

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/30.12.2019.Т.06.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
НАВОИЙ БЎЛИМИ**

**ЭГАМБЕРДИЕВ ИЛХОМ ПУЛАТОВИЧ**

**КАРЬЕРЛАРДА КОН ТРАНСПОРТ УСКУНАЛАРИ  
ИШОНЧЛИЛИГИНИ ОШИРИШ ВА ТЕХНИК ХИЗМАТ КЎРСАТИШНИ  
РЕСУРСТЕЖАМКОР УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**04.00.16 – Кончилик машиналари**

**техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Навоий – 2020**

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

**Эгамбердиев Илхом Пулатович**

Карьерларда кон транспорт ускуналари ишончлилигини ошириш ва  
техник хизмат кўрсатишни ресурстежамкор усулларини  
ишлаб чиқиш.....3

**Эгамбердиев Илхом Пулатович**

Повышение надежности и разработка ресурсосберегающих  
способов технического обслуживания горнотранспортного  
оборудования на карьерах .....27

**Egamberdiev Ikhom Pulatovich**

Improving reliability and developing resource-saving methods  
for maintenance of mining and transport equipment at quarries .....51

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....55

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.17/30.12.2019.Т.06.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ  
НАВОИЙ БЎЛИМИ**

**ЭГАМБЕРДИЕВ ИЛҲОМ ПУЛАТОВИЧ**

**КАРЬЕРЛАРДА КОН ТРАНСПОРТ УСКУНАЛАРИ ИШОНЧЛИЛИГИНИ  
ОШИРИШ ВА ТЕХНИК ХИЗМАТ КЎРСАТИШНИ РЕСУРСТЕЖАМКОР  
УСУЛЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**04.00.16 – Кончилик машиналари**

**техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Навоий – 2020**

**Фан доктори (Doctor of Science) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.DSc/T240 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Навоий бўлимида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.ndki.uz](http://www.ndki.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:**

**Атақулов Лазизжон Нематович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Галкин Владимир Иванович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Кольга Анатолий Дмитриевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Тошов Жавохир Бўриевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**«Олмалик кон-металлургия комбинати» АЖ**

Диссертация химояси Навоий давлат кончилик институти ҳузуридаги DSc.17/30.12.2019.T.06.01 рақамли Илмий кенгаш асосидаги бир марталик Илмий кенгашнинг 2020 йил 14 декабр соат 15<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 127-уй. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com)).

Диссертация билан Навоий давлат кончилик институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (65 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 127-уй, Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66.

Диссертация автореферати 2020 йил 30 ноябр куни тарқатилди.  
(2020 йил 30 ноябрдаги 27 рақамли реестр баённомаси)



**К.С. Санакулов**

Илмий даражалар берувчи

Илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Ш.Ш. Заиров**

Илмий даражалар берувчи

Илмий кенгаш Илмий котиби, т.ф.д., профессор

**И.Т. Мислибаев**

Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги

Илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда мураккаб кон-геологик шароитларда очик усулда конлардан фойдали қазилмаларни қазиб олишда уларнинг тўлиқ қазиб олинишини таъминлаш, корхонанинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш ва кончилик ишларини хавфсиз олиб борилишини таъминлаш учун кон ускуналарининг самарали ишлаши ва ишончлилигини таъминлаш лозим. Кон машиналарининг самарадорлигини ошириш муаммолари ускуналарнинг носозликлари билан боғлиқ йўқотишларни камайтириш ва техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш харажатларини камайтириш ҳамда иш хавфсизлигини ошириш вазифаси билан боғлиқ. Кўрсатилган вазифалар машинанинг ҳолати ҳақида маълумотни қисмларга ажратмасдан ёки уни демонтаж қилмасдан ҳал қилиниши мумкин. Шу билан бирга, вазифанинг муваффақиятини кўп жиҳатдан белгилайдиган биринчи муҳим масала машина ва унинг алоҳида компонентларининг ҳолатини энг яхши акс эттирувчи параметрларини танлашдир. Кўплаб тадқиқотларга қарамай, кон машиналарининг самарадорлиги ва ишончлилигини ошириш муаммоси охиригача ечилмаган ва уни ҳозирда ечиш муҳим аҳамият касб этади.

Бугунги кунда дунёда, ишончликни ошириш, кон машиналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш борасида бутун дунёда сезиларли ютуқларга эришилди. Бироқ, башоратли баҳолаш, техник ҳолат ва таъмирлаш, шунингдек, кон ускуналарини таянч тугунларига техник хизмат кўрсатишни яхшилашга доир қатор асосий масалалар ҳал этилмаган. Шунга кўра, кон машиналари самарадорлигини ошириш учун кон транспорт ускуналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг ресурстежамкор усуллари ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқот ишларини олиб бориш заруратини тақозо этмоқда.

Республикамизда карьерларда кон транспорт ускуналари ишончлилигини, кон ускуналарининг ишлаш сифатини ошириш ва таъмирлашнинг ресурстежамкор технологияларини ишлаб чиқиш бўйича илғор илмий асосланган чора тадбирларни жорий қилиб, бир қатор илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг қарорида «Иқтисодиётни янада ривожлантириш ва либераллаштириш, ишлаб чиқаришни модернизациялаш учун инвестицияларни жалб қилиш учун кўшимча шарт-шароитлар яратиш ва кон-металлургия саноатидаги йирик корхоналарнинг рақобатбардошлигини ошириш...»<sup>1</sup> муҳим вазифалар белгиланган. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда карьерларда кон транспорт ускуналарини ишончлилигини ошириш ва ресурсларни тежайдиган технологиялар ишлаб чиқишни ривожлантириш вазифаларини бажариш катта илмий ва амалий касб этади.

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПҚ-4124 сонли «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» 17 январ 2019 йилдаги қарори.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 4 мартдаги ПФ-4707-сон «Ишлаб чиқаришни структуравий қайта тузиш, модернизациялаш ва диверсификациялашни таъминлаш бўйича 2015–2019 йилларга мўлжалланган чора-тадбирлар дастури» тўғрисидаги, 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармонлари ва 2019 йил 17 январдаги ПҚ-4124-сон «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика илм-фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мувофиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиясини ривожлантиришнинг VII. «Ер тўғрисидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хомашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.** Ишончлилик ва узок муддатлиликни оширишга қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказлари ва олий ўқув юртларида, шу жумладан: «Continental Conveyor & Equipment Company», «Dos Santos International» (АҚШ); Урал давлат кончилик институти (Россия), Technische Universität Bergakademie Freiberg (Германия), Der Berguniversität Leoben (Австрия), Mining University in Xiuzhou (Китай), L'école supérieure De montagnes de Paris (Франция), Institute of materials, minerals and mining (Великобритания), «ВНИИПромтехнология» АЖ, «Гипроруда» АЖ, МИСиС Миллий тадқиқот технологик университети (Россия), «Укрниипроект», «Новоκραматорск машинасозлик заводи» ЁАЖ (Украина), «O'zGEORANGMETLITI» давлат унитар корхонаси ва Навоий давлат кончилик институтида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Дунёда ресурстежамкор техник хизмат кўрсатиш технологиясини ишлаб чиқиш ва кон ускуналарининг ишончлилигини ошириш бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида бир қатор илмий натижаларга эришилди, шу жумладан: такомиллаштирилган тебраниш диагностикаси усуллари (Continental Conveyor & Equipment Company, Doc Santos International, Technische Universität Bergakademie Freiberg, L'école supérieure De montagnes de Paris); кон қазилма машиналарини диагностика қилиш усуллари ишлаб чиқилган (КузДТУ, МТТУ, «МИСиС», Урал давлат кончилик институти, Der Berguniversität Leoben, Institute of materials, minerals and mining, Mining University in Xiuzhou); ускуналарнинг эксплуатация ишончлилигини ошириш учун тебраниш диагностикаси усуллари ишлаб чиқилган (ДУК «O'zGEORANGMETLITI» ва Навоий давлат кончилик институти).

Жаҳонда карьерларнинг кон-транспорт ускуналари самарадорлигини ошириш, техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашни ресурстежамкор

---

<sup>2</sup> Диссертациянинг мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи [www.atlasrockbit.com](http://www.atlasrockbit.com), <http://www.varelintl.com>, [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com), <http://vbm.ru>, <https://www.amozon.com>, <http://www.mirknigi.ru> ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

усулларини ишлаб чиқишга оид қуйидаги устувор йўналишлар бўйича бир қатор тадқиқот ишлари амалга оширилмоқда: кон-транспорт ускуналарининг ишлашига таъсир қилувчи омилларни ўрганиш; ҳолатни баҳолаш учун ишлатилиши мумкин бўлган нуқсонларнинг турларини аниқлаш; тебраниш диагностикаси усулларини ишлаб чиқиш (ўрта квадратик қиймат, спектрал характеристикалар); қолдиқ ресурсни башорат қилиш усулини ишлаб чиқиш; харажатларни камайтириш ва кон ускуналарининг иқтисодий самарадорлигини ошириш; техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашни ресурстежамкор технологияларини ишлаб чиқиш.

