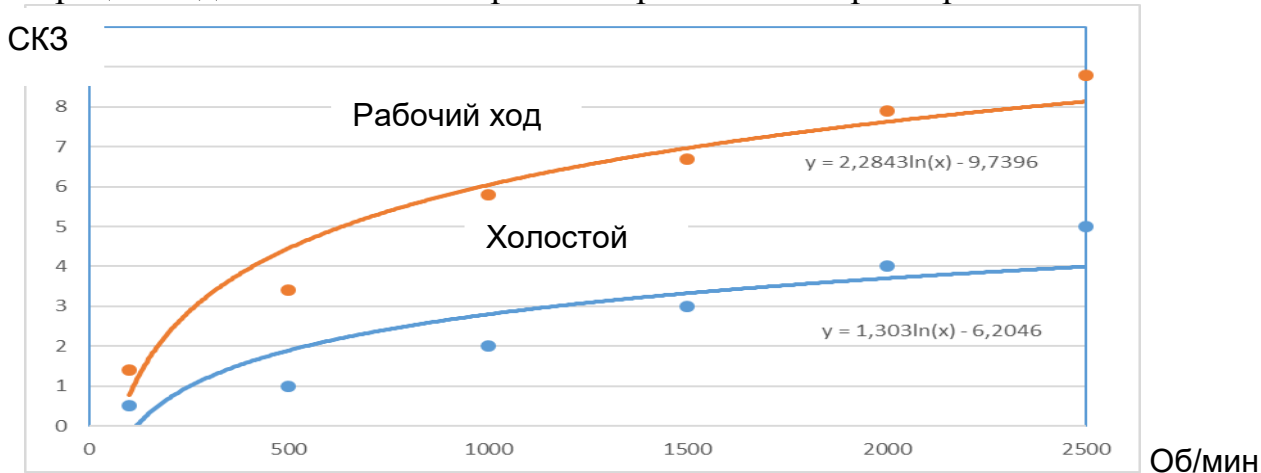
Данные об изменении технического состояния опорных узлов записывались на прибор «VIBXPERT II» позволяющий осуществлять частотный анализ вибросигнала. Для проведения измерения вибраций произвели замеры с учетом предлагаемой схемы (рис. 5), которая включает датчик (пьезоакселерометр), анализирующее устройство (прибор «VIBXPERT II»), компьютер с пакетом программ.



**Рис. 5. Схема аппаратуры для вибромониторинга металлорежущих станков**

Результаты замеров обрабатывались с помощью микропроцессора прибора «VIBXPERTII». Каждый опыт проводился по 10 линейным усреднениям, что гарантирует надежность измерения. В каждом замере определялись характеристики общего уровня виброперемещения, виброскорости, виброускорения типа пик и среднеквадратичное отклонение, а также усредненный спектр указанных характеристик. По результатам проведенных измерений отслеживались величины вибрации на выбранной частоте по имеющемуся спектру при помощи анализатора «VIBXPERTII» на персональном компьютере, после передачи данных со сборщика.

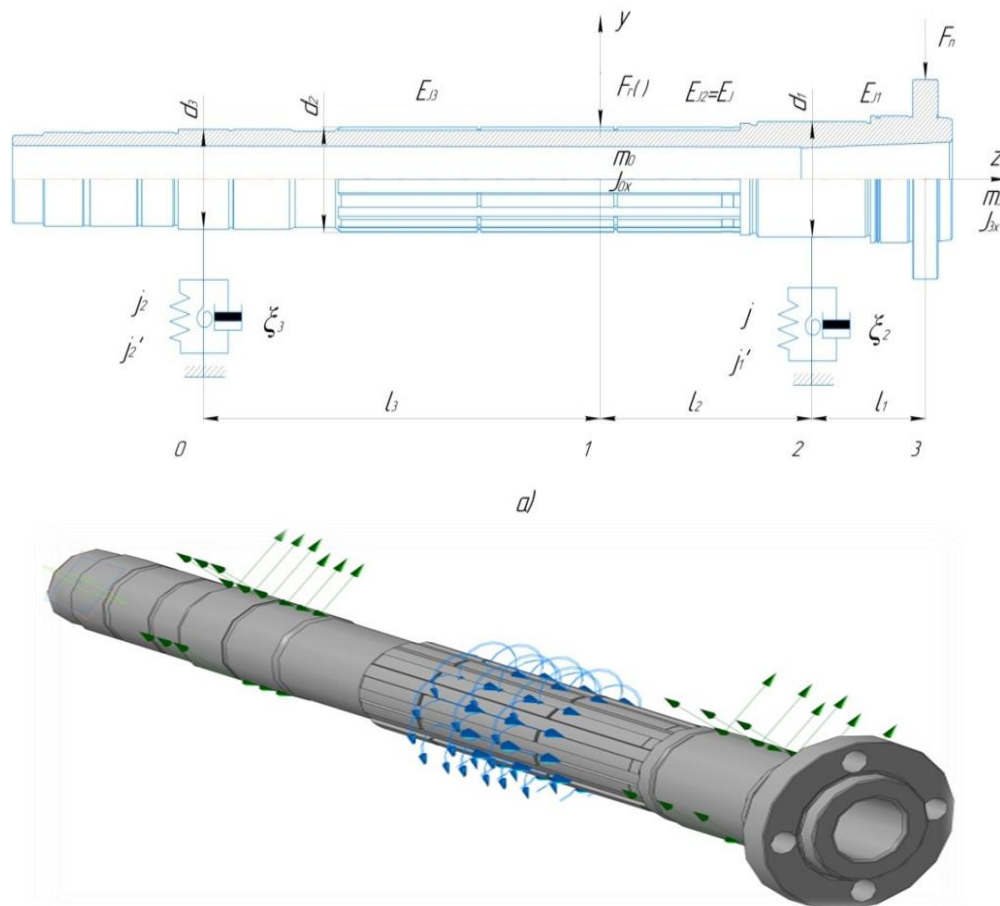
По результатам эксперимента наблюдается удовлетворительная сходимость спектров собственных частот системы с данными, полученными аналитическими данными. На рис. 6 показаны зависимости интенсивности вибрации подшипниковых опор ШУ от режимных параметров станка.



**Рис. 6. Зависимость интенсивность вибрации ШУ от частоты вращения.**

Из экспериментальных зависимостей видно, что интенсивность вибрации прямо зависит от частоты вращения шпинделя и режимов резания.

Шпиндель узел (рис. 7) рассматривают как ступенчатую балку длиной  $l$  на упругих опорах с вязким демпфированием, пропорциональным скорости колебаний. Балку разбиваем на 3 участка, разграниченных изменением диаметра (геометрического момента инерции), опорой, сосредоточенной массой и внешней сосредоточенной нагрузкой. Каждый  $i$ -й участок имеет постоянные (в пределах участка) распределенную массу  $m_i$  и изгибную жесткость  $EJ_i$ .



**Рис. 7. Схематическое изображение упруго-демпферных элементов ШУ токарного станка НТ-250 М.**

В работе проведен динамический расчет шпинделя НТ-250 М в среде «APM Structure3D».

Результаты моделирования. В табл. 2 приведены первые десять частот собственных колебаний шпиндельного узла, полученные в результате модального анализа разработанной математической модели.

В результате проведенных экспериментов установлены зависимости амплитуды колебаний в подшипниковых опорах узла при различных частотах вращения шпинделя.

Учитывая то, что диапазон частот вращения шпинделя лежит в пределах от 40 до 2500 об/мин, максимальная частота возбуждения колебаний, рассчитанная для ШУ, будет достигать 42 Гц, а минимальная – 0,67 Гц. Таким образом, в данный диапазон не попадает ни одна ЧСК, т. е. колебания ШУ не будут влиять на точность и качество обработки.

Таблица 2

## Результаты расчета частоты собственных колебаний ШУ

N	Частота [рад/сек]	Частота [Гц]
1	3211,3	511,0
2	3211,4	511,12
3	5291,7	842,2
4	6068,5	965,8
5	6073,1	966,5