**Муаммони ўрганилганлик даражаси.** Олимлар Герик Б.Л., Солод В.И., Солод Г.И., Бреннер В.А., Галкин В.И., Гетопанов В.Н., Дмитриев В.Н., Ефимов В.Н., Кантович Л.И., Картавий Н.Г., Картавий А.Н., Красников Ю.Д., Подерни Р.Ю., Рахутин Г.С., Шешко Е.Е., Antoniak J., Dhamodharan K., Dos Santos J.A., Hari Prasad K., Jagadeeswari M., Jennings A., Kamesh Gautham B., Klein J., Keerthika R., Langebrake F., Thompson M. ва бошқалар кон машиналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш ишончилигини таъминлаш ва илм-фан ва амалиёт ривожига катта ҳисса қўшдилар. Улар кон машиналарининг техник ҳолатини баҳолаш усулларини такомиллаштирдилар, шунингдек, кон ускуналаридан фойдаланиш коэффициентларини, шу жумладан, ускуналар ресурсининг прогнозларини, сифати ва ишончилиги бўйича истиқболли ускуналарни танлаш параметрларини ҳисобладилар.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари Навоий давлат кончилиқ институтининг илмий-тадқиқот режаси доирасида қуйидаги мавзуларда олиб борилди: «Механизм тугунларининг техник ҳолатини баҳолаш услублари ва воситаларини яратиш асосида кон ускуналарини таъмирлаш ресурсларни тежаш технологияларини ишлаб чиқиш» (2012-2014 йй), «Моделларни, бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва бурғулаш машиналарининг динамик параметрларини ўрганиш» ва «Ишлайдиган ускуналарнинг динамик параметрларини ўрганиш ва такомиллаштириш ҳамда кон экскаваторлари учун чўмич тишларини лойиҳалаш ва ишлаб чиқариш технологияси» (2015-2017 йй.), «Кон ускуналари деталларини термоциклик ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқиш ва илмий асослаш» (2017-2020 йй.), «Машина ва ускуналарни моделлаштириш асосида путур етказмасдан текшириш усулини ва математик моделини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш» (2018-2020 йй).

**Тадқиқотнинг мақсади** кон машиналари самарадорлигини такомиллаштириш, улардан фойдаланиш ва ишончилигини ошириш учун карьерларнинг кон-транспорт ускуналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг ресурстежамкор усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

чуқур карьерларда кон қазиш ускуналари ишлашининг ишончилиги ва самарадорлиги ҳолатини таҳлил қилиш, адабиётларни, патент ва фонд материалларини таҳлил қилиш ва назарий жиҳатдан умумлаштириш;

чуқур конларда очик кон қазииш ускуналари ишлашининг ишончлилиги ва самарадорлигига таъсир этувчи омилларни ўрганиш;

ўзининг хусусий амплитуда-частотали характеристикасига боғлиқлигини ва кон ускуналари механизмининг мажбурий тебранишлари пайдо бўлишини ўрганиш;

кон ускуналарининг техник ҳолатини кузатиш ва баҳолаш учун диагностика усуллари параметрларини асослаш;

статистик ва динамик моделлардан фойдаланган ҳолда кон ускуналари ва транспорт тизимларининг техник ҳолатини тезкор назорат қилишнинг назарий асослари ва амалий усуллари ишлаб чиқиш;

техник ҳолатдаги ўзгаришларни башорат қилиш машина ва ускуналарнинг қолдиқ муддатини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш;

кон ускуналари подшипникларининг техник ҳолатини бузмасдан баҳолаш усулини ишлаб чиқиш;

кон ускуналарига техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш бўйича таклифлар ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** Мурунгов карьерда кенг қўлланиладиган кон ускуналари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** – кон ускуналарининг 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:

кон ускуналари подшипник таянч тугунларидаги радиал тирқиш ўлчами ўзгариши уларнинг узоқ муддатлилик ва тебраниш параметри қийматларига боғлиқлиги исботланган;

кон машиналарининг техник ҳолатини тебраниш параметрлари бўйича баҳолаш модели ва усули ишлаб чиқилган;

кон ускуналарида анъанавий усуллар билан эришиб бўлмайдиган нуқсонларни аниқлаш ёрдамида тебраниш диагностикаси маълумотларини таҳлил қилиш услуби ишлаб чиқилган;

махсус аппарат ва дастурий таъминот ёрдамида вибрацион сигнал параметрлари спектрини таҳлил қилишга асосланган спектрларни янада қайта ишлаш имконини берувчи кон машиналарининг вибрацион мониторинги тизими ишлаб чиқилган;

тебраниш сигналларининг спектрал характеристикаларини ўлчаш орқали кон машиналарининг умумлаштирилган тебраниш кўрсаткичларини динамик сифатини баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

тебраниш диагностикаси таҳлили асосида кон-транспорт ускуналарини таъмирлаш муддатларини оптимал режалаштириш усуллари тўплами ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

кон машиналарини ўрнатиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усуллари ишлаб чиқилган;

гермитизациянинг эскириши сабабли подшипниклар конструкциясининг бузилишини тезкор равишда аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

кон ускуналари подшипникларининг техник ҳолатини вибромониторинг қилиш усули ишлаб чиқилган;

кон ускуналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш учун вибромониторинг ташкил этиш ва технологияси бўйича тавсиялар 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 кон ускуналарини таянч тугунлари элементларининг техник ҳолатини вибромониторинг ўтказиш бўйича усул ишлаб чиқишга ва подшипник тугунларида қолдиқ ресурс қийматини ва сифатини аниқлашга ҳамда башорат қилишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Карьерларда кон транспорт ускуналари ишонччилигини ошириш ва техник хизмат кўрсатишни ресурстежамкор усуллари ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

кон машиналарини ўрнатиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усули «Навоий кон-металлургия комбинати» ДК Марказий кон бошқармаси Мурунгов карьериди амалиётга жорий қилинган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2020 йил 17 февралдаги 02-06-07/2062-сон маълумотномаси). Натижада, кон ускуналари захирасини 12-14% кўпайтириш, унинг ишончлилиги ва муаммосиз ишлашини таъминлаш имконини берган;

кон ускуналари таянч тугунлари техник ҳолатини вибромониторинг учун вибрацион ўлчовларни бажариш усуллари ««Навоий кон-металлургия комбинати» ДК Марказий кон бошқармаси Мурунгов карьериди амалиётга жорий қилинган («Навоий кон-металлургия комбинати» ДКнинг 2020 йил 16 октябрдаги 02-06-07/10873-сон маълумотномаси). Натижада, кон ускуналари таянч тугунларининг ҳолати башорат қилиш, ресурсини 12-15%га ошириш ва унинг тўхтовсиз ва ҳалокатсиз ишлашини таъминлаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқотнинг натижалари 10 та республика ва 17 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 49 та илмий ишлар чоп этилган бўлиб, улардан 2 та монография, 2 та электрон ҳисоблаш машиналари учун дастурлар, 14 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини нашр этиш учун тавсия этилган, шу жумладан 12 таси республика ва 2 та чет эл журналларида.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 192 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга қўлланилиши, нашр қилинган ишлар ва диссертация тузилиши келтирилган.

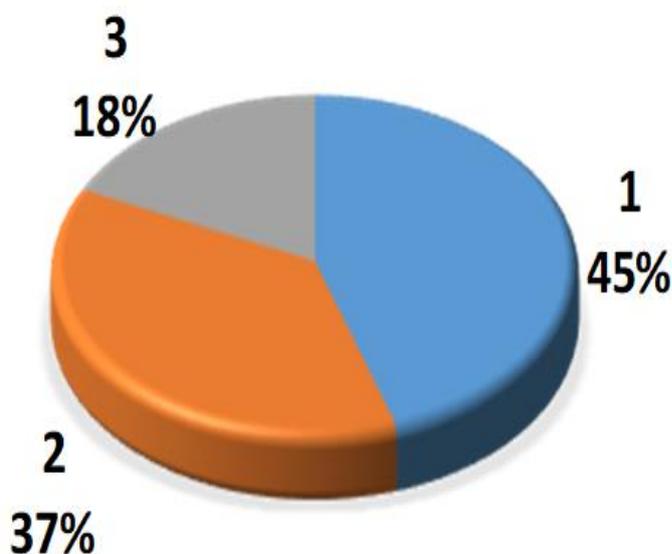
**«Очиқ кон қазилар учун кон ускуналарининг ишончлилиги бўйича адабий, патент ва фонд материалларини таҳлил қилиш ва назарий жиҳатдан умумлаштириш»** деб номланган биринчи бобида кон ускуналарини ишлатиш ва таъмирлаш бўйича тадқиқотларни таҳлил қилиш амалга оширилди. Бугунги кунда бутун кончилик корхонасининг муваффақиятли ишлашининг калити, авваламбор, ускуналарнинг ишончли ва муаммосиз ишлашини таъминлаш учун барча бўлимларнинг ўзаро мувофиқлаштирилган муносабатларида кон машиналари камроқ металл талаб қиладиган, кўпроқ энергия талаб қиладиган бўлиб қолмоқда. Буларнинг барчаси техник хизмат кўрсатиш, диагностика ишончлилиги ва ускунани ўз вақтида таъмирлаш учун янги, янада қатъий талабларни белгилайди.

Галкин В.И., Гетопанов В.Н., Дмитриев В.Н., Ефимов В.Н., Кантович Л.И., Картавий Н.Г., Коган Б.И., Кох П.И., Красников Ю.Д., Кутузов Б.Н., Махно Д.Е., Морозов В.И., Нанкин Ю.А., Наринский И.Е., Олизаренко В.В., Подерни Р.Ю., Пастоев И.Л., Радкевич Я.М., Рачек В.М., Рахутин Г.С., Русихин В.И., Солод В.И., Солод Г.И ва бошқа олимларнинг илмий ишлари кон машиналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштириш, кон ускуналарининг ишлаш сифатини баҳолаш билан бир қаторда ишончлилиги муаммосини ҳал қилишга бағишланган.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, НКМКда кон ускуналарига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг амалдаги тизими унчалик самарали эмас ва бир қатор камчиликларга эга, қониқарли ҳолатда бўлган механизмлар ва агрегатлар 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 кўпайиши харажатларга олиб келади.

Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, иш жараёнлари тизим сифатида кўриб чиқилиши мумкин (1-расм), ундаги жараёнларни: иш вақти, режалаштирилган тўхташ вақти, режадан ташқари тўхташ вақти. Иш вақти, режалаштирилган ва режадан ташқари тўхташ вақти операцион жараёнларнинг ажралмас қисми (ишлаб чиқариш жараёнининг хилма-хиллиги) бўлганлиги сабабли, улар жараённинг мавжуд бўлиш шартларига бўйсунди ва улар структуравий формула деб қаралиши мумкин. Ушбу жараёнлар субъект тури ва меҳнат натижаси, меҳнат қуроллари, малакаси ва ижрочилар таркиби - операторлар ва муҳандислар билан фарқ қилади.



1 – иш вақти; 2 – режалаштирилган тўхташ вақти; 3 – режадан ташқари тўхташ вақти

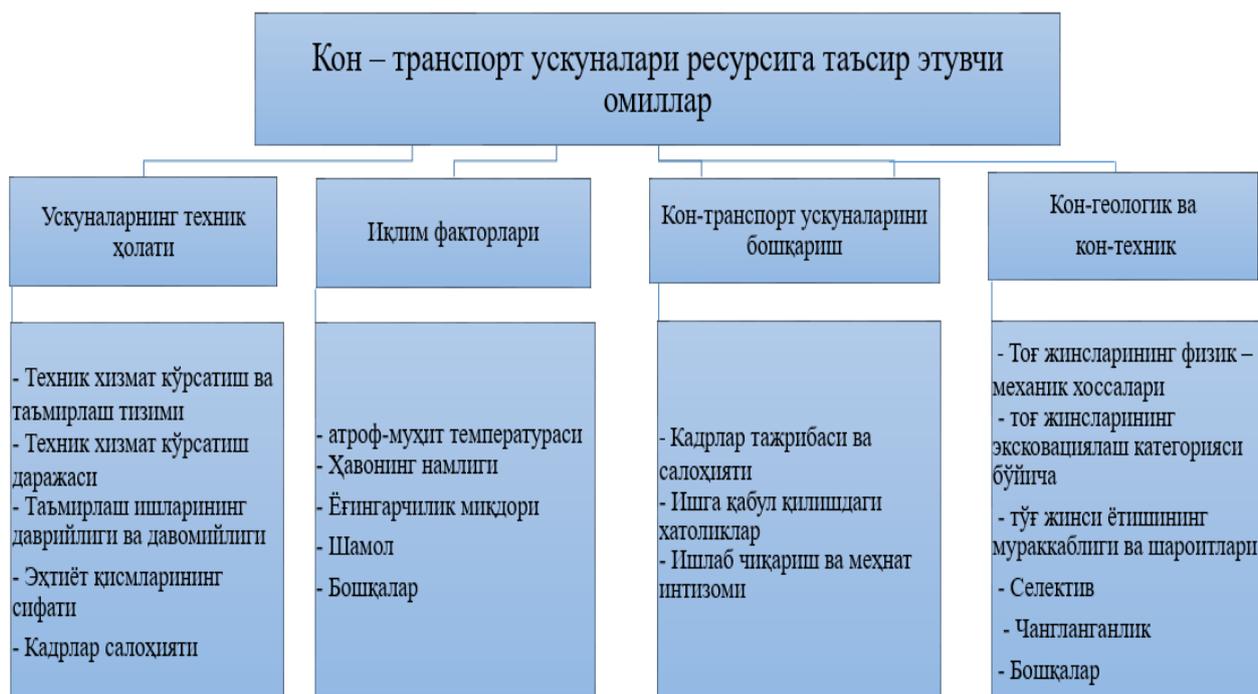
**1-расм. Кон ускуналарини ишлатиш жараёнларининг таркиби**

Кон-транспорт ускуналарининг баҳолаш базаси ҳолатини ва техник ҳолатини таҳлил қилиш асосида, уларнинг ишлаш шароитлари ва режимларига қараб, кон ускуналарининг ҳақиқий ресурсига таъсир этувчи омиллар ўрнатилади ва таснифланади (2-расм).

Ушбу омиллар кон ускуналарининг ресурслари ва ишлаш кўрсаткичларига, унинг техник ҳолати ва эксплуатация самарадорлигининг ўзгаришига тўлиқ таъсир қилади. Амалга оширилган ишларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, техник хизмат кўрсатишнинг энг илғор ва тежамкор усули - бу ҳақиқий ҳолатга асосланган техник хизмат кўрсатиш тизими.

Диссертация ишининг «**Кон ускуналарини таянч тугунларининг чидамлилигига таъсир қилувчи омилларни назарий жиҳатдан ўрганиш**» деб номланган иккинчи боби кон ускуналари ишлашига таъсир қилувчи омилларни аниқлашга бағишланган.

Ҳисоб-китоблар шуни кўрсатадики, кон машиналарида подшипникларнинг ҳақиқий ишлаш муддати кўпинча ҳисобланган қийматдан анча паст бўлади. Ушбу номутаносибликнинг асосий сабаби оғир иш шароитидир.



**2-расм. Кон-транспорт ускуналарининг ҳақиқий ресурсига таъсир этувчи омиллар**

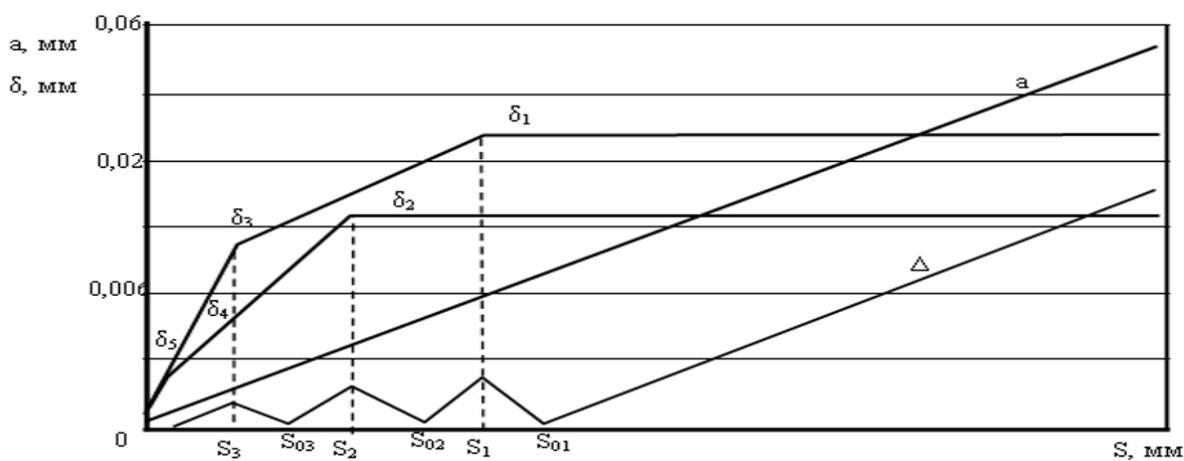
Умумий ишчи тирқишнинг катталигини ошиши:

$$S_{\text{умум}} = S_n + S_c \quad (1)$$

бу ерда  $S_n$  – подшипникдаги радиал тирқиш;  $S_c$  – ташқи халқа корпус туташган жойдаги радиал тирқиш, бу эса кон машиналари подшипникларининг таянч тугунларида тебранишни зарба режимига олиб келади.

Тирқиш катталигига таъсир қилувчи омилларни таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, корпусдаги ва вал устидаги турли хил комбинациялари, халқанинг нотўғри жойлашиши, термал кенгайиш ва эластик деформациялар йиғилиш босқичида катта тирқишга олиб келиши мумкин. Иш пайтида, подшипник тирқиши ортиши ишқаланиш туфайли ортади. Ҳисоблаш натижалари 3–расмда ва 1-жадвалда келтирилган. Бу ерда валнинг мутлақо қаттиқ халқалар ва айланувчи жисмлар билан силжишининг  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  қиймати, халқалар ва айланувчи жисмларнинг  $\Delta$  эластик деформациялари катталиги,  $\omega_2$  - бу валнинг частотада тебраниши.

Амалга оширилган тадқиқотлар асосида қуйидагилар тавсия этилади: кон машиналарининг таянч тугунлари радиал подшипникларининг ички халқаларига мос келиш учун тиғизлик қиймати шундай танланиши керакки, монтаждан кейин подшипникдаги радиал тирқиш 25-40 мкм бўлиши керак. Подшипник мосламаларини йиғишда махсус индукторлар-иситгичлар ёрдамида қиздириш тавсия этилади. Бу йиғилиш шароитларини яхшилайти ва тиғизлик миқдорини аниқроқ таъминлашга имкон беради.



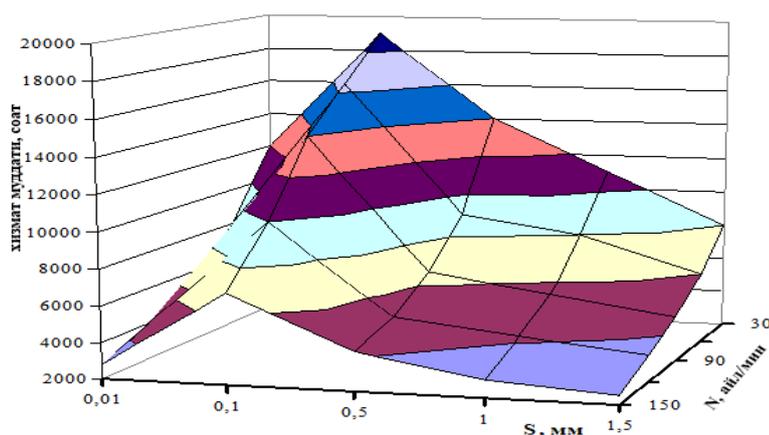
3-расм.  $a$ ,  $\delta$ ,  $\Delta$  -  $S$  радиал тирқиш қийматига боғлиқлиги

1-жадвал

Подшипник халқаларининг силжиш катталиги

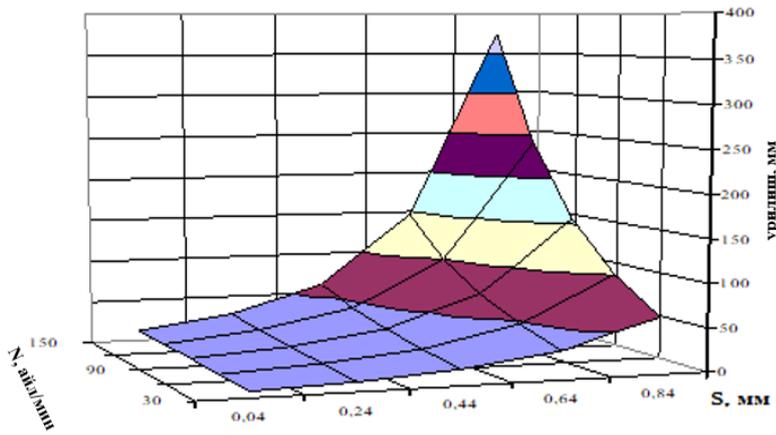
Ҳисобланган қиймат	Подшипник рақами			
	1	2	3	4
$a/S$	0,008	0,010	0,015	0,006
$\delta_1$ , мм	0,0165	0,0245	0,03245	0,0184
$\delta_2$ , мм	0,0122	0,0146	0,02045	0,0134
$\delta_3$ , мм	0,0086	0,0097	0,01265	0,0092
$\delta_4$ , мм	0,0045	0,0055	0,0065	0,0057
$\omega_2/\omega_0$	10,68	5,92	11,79	6,93

Подшипник таянчларининг чидамлилиги динамик юкка боғлиқ эканлигидан келиб чиқиб, тирқиш оралиғининг ошиши билан ортади, айланиш тезлиги ва радиал тирқишнинг подшипниклар чидамлилигига боғлиқлиги графиги келтирилган (4-расм).