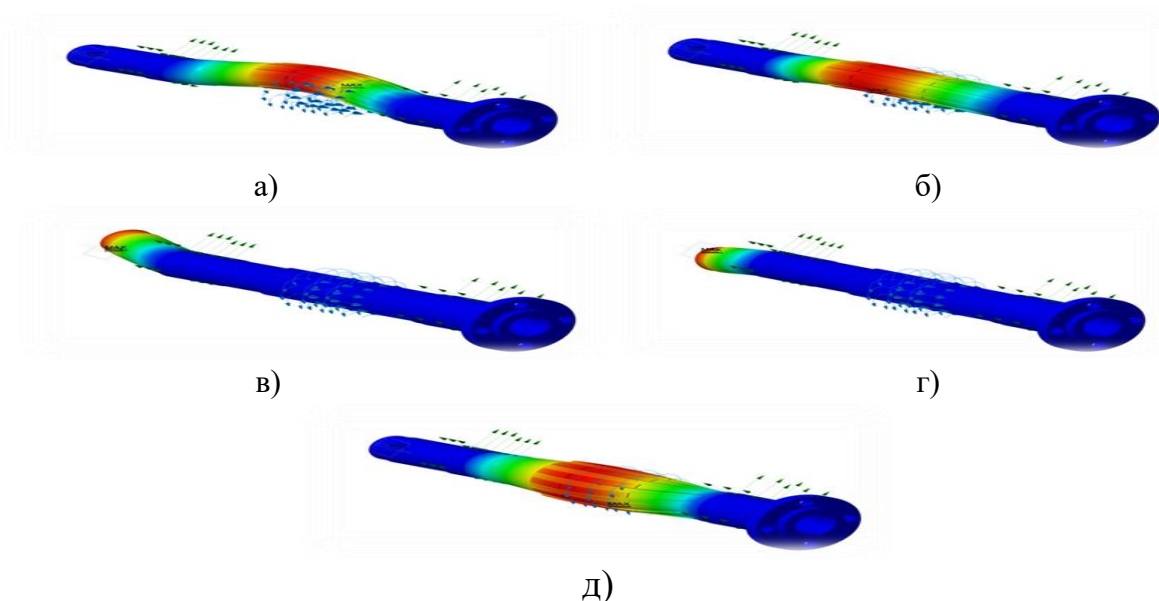


Рис. 8. Модель шпинделя токарного станка НТ-250 М

В этой главе приведены результаты расчета характерных частот подшипников металлорежущих станков, по которым можно идентифицировать вид их повреждения. Указаны основные виды повреждений подшипников (перекос наружного кольца, износ наружного и внутреннего кольца, раковины и трещины на беговых дорожках, раковины и сколы на телах качения, радиальные и осевые биения) и их частотные признаки. В табл. 3 приведены результаты расчета характеристических частот подшипников металлорежущих станков.