4-расм. Таянч тугунлари чидамлилигининг айланиш тезлиги ва радиал тирқишга боғлиқлиги

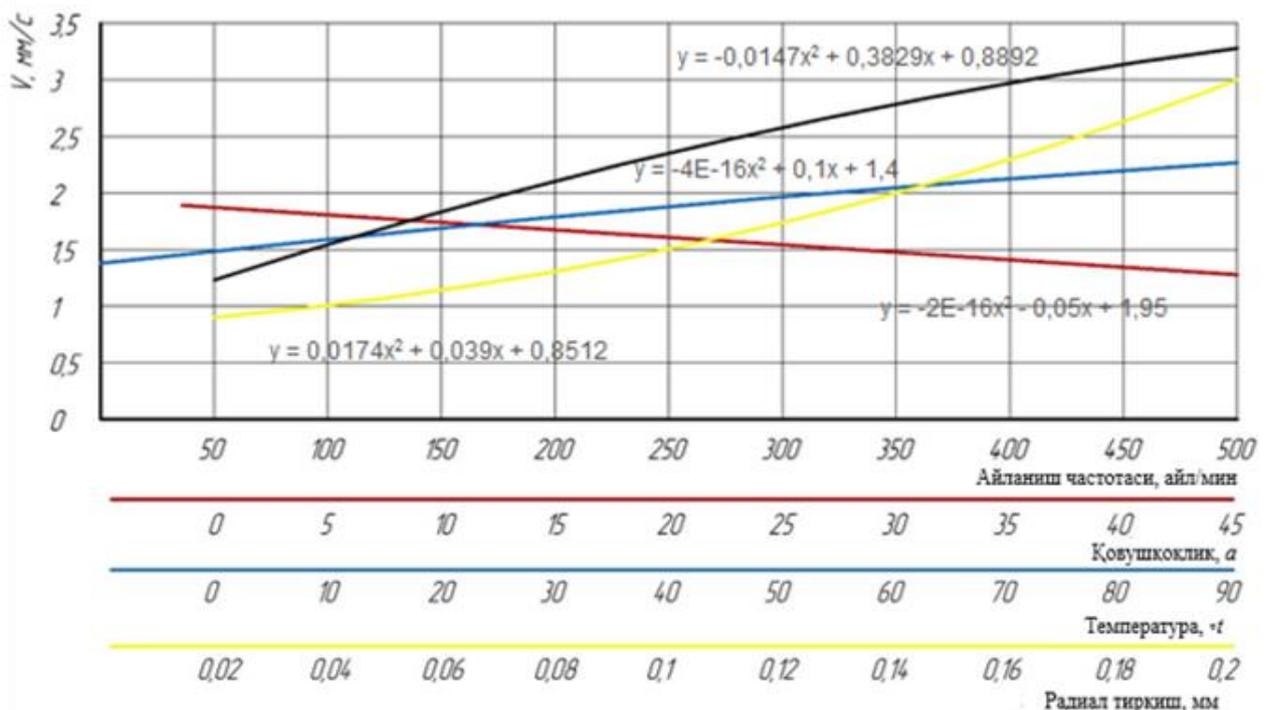
Ҳисоблаш натижаларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики айланиш частотаси ва радиал тирқишнинг ошиши билан таянч тугунларининг чарчаш муддати бир неча баробар камайиши ёки ундан кўп тартибда камайиши мумкин. Бундай ҳолда, подшипникларнинг ўқ бўйича ва радиал урилишлари чизиқли равишда тезлик ва радиал тирқишга боғлиқ (5-расм).



**5-расм. Подшипниклар урилишининг айланиш тезлигига ва радиал тирқишга боғлиқлиги**

Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, кон машиналари подшипник таянч тугунларининг ишончлилиги ва чидамлилигига таъсир қилувчи асосий омил радиал тирқиш қийматларининг номинал қийматларидан сезиларли даражада оғишидир.

«Кон ускуналарининг техник ҳолатини баҳолашни назорат қилишнинг вибродиагностик усуллари асослаш» деб номланган диссертациянинг учинчи бобида кон қазилма машиналарининг турли хил иш шароитларида подшипник таянчларида виброакустик сигнални ўлчаш ва таҳлил қилиш масалалари кўриб чиқилган. Кон машиналарининг техник ҳолатини баҳолаш учун ишлатиладиган вибродиагностик бошқариш усуллари асослари келтирилган. Айланиш тезлиги, мойлаш материалларининг сифати, ҳарорати ва тирқиш катталигининг тебраниш интенсивлигига таъсири кўриб чиқилган (6-расм).



**6-расм. Таянч тугунларининг тебраниш интенсивлиги айланиш частотаси, температура, қовушқоқлик ва радиал тирқишларига боғлиқлиги**

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 (7-расм), бу схема датчик (пьезоакселерометр), таҳлил қилувчи қурилма («VIBXPERT II» қурилма) ва дастурий пакетга эга бўлган компьютерни ўз ичига олади.



**7-расм. Кон ускуналарининг вибро таҳлили учун аппарат блок схемаси**

2-жадвалда подшипник элементларининг кинематик муносабатларини ҳисобга олган ҳолда таянч тугунларининг характеристик частоталари кўрсатилган.

2-жадвал

Кон ускуналари подшипникларининг характерли частоталарини ҳисоблаш

№ п/п	$f_{вр}$ , Гц	$f_{тк}$ , Гц	$f_c$ , Гц	$f_b$ , Гц	$f_n$ , Гц	$f_2$ , Гц
32314	50	120	20,46	354,5	245,5	501
66314	50	102,5	19,23	430,78	269,2	585

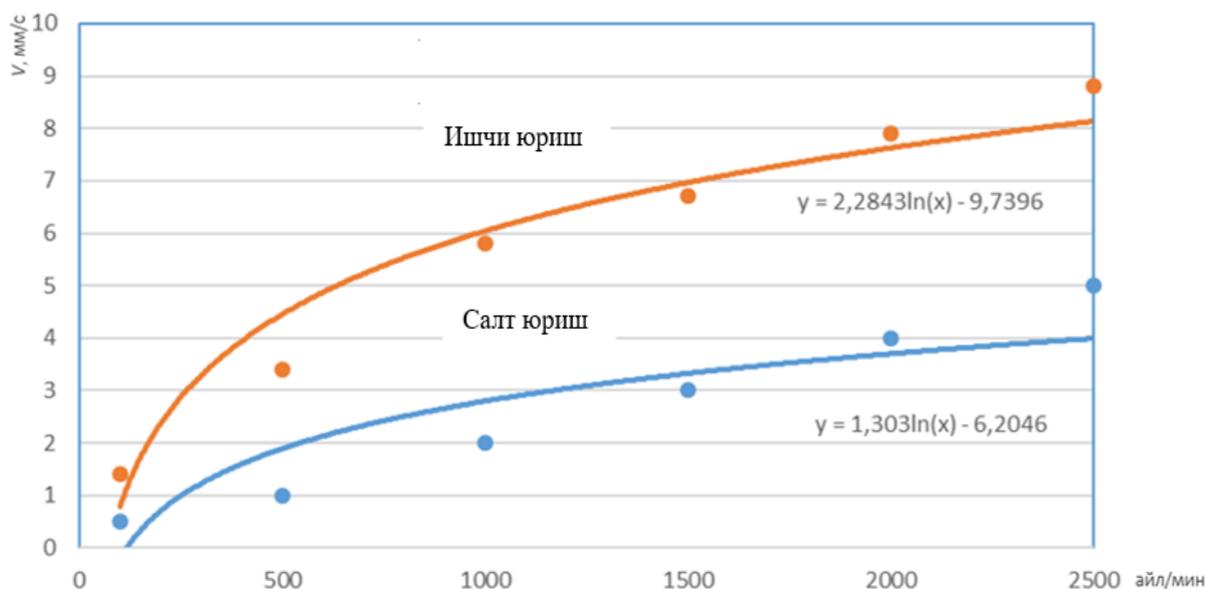
Изоҳ:  $f_{вр}$  – валнинг айланиш частотаси;  $f_{тк}$  – элемент айланиш частотаси;  $f_c$  – сепаратор айланиш частотаси;  $f_b$  – ички халқа бўйича элемент айланиш частотаси;  $f_n$  – ташқи халқа бўйича элемент айланиш частотаси;  $f_2$  – валнинг элемент бўйича частотаси

Тажриба натижаларига кўра, системанинг хусусий спектрларининг аналитик маълумотларини олинган маълумотлар билан қониқарли яқинлаштиши аниқланди. 8-расмда ротор подшипник таянчларининг тебраниш интенсивлигининг машинанинг иш параметрларига боғлиқлиги кўрсатилган.

Эксперимент натижалари тебраниш интенсивлиги ротор тезлиги ва иш режимларига бевосита боғлиқ эканлигини кўрсатади.

3-жадвалда ишлаб чиқилган математик моделни модал таҳлил қилиш натижасида олинган шпиндель тугунининг хусусий тебранишларининг дастлабки бешта частотаси келтирилган.

Тажрибалар натижасида подшипник таянч тугунларининг тебраниш амплитудасининг шпиндель тезликларига боғлиқликлари аниқланди.



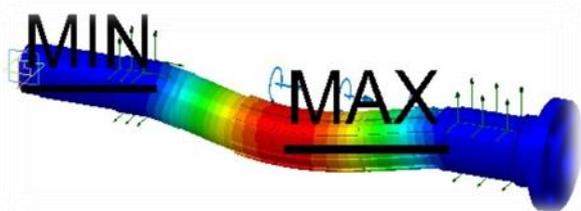
**8-расм. Ротор тебраниш интенсивлигининг айланиш частотасига боғлиқлиги**

3-жадвал

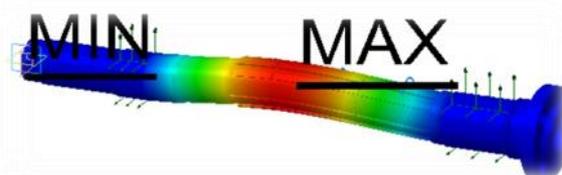
Шпиндель тугуни хусусий тебранишлар частотасини ҳисоблаш натижалари

N	Частота [рад/с]	Частота [Гц]
1	3211,326598	511,098502
2	3211,339217	511,10051
3	5291,750105	842,208187
4	6068,576064	965,843878
5	6073,137115	966,569792

1- форма хусусий тебранишлар



2-форма хусусий тебранишлар



**9-расм. Кон ускуналари шпиндель тугунининг хусусий тебранишлари формалари**

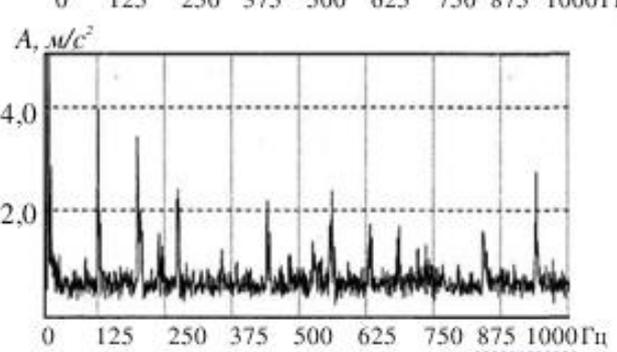
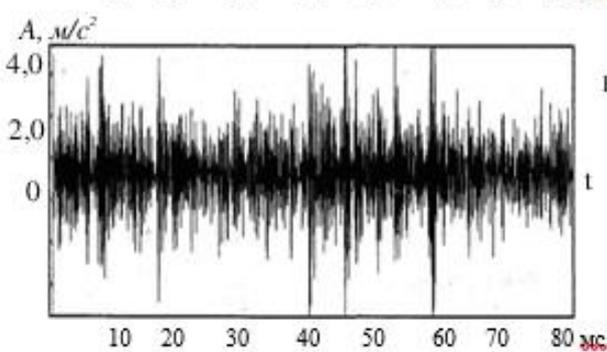
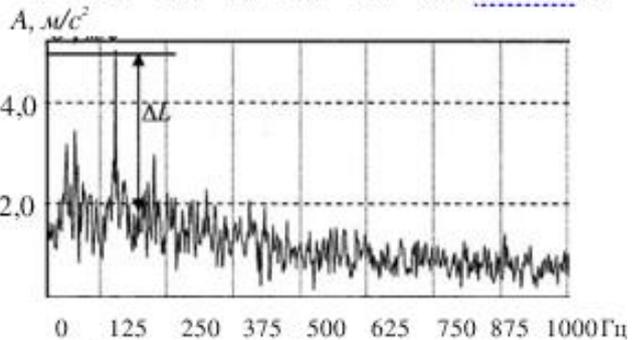
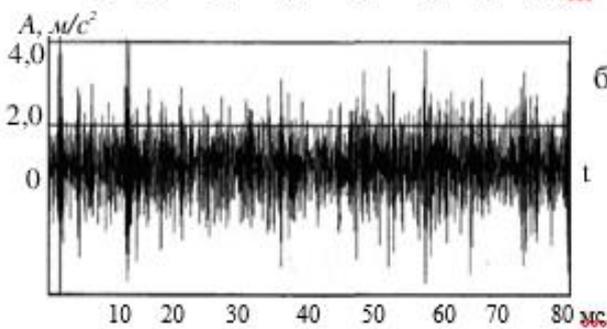
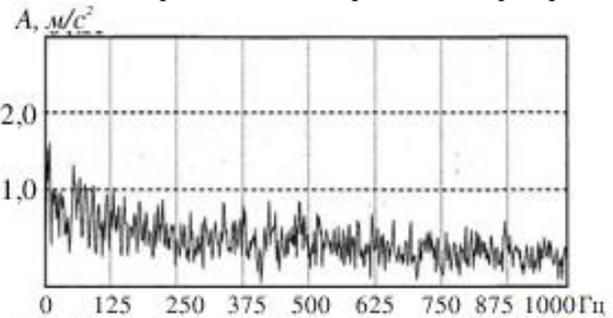
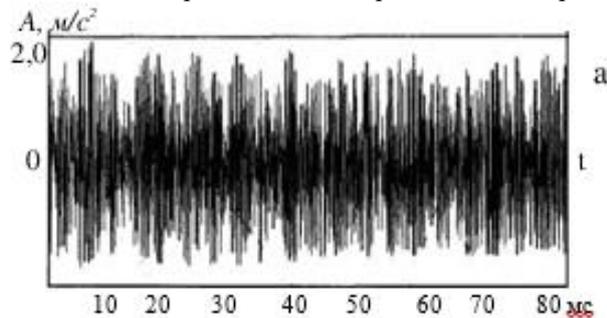
Шпинделнинг тезлик диапазони 40 дан 1200 айл/мин.гача эканлигини ҳисобга олсак, шпиндель тугуни учун ҳисобланган тебраниш кўзғалишининг максимал частотаси 42 Гц, минимуми эса 0,67 Гц га етади. Шундай қилиб, хусусий частоталар ҳеч бири бу оралиққа тушмайди, яъни шпиндель тугуни тебранишлари аниқлик ва иш режимларига таъсир қилмайди.

Эксперимент натижалари 10-расмда келтирилган, бу ерда кон ускуналари подшипниклар юқори частотали тебраниш сигнали ва спектр оғиш юқори частоталари кўрсатилган.

10а-расмдан кўришиб турибдики, нуқсонсиз подшипникнинг юқори частотали тебраниш тўплам спектрида частота компонентларининг энг юқори нуқталари йўқ. Ишқаланиш юзаси едирилган подшипникнинг тебраниш тўпламлари спектрида (10б-расмга қаранг), битта кучли гармоник компонент кўринади, бу тебраниш сигнал кучининг силлиқ ва даврий ўзгаришини кўрсатади. Тирқиш қиймати ошган подшипникда (10в-расмга қаранг), юқори частотали тебраниш кучининг ўзгариши сакрашлар билан намоён бўлади ва унинг оғиш спектрида бир қатор такрорланувчи частотали ( $kz\omega_0$ ) компонентлар мавжуд.

Вақтинчалик юқори частотали тебраниш сигналлари

Юқори частотали тебраниш конвертлари



а) - нуқсонсиз подшипник; б) - ишқаланиш юзаси едирилган подшипник;  
с – тирқиши ортган подшипник

### 10-расм. Бурғилаш мосламасини таянч тугунинг юқори частотали тебраниши ва унинг четлашиш спектрининг вақт сигнали

Ушбу бобда кон ускуналарининг подшипник тугунларини тебраниш мониторинги усули асосланган. Мониторинг тизими қуйидаги қуйи тизимларни ўз ичига олади: механик тебраниш маълумотларини йиғиш учун кичик тизим (ахборот қуйи тизими); мантиқий-ҳисоблаш кичик тизими (механик

тебранишлар даражасини доимий назорат қилиб турувчи ва бошқаришни бошқарадиган кузатув қуйи тизими); ижро этувчи қуйи тизим.

Маълумотларни йиғиш жараёни қуйидагича. Ҳар бир соатдан сўнг ўқ бўйича тебраниш чўққиларининг филтрланган қийматлари ва уларнинг ўрта квадратик қийматлари ўлчанди ва бу ўлчашлар бир дақиқали оралиқларда беш марта такрорланди. Радиал тебранишлар учун тебраниш тезлигининг филтрланган ўрта квадратик қийматлари бир хил кетма-кетликда ўлчанди. Олинган ҳар ўн беш қиймат учун қуйидаги қийматлар  $\hat{a}\tau$ ,  $\tilde{a}\tau$  и  $\tilde{v}\tau$  ҳисоблаб чиқилган:

$$K = \frac{\hat{a}\tau_{cp} \cdot \tilde{v}\tau_{cp}}{\hat{a}_{ocp} \cdot \tilde{v}_{ocp}} \quad (2)$$

бу ерда  $\hat{a}\tau_{cp}$  - ўқ бўйлаб тебраниш тезланишининг ҳозирги энг юқори қиймати;

$\tilde{v}\tau_{cp}$  - радиал тебраниш тезлигининг ҳозирги ўртача квадратик қиймати;

$\hat{a}_{ocp}$  ва  $\tilde{v}_{ocp}$  - худди шу, лекин дастлабки вақтда ўлчанади.

$\hat{a}_{ocp}$  ва  $\tilde{v}_{ocp}$  қийматлари дастлабки 25та ўлчаш маълумотларидан аниқланди.