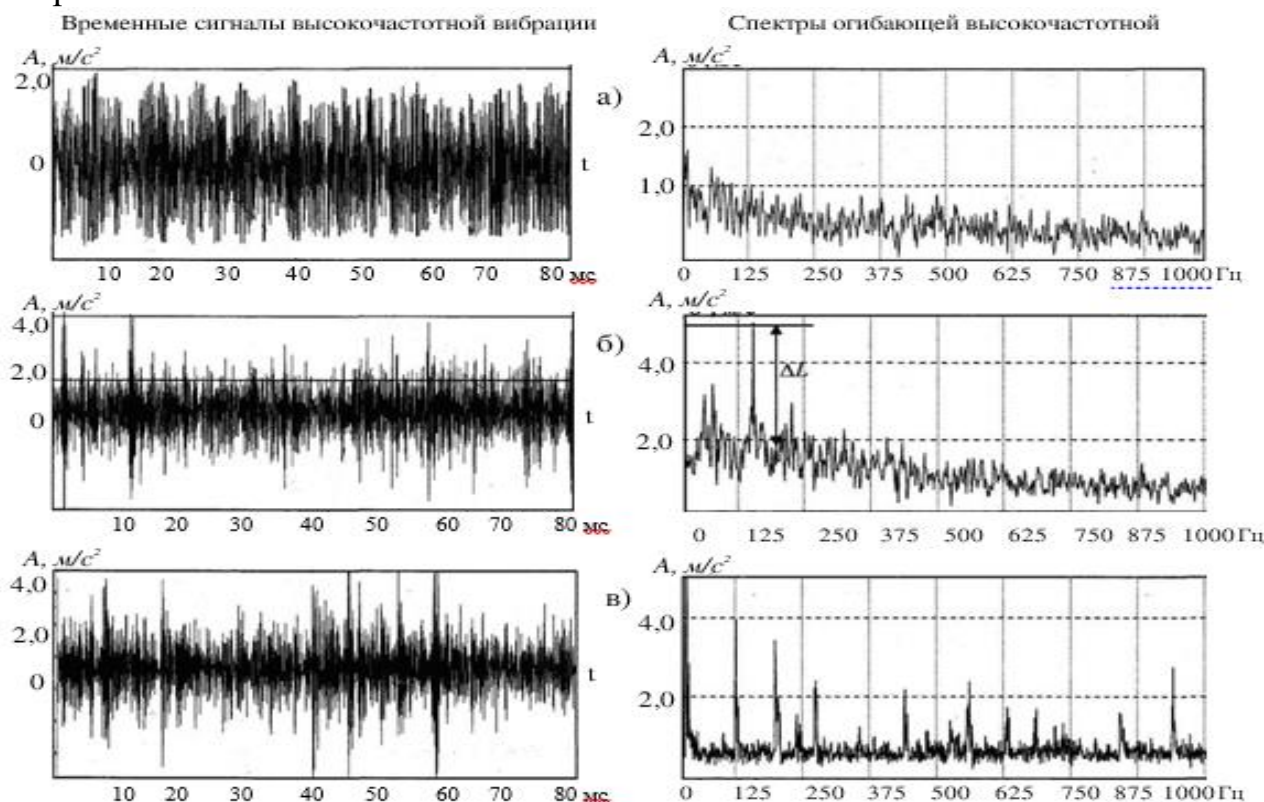
Таблица 3

## Расчет характерных частот подшипников НТ-250М

№ п/п	m, кг	n, шт	d, мм	D, мм	B, мм	Z, шт	D <sub>тк</sub> , мм	F <sub>об</sub> , Гц	f <sub>тк</sub> , Гц	f <sub>с</sub> , Гц	f <sub>в</sub> , Гц	f <sub>н</sub> , Гц
2-697920Л2	5,49	1	98,425	152,4	92	26	18,5	40	16,8	6,8	864	176
4-17716Л1	3,11	1	80	140	77,07	14	15	40	30,8	10,4	415,2	144,8
7308	0,703	2	40	90	23	12	13,1	33	22,8	7,9	301,8	94,2
36208	0,36	1	40	80	18	9	12,7	33	15,5	5,9	242,9	54,2
36209	0,41	2	45	85	19	9	12,7	33	16,2	6,3	239,6	57,4
112	0,39	1	60	95	18	12	11,11	33	15,6	5,9	323,7	72,3

Примечание: f<sub>вр</sub> – частота вращения вала; f<sub>тк</sub> – частота вращения тел качения; f<sub>с</sub> – частота вращения сепаратора; f<sub>в</sub> – частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу; f<sub>н</sub> – частота перекачивания тел качения по наружному кольцу; f<sub>2</sub> – частота перекачивания вала через тела качения.

На рисунке 9 показаны временной сигнал высокочастотной вибрации подшипниковых спектры ее огибающей исправного, с износом, с увеличенным зазором.



а) – исправный подшипник; б) - подшипник с износом поверхности трения;  
в) - подшипник с увеличенным зазором

**Рис. 9. Временной сигнал высокочастотной вибрации опорного узла металлорежущего станка и спектр ее огибающей**

Четвертая глава диссертации «Разработка метода оценки технического состояния шпиндельных узлов металлорежущих станков» посвящена разработке технологии вибромониторинга путём экспериментальных исследований и обоснован методом прогнозирования его состояния на основании измерения вибропараметров. Приведен метод оценки остаточного ресурса по наблюдениям за изменением параметров вибраций во времени. Обоснована целесообразность применения для оценки технического состояния величины обобщенного вибрационного показателя. Изложены рекомендации по организации технического обслуживания металлорежущих станков, исходя из их технического состояния.

Для слежения за изменением технического состояния металлорежущих станков важно определить обобщенный вибродиагностический признак, позволяющий обнаруживать и разделять в начальной стадии развития различные виды дефектов, оказывающих влияние на ресурс. Решение этой задачи позволяет обеспечить не только диагностику технического состояния, но и достоверный прогноз изменения состояния узла.

В качестве единичных показателей для оценки технического состояния металлорежущих станков приняты измеренные в заданных точках при

одинаковых условиях работы параметры вибрации (например, - среднеквадратические значения виброскорости). Проведя измерения виброскорости в  $m$  различных точках для  $n$  металлорежущих станков, получим следующую матрицу:

$$a_{ij} = \left\| \begin{array}{cccc} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & a_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & a_{nm} \end{array} \right\|, \quad (7)$$

которая характеризует вибрационное состояние объектов.