$K$  билан бирга юқори омилни ҳисоблаймиз

$$П = \frac{\hat{a}\tau_{cp}}{\tilde{a}\tau_{cp}}. \quad (3)$$

Бундан ташқари, ҳар беш қиймат учун  $a\tau$  тақсимот зичлигининг  $\varepsilon_k$  эксцесс коэффицентининг қиймати ҳисобланди

$$\varepsilon_k = \frac{\mu_4}{\delta_4} - 3, \quad (4)$$

бу ерда  $\mu_4$  – тўртинчи тартибли марказий момент,

$$\mu_4 = M \{ [x(t) - m(t)]^4 \} = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m(t)]^4 \cdot p(x, t) dx. \quad (5)$$

Маълумки, нормал тақсимот қонуни учун эксцесс нолга тенг, нолдан фарқли тасодифий миқдор  $\varepsilon_k$  ўзгарувчи тақсимотининг  $\hat{a}\tau$  нормалдан оғишини кўрсатади.

$K$  параметри юқори сезувчанликка эга ва уни кескин ошиб кетиши фреттингни ҳосил бўлиши туфайли подшипник таянчида хавфли нуқсонни ўз вақтида аниқлаш қийин бўлиб, уни йўқ қилишга олиб келиши мумкин. Юқори омил подшипник таянч ҳолати параметри ўзгаришларига камроқ сезгир.

Таърифланган мониторинг тизими қон машиналарининг подшипник таянч тугунларининг авария хавфини бутунлай бартараф этишга имкон берди.

Юқоридаги усулга мувофиқ қон машиналарини трансмиссиясини вибрацион кузатишнинг қуйидаги усули ишлаб чиқилди. Бу усул тишларнинг фаол юзаларига шикастланиш даражасини узлуксиз ошириш билан бирга прогрессив рангсизланишга олиб келадиган узатиш контактларидаги циклик кучланишни аниқлайди.

Хавфли зарарни бошланиши трансмиссия тебраниш фаоллигининг ошиши (яъни динамик сифатнинг пасайиши) билан тавсифланади. Шу мақсадда,

тебраниш сигналлари хотирали портатив спектр анализаторидан фойдаланиб, редуктор чиқиш ўқининг яқинидаги нуқталарда қайд этилди. Шундан сўнг даврий (50 соат вақт оралиғида) шестерняни тишлашиш частотаси  $f_{зуб}$  ва унинг икки гармоникаси  $2f_{зуб}$ ,  $3f_{зуб}$  га тенг гармоникаларнинг ўзгариши кузатиб борилди. Бизнинг ҳолатда  $f_{зуб}=1,2*32=38,4$  Гц;  $2-f_{зуб}=76,8$  Гц;  $3-f_{зуб}=115,2$  Гц.

Тишли ғилдиракнинг локал шикастланиши билан боғлиқ частоталарни ажратиш учун биз икки марта филтрлашни қўладик: аниқлашдан олдин, 115, 2 Гц (узатманинг учинчи гармоникаси) ташувчиси частотасини ажратиш учун ва аниқлангандан сўнг, алоқа зонасига кирадиган нуқсонларнинг частотасини ажратиш учун. Ушбу нуқсонларнинг ривожланиши амплитуда кўпайиши билан чиқадиган нуқсонлар сонининг кўпайишига ва натижада амплитуда модуляция чуқурлигининг ошишига, комбинацияланган частоталар сонининг кўпайишига ва улар ўртасида энергиянинг қайта тақсимланишига олиб келди. Шунинг учун экскаватор редукторининг тишли узатмасининг сўнгги поғонаси ҳолатини баҳолаш саккизта гармоника ёрдамида амалга оширилди: 38,4; 76,8; 115,2; 37,2; 36,7; 32,45; 26,45 ва 11,5 Гц. Тишли узатмаларни мойлаш сифатининг ёмонлашиши спектрнинг шовқин таркибий қисмини кўпайтириши, юқоридаги барча характерли гармоникаларнинг кўпайиши ва  $0,57*f_{зуб}=19,2$  Гц частотада субгармоник тебранишларнинг сезиларли даражада ошиши аниқланди.

Диссертация ишининг «**Кон ускуналарининг техник ҳолатини кузатиш технологияси ва услубларини 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 кон ускуналарининг техник ҳолатини баҳолаш мезонларини танлашни асослаб берилган.

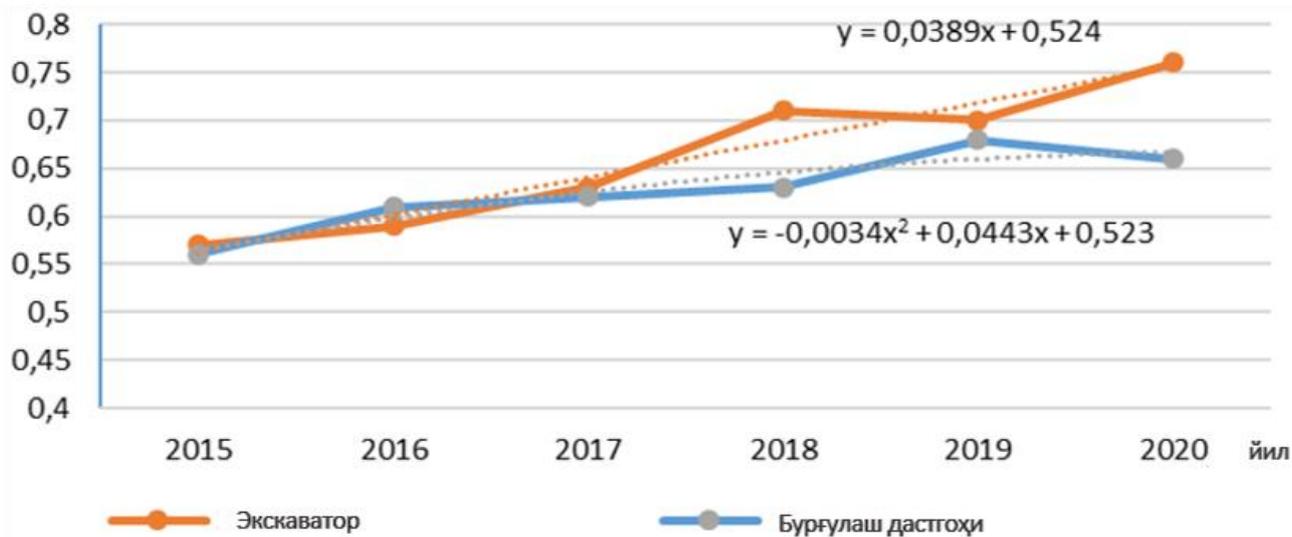
Мурунтау карьерида кон ускуналарини ишлатиш пайтида ишдан чиқиш ва иш вақтини таҳлил қилиш кон ускуналарининг ишламай қолиш сабабларини ва уларнинг частотасини аниқлашга, ускунани ишлатиш нархини пасайтириш учун захираларни топишга имкон берди. кон ускуналарининг ишламай қолишининг асосий сабабларидан бири бўлган кон ускуналарининг ишламай қолиши сабабларининг ўзаро боғлиқлиги таянч тугунларининг ишламай қолиши ҳисобланади. Носозликларнинг олдини олиш, уларни аниқлаш вақтини қисқартириш ва таянч тугунларининг ишлаш муддатини ўзайтириш, унумдорликни ошириш ва кон ускуналари харажатларини пасайтиришнинг эканлиги аниқланди.

11 ва 12-расмларда фойдаланиш иш коэффиценти (ФИК) йиллик кўрсаткичининг ўзгариши ва кон ускуналарининг ишлаш муддатига қараб нисбий бирликларда ишлаш вақти кўрсатилган.

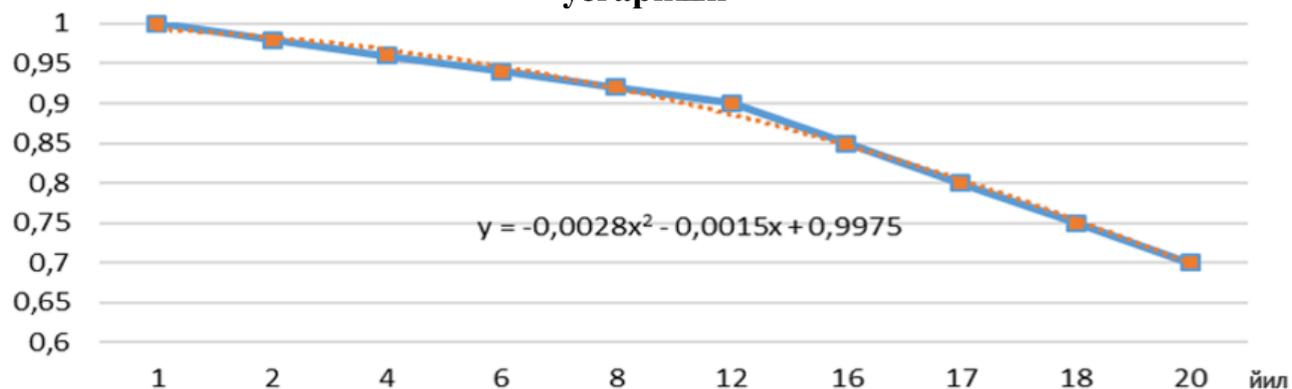
Сифатни баҳолаш усулига кўра сифатнинг ўзига хос ягона кўрсаткичларини топишимиз керак:

$$a_{ij} = \frac{P_{ij}}{\lambda_i}, \quad i = n, \quad j = m, \quad (6)$$

бу ерда  $P_{ij}$  – тебраниш параметри ўзгариши;  $i$  –кон машинасининг тартиб рақами;  $j$  – вибропараметрнинг тартиб рақами;  $\lambda_i$  – агрегатнинг функционал критерияси.



**11-расм. Кон ускуналаридан фойдалиш коэффициентининг йиллик ўзгариши**



**12-расм. Кон ускуналарининг йиллик иш вақтининг хизмат муддатига қараб нисбий бирликларда ўзгариши**

Техник ҳолат даражасининг тебраниш диагностик кўрсаткичи қуйидаги формула билан аниқланади:

$$K_i = \left\{ m \sum_{j=1}^m \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \cdot \left[ (m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij} \right]^{-1}. \quad (7)$$

Техник ҳолатни баҳолашнинг тавсифланган техникаси кон саноати корхоналарида маҳсулотларни келгусида текшириш ва қабул қилиш синовларида қўллашга имкон беради. Ушбу техникани операцион босқичда, вақт ўтиши билан машинанинг динамик сифатидаги ўзгаришларни кузатиш учун ҳам қўллаш мумкин. Бундай ҳолда, машина ҳолатини назорат қилиш тебранишларнинг интенсивлигини атиги бир неча нуқтада ўлчаш йўли билан амалга оширилганда ва тебраниш параметрларига нисбатан бардошлик маълум бўлса, унда сиз ушбу вазиятда қуйидаги техникадан фойдаланишингиз мумкин.

Битта тебраниш диагностик индикатори учун динамик сифат даражаси (битта нуқтада ўлчанадиган тебраниш тезлиги параметри) га тенг



Вибрацияли сигналларни рўйхатдан ўтказиш ва таҳлил қилиш асосида қазиб олиш машиналарининг техник ҳолатини башорат қилиш, ўрганилаётган объектнинг тебраниш параметрларининг вақт ичида ўзгаришларини таҳлил қилишга асосланган бўлиб, объектнинг ўтган вақт моментларида ҳолати тўғрисида тўпланган маълумотларни ҳисобга олган ҳолда.

Умумий ҳолатда тебраниш параметрларини ўлчаш натижалари бўлган вақт қатори иккита компонент шаклида аниқланиши мумкин ва тасодифий:

$$Y(t) = f(t) + \varepsilon(t), \quad (10)$$

бу ерда  $Y(t)$  – иш вақтида ўзгарадиган тебраниш параметри (масалан, тебраниш тезлиги чегараси);  $f(t)$  – вақт қаторининг детерминистик қисми;  $\varepsilon(t)$  – вақт қаторининг тасодифий компонентлари.

$$\varphi(t) = \frac{dK}{dt} \quad (11)$$

(11) тенглама динамик сифат даражасининг ўзгариш тезлигини характерлайди. Функциянинг аниқ турини эксперимент натижалари асосида аниқлаш мумкин. Бирок, бу жараёнларнинг кўриб чиқилган физик табиатига асосланган, монотоник вақтнинг узлуксиз камаювчи функцияси деб ҳисоблаш мумкин, чунки юқорида қайд этилган барча жараёнлар системанинг энтропияси ошишига олиб келади.

Кон ускуналари интерфейсларида қайтмас жараёнларнинг ривожланиши билан боғлиқ динамик сифат даражасининг ўзгариши жараёнини қуйидаги дифференциал тенглама билан таърифлаш мумкин:

Биринчи ҳолда динамик сифат даражасининг ўзгариш тезлигига тенг

$$\varphi(t) = -a_1; \quad (12)$$

иккинчидан

$$\varphi(t) = -m \cdot a_1 \cdot t^{m-1}; \quad (13)$$

учинчига

$$\varphi(t) = -a_0 \cdot a_1 \cdot e^{-a_1 t}. \quad (14)$$

Сўнги ҳолда, динамик сифат даражасининг пасайишидан фойдаланиш қулай:

$$\varphi(t) = \frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt} = -a_1. \quad (15)$$

Прогнозлаш моделларининг коэффицентлари (12), (13) ва (14) энг кам квадратлар усули ёрдамида умумий қоидалар бўйича топилади. Моделнинг коэффицентларини билган ҳолда машинанинг ишлаш вақтининг прогноз қийматини унинг чегаравий ҳолатигача ҳисоблаш осон бўлиб, динамик сифат даражасининг мақбул қиймати билан характерланади.

Машина динамик сифатининг рухсат этилган даражаси қийматини (9) формула ёрдамида унга тебраниш параметрларининг рухсат этилган қийматларини алмаштириш орқали ҳисоблаш мумкин. Қиймати 0.3 га тенг бўлсин. Демак, эскириш ва бошқа омиллар туфайли тебраниш миқдори шунчалик ошиб кетадики, машинанинг динамик сифат даражаси дастлабки ҳолатнинг 30% ни ташкил этади.

Диссертациянинг «Карьер кон-транспорт ускуналарининг хизмат муддатини ошириш учун ишлаб чиқилган услублар ва техник таклифларини техник-иқтисодий баҳолаш» деб номланган бешинчи бобида корхоналарда казиб олиш ускуналарининг ҳақиқий ҳолатига қараб профилактик хизмат кўрсатиш бўйича тавсиялар берилган. Таъмирлаш ва таъмирлашни корхоналарнинг ҳақиқий ҳолатига қараб ўтказиш учун махсус гуруҳ - техник диагностика бўлими (КТД) бўлиши керак. Вибрацияни кузатиш ва режалаштиришни таъминлаш учун математик дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

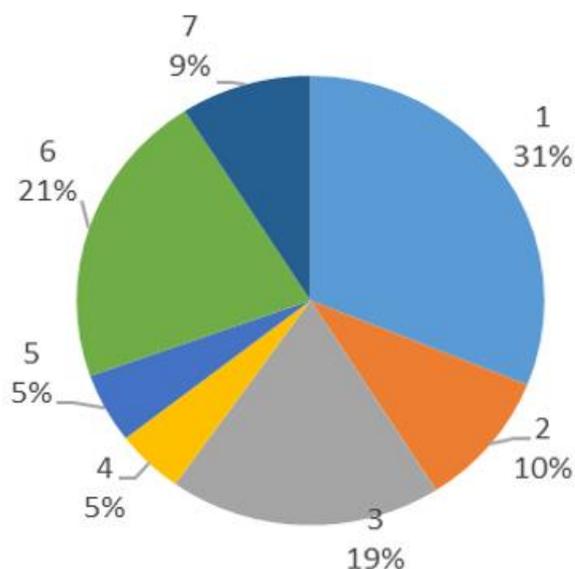
Дастурий таъминот ўлчов натижаларини берилган алгоритм бўйича қайта ишлашга, маълумотларни тузилган шаклда сақлашга имкон беради, шунингдек олинган маълумотларни хужжатлаштириш ва уларни компьютер мониторида ихчам тарзда намоиш этишга хизмат қилади.

Ўтказилган изланишлар натижасида кон ускуналарини тебраниш мониторинги ва шу асосда техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизимини такомиллаштиришнинг ишлаб чиқилган усуллари қуйидагилардан иборат:

– кон ускуналарини иш ҳолатида таянч тугунларининг техник ҳолатини тебраниш назорати усуллари;

– кон ускуналарини таянч тугунларини ўрнатиш ва таъмирлаш сифатини назорат қилиш усуллари.

Ўтказилган тадқиқотлар шуни кўрсатадики, кон ускуналарининг ишламай қолиши сабабли ишламай туриши жуда катта ва самарали иш вақтининг 35-40% га етади. 14- расмда Мурунтау конида механик ускуналарнинг ишламай қолиши сабаблари нисбати диаграммаси



1 – редуктор; 2 – узатиш механизми; 3 – таянч тугуни; 4 – гидроускуналар ва бошқалар; 5 – компрессор; 6 – двигатель; 7 – юриш ускуналари.

**14-расм. Мурунтау конида механик ускуналарнинг ишламай қолиши сабаблари нисбати диаграммаси**

Диаграммада келтирилган маълумотлар (14-расм) шуни кўрсатадики, кон ускуналарининг узатиш қутиси, двигатель, таянч тугунлари, механизми ва юриш қисмидаги ускуналарнинг ишламай қолиши сабабли ишламай қолиши умумий йиллик йўқотишларнинг 60-70 % ни ташкил этади.

Кон ускуналари таянч тугунларини ишга туширишда вибромониторингидан фойдаланишнинг техник ҳолатини ва иқтисодий техник-иқтисодий жиҳатдан баҳолашнинг усулларини таққослаш 4- ва 5-жадвалда кўрсатилган.

4-жадвал

Кон ускуналари таянч тугунларининг техник ҳолатини баҳолаш усулларини таққослаш

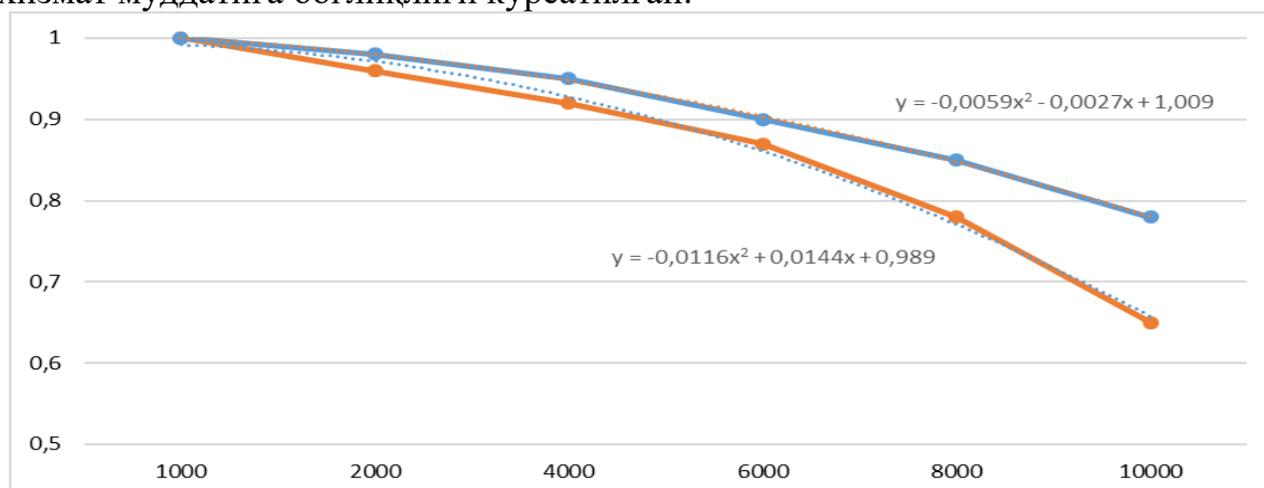
Кўрсаткичлар	Техник ҳолатни баҳоловчи усуллар		
	Асосий	Ишлаб чиқилган	Фарқ
Ишлаб бериш кунлари, бир йилдаги кунлар	252,6	272,6	20
Таянч тугунининг ишлаб бериш муддати, соат	7452	8842	1410
Кон-транспорт ускуналарининг тайёрлик коэффициенти	0,71-0,91	0,74-0,94	3%

5-жадвал

Кон ускуналарини таянч тугунларининг ишлаши пайтида тебраниш мониторинги қўлланилишининг иқтисодий мақсадга мувофиқлиги

Кўрсаткичлар	Битта таянч тугуни учун	Тугунларнинг умумий миқдори бўйича (150 та)
Жами йиллик иқтисодий-эксплуатацион самарадорлик, сўм.	1991000	298 650 000
Хизмат муддатининг ошиши ҳисобига: – подшипниклар – шпинделлар	616000 1375000	92 400 000 206 250 000

15-расмда йиллик иш вақтининг кон ускуналарини таянч тугунларининг хизмат муддатига боғлиқлиги кўрсатилган.