Каждая строка матрицы (7) соответствует одному из  $j$  – измеряемых параметров вибрации  $i$ -го металлорежущего станка. Каждый столбец матрицы показывает величину показателей технического состояния по одному из  $j$ -х параметров вибраций для всей совокупности, которая включает  $n$  обследуемых металлорежущих станков.

Из всех полученных значений  $a_{ij}$ , помещенных в матрице, выбираются минимальные значения показателей вибраций — они принимаются за базовые:

$$|a_{ij}|_{\delta} = \|a_{\delta 1}, a_{\delta 2}, \dots, a_{\delta j}, \dots, a_{\delta m}\|. \quad (8)$$

Металлорежущему станку с минимальными значениями показателей вибраций приписывается наилучшее техническое состояние. Такой металлорежущий станок принимается за эталон при сравнении. Все последующие оценки производятся относительно этого эталона, после чего можно найти уровень технического состояния по единичным показателям  $k_{ij}$ :

$$k_{ij} = \frac{a_{\delta j}}{a_{ij}} < 1. \quad (9)$$

Уровень технического состояния  $i$ -го металлорежущего станка по обобщенному вибродиагностическому показателю определяется по формуле:

$$K_i = \left\{ m \sum_{j=1}^m \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \cdot \left[ (m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij} \right]^{-1}. \quad (10)$$

Приведенная методика позволяет сопоставить и ранжировать по динамическим свойствам всю совокупность обследованных машин и выявить наиболее неблагоприятные узлы, где вероятнее всего могут произойти повреждения.

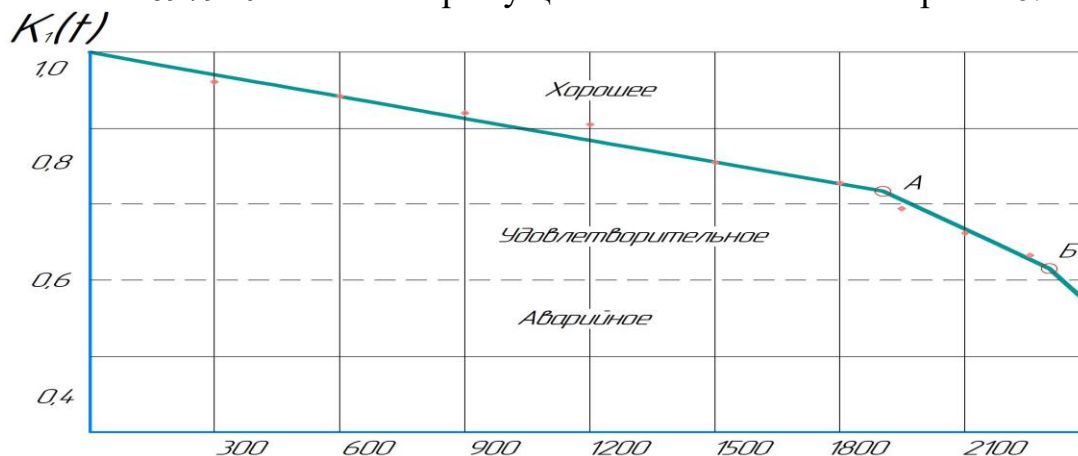
Количественно техническое состояние каждого подшипника оценивали по спектру огибающей. Для этого применяли тот же метод расчета обобщенного вибродиагностического параметра по формуле (10). Однако в этом случае в матрицу (7) следует подставлять пиковые значения виброускорения для ряда частотных составляющих (например, десяти).

В этом случае каждая строка матрицы (7) означает совокупность значений виброускорения, соответствующих первым десяти пикам частотных составляющих спектра огибающей, полученного в данный момент времени.



Номер строки соответствует порядковому номеру проводимых измерений.

Зависимость обобщенного вибрационного параметра от времени для подшипника 2-697920Л2 металлорежущего станка показана на рис. 10.



**Рис. 10. Зависимость обобщенного вибрационного параметра от времени**

Здесь в начальный период эксплуатации наблюдается медленное уменьшение величины  $K$  по мере изнашивания элементов подшипника и увеличения зазоров. В момент, соответствующий точке  $A$ , происходит увеличение интенсивности изнашивания, вызываемого повышением величины радиального зазора. Наступление момента, соответствующего точке  $B$ , сопровождается усталостными повреждениями элементов подшипника, что в свою очередь вызывает рост частотных составляющих в спектре огибающей и сопровождается увеличением скорости убывания обобщенного вибрационного параметра.

Состояние подшипника, характеризуемое величиной  $K > 0,6$  классифицировалось как хорошее: при этом вероятность безотказной работы за межремонтный период высока. При  $0,6 \leq K \leq 0,4$  состояние удовлетворительное. При этом требуется уменьшить интервал между виброизмерениями и в течение короткого времени провести ремонт подшипникового узла. При  $K < 0,4$  износ становится лавинообразным из-за развития ударно-усталостных процессов вследствие роста зазоров в подшипнике. Такое состояние является аварийным, так как вероятность отказа при этом возрастает в 2,5 раза. Требуется незамедлительный ремонт подшипниковой опоры.

Применение на производстве системы технического обслуживания по фактическому техническому состоянию требует также методического обеспечения. С этой целью в результате выполненных исследований разработаны:

- методика без разборного диагностирования шпиндельного узла станка на основе комплексного использования информации автоматизированных устройств сбора данных.
- методика контроля качества монтажа и ремонта металлорежущих станков.
- методика проведения вибромониторинга металлорежущих станков.

Все три методики, а также предложения по организации

вибромониторинга технического состояния приняты к внедрению на ПО НМЗ НГМК (Узбекистан, г. Навои).

Ожидаемый экономический эффект комплексного внедрения разработанных методик включает:

- повышение ресурса металлорежущих станков – на 15-17%;
- снижение затрат на эксплуатационные расходы – на 18-20%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. на основании кинематического и динамического анализа работы ШУ, рассчитаны характерные частоты вибраций, соответствующие определенными видам дефектов подшипников ШУ станка НТ-250М. Это служит для определения частоты вибрации;

2. проведен анализ механизма формирования амплитудно-частотной характеристики шпиндельного узла при воздействии на «контакт» с нелинейной упругой характеристикой силы гармонического характера. Выявлено, что в области верхних резонансных частот имеет место частотная модуляция, в области нижних – амплитудная. Это служит для определения амплитудных показателей;

3. исследован спектр вибрации ШУ станка НТ-250М. В спектре колебаний присутствуют низкие частоты, находящиеся в 2-12 Гц, средние частоты 20-60 Гц, а также обнаружены высокочастотные вибрации вызваны процессами, происходящими в самих подшипниках;

4. разработана математическая модель ШУ станка НТ-250М с целью обеспечения динамического качества узла. Это служит для определения системы управления;

5. взаимосвязи технического состояния элементов подшипниковых опор металлорежущих станков и спектральных признаков, установленные на основе анализа высокочастотной составляющей вибросигнала, позволяют определить вид дефектов и прогнозировать их развитие. В частности установлено, что увеличение радиального зазора характеризуется возрастанием частотных составляющих  $k \cdot f_2$  в спектре огибающей ( $f_2$  – частота перекатывания вала через тела качения,  $k = 1, 2, 3, \dots$  - номер гармоники);

6. разработана методика контроля качества монтажа и ремонта ШУ станка НТ-250М. Это позволяет повысить качество мониторинга;

7. Обоснован мониторинг технического состояния подшипниковых опор металлорежущих станков, позволяющий определить и прогнозировать величину остаточного ресурса и уровень качества подшипниковых узлов в заданные моменты времени. Техническое состояние подшипниковых опор металлорежущих станков по обобщенному вибродиагностическому показателю  $K$  разделено на три области: хорошее  $K > 0,6$ ; удовлетворительное  $0,6 \geq K \geq 0,4$  и аварийное состояние  $K \leq 0,4$ , где происходит резкое увеличение интенсивности изнашивания, вызываемого ударно-усталостными процессами вследствие превышения величины зазора своего предельного значения.



**ONE-OFF SCIENTIFIC COUNCIL DSc03/30.12.2019. T.03.04 ON THE  
AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY**

---

**NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

**YAXSHIEV SHERALI NAMOZOVICH**

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING TECHNICAL  
CONDITION METAL CUTTING MACHINES**

**05.02.07 - Machines in mechanical engineering, apparatus,  
aggregates and installations of machines.**

**ABSTRACT  
OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD) ON TECHNICAL  
SCIENCES**

**Tashkent – 2021**

**The theme of doctoral dissertation (PhD) in technical sciences is registered in the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2021.1.PhD/T2102.**

The doctoral dissertation is made in the Navoi State Mining Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (abstract)) on the website ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and on the Information of the Educational Portal “ZiyoNet”(www.ziyo.net.uz).

<b>Scientific supervisor:</b>	<b>Egamberdiev Ikhom Pulatovich</b> doctor of technical sciences, docent
<b>Official opponents:</b>	<b>Umarov Tolib Umarovich</b> doctor of technical sciences, professor <b>Muxammedov Djobirxon</b> Candidate of Technical Sciences,
<b>Leading organization:</b>	<b>Fergana Polytechnic Institute</b>

The defense will take place «06» november 2021y at 11<sup>00</sup> at the meeting of scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at Tashkent State Technical University located at 2, University street, Tashkent, 100095. Tel/fax No (99871) 227-10-32, E-mail:[tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of Tashkent State University (registration number 222). (Address: 100095, st. University 2, Tashkent Tel/Fax: (99871) 246-46-00).

Abstract of dissertation sent out on «19» october 2021y.  
(mailing report №128 on «19» october 2021y).

**K.A.Karimov**  
Chairman of scientific council for  
awarding degree,  
doctor of technical sciences, professor

**N.D.Turahodjaev**  
Scientific secretary of scientific council  
for awarding degree, doctor of technical sciences, professor

**N.D.Turahodjaev**  
Chairman of scientific council seminar at the  
Scientific Council for the awarding academic degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of research work** is to establish the relationship between the technical state of metal-cutting machines and their vibration parameters, to develop a method for assessing their technical condition, which will improve the efficiency of using metal-cutting equipment.

### **The tasks of research:**

- analysis and theoretical generalization of literary, patent and stock materials of the state of reliability and efficiency of operation of metal-cutting equipment;
- to investigate the influence of operating parameters (rotational speed and axial load), as well as radial clearance and preload of bearing assemblies on the durability of the support assembly;
- study of the dependence of its own amplitude-frequency characteristic (AFC) and the occurrence of forced oscillations of the mechanism of metal-cutting equipment;
- substantiation of the parameters of diagnostic methods for monitoring and assessing the technical condition of metal-cutting machines;
- development of a CIP method for assessing the technical condition of bearing assemblies of metal-cutting machines;
- development of a method for predicting changes in the technical state and assessing the residual life of metal-cutting equipment;
- development of proposals for improving the maintenance system for metal-cutting equipment.

**The object of the research work** is metal-cutting equipment, widely used at machine-building plants.

**The subject of the research work** is methods and methods of monitoring changes in the technical condition of metal-cutting equipment.

### **Scientific novelty of the research work:**

- a technique has been developed without collapsible diagnostics of the spindle assembly, which makes it possible to ensure the recognition of developing defects on the basis of the integrated use of information from automated data collection devices.
- Methods for quality control of installation and repair of metal-cutting machines have been developed, which are based on spectral analysis of high-frequency components of vibration signals.
- a method has been developed for vibration monitoring of the technical condition of elements of bearing supports of metal-cutting machines, which is based on the analysis of high-frequency components of vibration signals recorded at specified points and in the required frequency ranges;
- monitoring of the technical condition of the support units of metal-cutting machine tools, which takes into account the dynamics of vibration indicators and allows you to determine the state of the bearing support at the current time, as well as to predict their residual life.

### **Implementation of the research results:**

When performing the dissertation work, the following were used: complex research methods, including experimental research in laboratory and industrial conditions; Theoretical studies are based on the foundations of classical mechanics and CAE (Computer - aided engineering) systems. Similarities of dynamic systems of various nature, on the basis of the finite element method, on the methods of operational calculus, system and mathematical analysis, methods of digital signal processing, mathematical statistics and correlation analysis.

The experiments were carried out on a production basis. During the experiments, modern measuring instruments (VIBXPERTII and TOPAZ) were used for receiving and transmitting information.

The practical results of the study are as follows:

- methods of quality control of assembly and repair of metal-cutting machines were developed;

- a method has been developed for non-collapsible diagnostics of the spindle unit of the machine tool based on the integrated use of information from automated data collection devices;

- a method for vibration monitoring of the technical condition of bearing supports of metal-cutting machine tools has been developed;

- a method for predicting changes in their technical condition and determining the value of the residual resource of metal-cutting machines has been developed.

### **The structure and volume of the dissertation:**

1. The structure of the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, bibliography and appendices. The volume of the thesis is 127 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**  
**I бўлим (I часть; part I)**

1. Эгамбердиев И.П., Атауллаев А.О., Яхшиев Ш.Н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта горного оборудования // «Наука и инновационное развитие». – Тошкент, 2019.– №4. – С. 50-55.
2. Атауллаев А.О., Яхшиев Ш.Н., Мамадияров А.Ж. Методика расчета динамических характеристик шпиндельного узла // «Развитие науки и технологий». – Бухоро, 2020.– №1. – С. 47-51. (05.00.00; № 24).
3. Sh.N. Yaxshiyev, A.J.Mamadiyarov, Kh.Kh.Ashurov, Z.Kh.Safarov. Investigation of the Dynamics of the Spindle of Metal-Cutting Machines by Different Methods // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology(IJARSET), ISSN: 2350-0328 Vol. 8, Issue 5 , May 2021 No 17379- 17383. (05.00.00; № 8). (05.00.00; № 8).
4. Яхшиев Ш.Н., Мамадияров А.Ж., Ашуров Х.Х. Шпиндел узелларининг математик моделларини таҳлил қилиш. // «Фан ва технологиялар тараққиёти». – Бухоро, 2021 – №4. – 184-189 б. (05.00.00; № 24).

**II бўлим (II часть; part II)**

1. Эгамбердиев И.П., Яхшиев Ш.Н., Мукимова М. Повышению динамического качества привода главного движения на основе мониторинга // Республиканская научно-техническая конференция на тему: «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои, 15-16 ноября 2016 г. – С. 208.
2. Эгамбердиев И.П., Яхшиев Ш.Н., Мукимова М. Структурно-параметрическая модель шпиндельной опоры // Республиканская научно-техническая конференция на тему: «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 15-16 ноября 2016 г. – С. 217.
3. Эгамбердиев И.П., Исаев Д.Т., Яхшиев Ш.Н., Зоирова Л.Х. Модель шарошечного бурения по выработке ресурса подшипников долота // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 12-14 июня 2017 г. – С. 175.
4. Эгамбердиев И.П., Каримов Н.К., Яхшиев Ш.Н., Мукимова М.К. Разработка технологии, улучшающая термоциклическую обработку деталей горного оборудования // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 12-14 июня 2017 г. – С. 186.
5. Эгамбердиев И.П., Каримов Н.К., Яхшиев Ш.Н., Мукимова М.К. Регулирование размера зерна термоциклированием // Материалы IX

Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 12-14 июня 2017 г. – С. 189.

6. Egamberdiyev I.P., Yaxshiyev Sh.N., Karimov N.K. Recommendations for improving the system of maintenance and repair of mining equipment // Сборник материалов II международной конференции на тему: «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы». – Навои, 27-28 ноября 2019 г. – С. 551-556.

7. Атауллаев А.О., Яхшиев Ш.Н., Мамадияров А.Ж. Расчет динамических характеристик шпиндельного узла токарного станка НТ-250М // Материалы международной научной конференции на тему «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства». – Бухоро, 14-16 ноября 2019 г. – С. 188-189.

8. Яхшиев Ш.Н., Мамадияров А.Ж., Асадова М.А., Саибова М. Разработка метода мониторинга технического состояния опорных узлов горного оборудования // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции на тему «Естественные и технические науки: проблемы трансдисциплинарного синтеза». – Белгород, 25 декабря 2020 г. – С. 70-73.

9. Sh. N. Yaxshiyev, Kh. Kh. Ashurov, A. J. Mamadiyarov. Dynamics of Spindle Assembly of Metal-Cutting Machine // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)', ISSN: 2249-8958 (Online), Volume-9 Issue-3, February 2020, Page No. 3121-3125.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнлар мослиги текширилди

Босмага рухсат этилди 19.10.2021 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1/16</sup>. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 70. Буюртма № 65  
«ТТУСИ» босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100100, Тошкент, Яккасарой тумани,  
Шохжаҳон кўчаси, 5-уй.