Таянч тугунларининг иш вақти, соат

- кон ускуналарининг ишлаб чиқилган метод бўйича иш вақти;
- кон ускуналарининг базавий метод бўйича иш вақти

**15-Расм. Йиллик иш вақтининг кон ускуналарини таянч тугунларининг хизмат муддатига боғлиқлиги**

Базавий метод бўйича кон ускуналарини таянч тугунларининг тайёрлик коэффициенти  $k=0,71 \div 0,91$ , ишлаб чиқилган усулда эса  $k=0,74 \div 0,94$  (таянч тугунинининг тайёрлик коэффициенти 3% га оширилди) ни ташкил этди.

Шундай қилиб, Мурунтау карьерида ишлаб чиқилган услубларни амалга ошириш натижасида техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш харажатлари, эҳтиёт қисмларга бўлган талаб камаяди, фойдаланиш даражаси 3% га ошди, кон ускуналари ресурси 12% га ошган ва йилига 29,008 долл. АҚШ миқдорида иқтисодий самарага эришилган.

## ХУЛОСА

«Карьерларда кон транспорт ускуналари ишончилигини ошириш ва техник хизмат кўрсатишни ресурстежамкор усулларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Мурунтау конида кон ускуналарини эксплуатация қилиш пайтида таянч тугунларининг ишламай қолиши умумий зарарларнинг 30% ни ташкил этади, ва ҳақиқий ишлаши кўрсаткичлари режалаштирилгандан анча паст, бу эса техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш тизими паст даражада эканлигини кўрсатади.

2. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, кон машиналарининг ишдан чиқиши режалаштирилган ва режадан ташқари таъмирлашда умумий иш вақти 50%га етади, бу ускунанинг ишончилиги ва ишлаш муддати ҳаддан ташқари ошириб юборилганлиги билан боғлиқ.

3. Подшипник таянчларининг чидамлилиги радиал тирқиш ўлчами ва айланиш тезлиги боғлиқлиги ўрнатилди, подшипник элементларининг тирқиш ўлчами  $S > 0.45$  мм га етганда, интенсив зарба едирилиши юзага келади. Радиал тирқишнинг чегаравий қиймати 0.065-0.085 мм эга.

4. Кон ускуналарининг турли хил носозликлари аварияларнинг жойлашуви жиҳатидан детерминистик эканлиги аниқланган, шунингдек эксплуатация жараёнида ривожланаётган ва ҳосил бўлган нуқсонларни энг самарали тавсия этилган частота диапазонида назорат қилинади.

5. Ишлаб чиқилган кон машиналарининг умумий тебраниш кўрсаткичи бўйича кон машиналарининг динамик сифатини баҳолаш усули тебраниш сигналларининг спектрал хусусиятларини ўлчаш ва таҳлил қилиш йўли билан аниқлаш имконини беради.

6. Ишлаб чиқилган турли хил ривожланаётган нуқсонлари бўлган кон ускуналарини ишлатиш пайтида носозликлар бошланиш вақтини башорат қилиш усуллари тебраниш хусусиятлари орқали одатий нуқсонларни аниқлаш имконини беради.

7. Усулнинг апробацияси шуни кўрсатдики, унинг қўлланилиши анъанавий прогноз усуллари билан таққосланганда камида 10–30% гача прогноз аниқлигини оширишга имкон беради.

8. Кон машиналарининг подшипник таянчлари, трансмиссияси ва гидравлик тизимлари техник ҳолатини диагностика қилиш усуллари таклиф қилинган. Мураккаб механик тизимларни ўрганиш асосида вибродиагностикасининг спектрал маълумотларини таҳлил қилиш усули ишлаб чиқилди, бу кон –транспорт ускуналарининг анъанавий усуллар учун мавжуд бўлмаган ривожланаётган нуқсонларни аниқлашга имкон беради.

9. Мурунтау карьерида ишлаб чиқилган усулларни амалга ошириш натижасида техник хизмат кўрсатиш, таъмирлаш харажатлари ва эҳтиёт қисмларга бўлган талаб камайишига имконини берди, режалаштирилган ва режадан ташқари таъмирлаш камайиши ҳисобига фойдаланиш коэффиценти 3% га ва кон транспорт ускуналари ресурси 12% га ошди, бу эса йилига 29008 АҚШ долл. миқдорида иқтисодий самарага эришиш имкон берди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
DSc.17.30.12.2019.Т.06.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ НАВОИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ГОРНОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**НАВОИЙСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ЭГАМБЕРДИЕВ ИЛХОМ ПУЛАТОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И РАЗРАБОТКА  
РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ СПОСОБОВ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА  
КАРЬЕРАХ**

**04.00.16 – Горные машины**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации доктора технических наук (DSc)**

**Навои - 2020**

**Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2020.4.DSc/T240.**

Докторская диссертация выполнена в Навоийском отделении Академии наук Республики Узбекистан.

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

<b>Научный консультант:</b>	<b>Атакулов Лазизжон Нейматович</b> доктор технических наук, доцент
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Галкин Владимир Иванович</b> доктор технических наук, профессор <b>Кольга Анатолий Дмитриевич</b> доктор технических наук, профессор <b>Тошов Жавохир Буриевич</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»</b>

Защита диссертации состоится 14 декабря 2020 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета DSc.17.30.12.2019.T.06.01. (Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 127. Зал заседаний Навоийского государственного горного института. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Навоийского государственного горного института (зарегистрирован за №65). Адрес: 210100, г. Навои, ул. Галаба шох, 127. Тел.: 0 (436) 223-23-32; факс: 0 (436) 223-49-66.

Автореферат диссертации разослан 30 ноября 2020 года.

(реестр протокола рассылки №27 от 30 ноября 2020 года).





**К.С. Санакулов**  
Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор



**Ш.Ш. Заиров**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор



**И.Т. Мислибаев**  
Председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире настоящее время разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом ведется в сложных горно-геологических условиях, где необходимо надежное обеспечение работы горного оборудования для повышения работоспособности, улучшения технико-экономических показателей работы предприятия и обеспечения необходимой безопасности ведения горных работ. Проблемы повышения эффективности карьерных горных машин связаны с задачей снижения потерь, связанных с отказами оборудования и уменьшение расходов на техническое обслуживание и ремонт, а также повышение безопасности проведения работ. Поставленные задачи могут быть решены на основании получения информации о состоянии машины без ее разборки и демонтажа. При этом вопрос первой важности, во многом предопределяющий успех поставленной задачи, выбор параметров, в наибольшей мере отражающих состояние машины и отдельных ее составных частей. Несмотря на многочисленные исследования, проблемы повышения эффективности и надежности карьерных горных машин до конца не решена.

На сегодняшний день во всем мире достигнут значительный прогресс в области по повышению надежности, совершенствования системы технического обслуживания и ремонта горных машин. Однако не решен ряд ключевых вопросов, по прогнозной оценке, технического состояния и ремонту, а также совершенствованию техническому обслуживанию опорных узлов горного оборудования. В связи с этим возникает необходимость в выполнении научных исследований по разработке ресурсосберегающих способов технического обслуживания и ремонта горнотранспортного оборудования для повышения эффективности карьерных горных машин.

В Республике выполнен ряд научно-практических работ по разработке ресурсосберегающих способов технического обслуживания горнотранспортного оборудования на карьерах, повышению качества эксплуатации горного оборудования и разработке ресурсосберегающих технологии ремонта и др. В Постановлении Президента Республики Узбекистан<sup>1</sup> определены важные задачи по «дальнейшему развитию и либерализации экономики, созданию дополнительных условий для привлечения инвестиций в модернизацию производства, повышению конкурентоспособности крупных предприятий горно-металлургической отрасли». В связи с этим становится актуальным решение задач по повышению надежности и разработка ресурсосберегающих технологий технического обслуживания горнотранспортного оборудования на карьерах.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по

---

<sup>1</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли».

дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № УП-4707 от 4 марта 2015 г. «О программе мер по обеспечению структурных преобразований, модернизации и диверсификации производства в 2015-2019 гг.» и Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургической отрасли», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в этой сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>2</sup>.** Научные исследования, направленные на повышение надежности и долговечности горнотранспортного оборудования, ведутся в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в: «Continental Conveyor & Equipment Company», «Dos Santos International» (США), Уральском государственном горном университете (Россия), Technische Universität Bergakademie Freiberg (Германия), Der Berguniversität Leoben (Австрия), Mining University in Xiuzhou (Китай), L'école supérieure De montagnes de Paris (Франция), Institute of materials, minerals and mining (Великобритания), АО «ВНИПИпромтехнологии», АО «Гипроруда», Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» (Россия), «УкрНИИпроект», ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (Украина), ГУП «O'zGEORANGMETLITI» и Навоийском государственном горном институте (Узбекистан).

В результате исследований по разработке энергосберегающих технологий технического обслуживания и повышению надежности горнотранспортного оборудования проведенных в мире, получен ряд научных результатов, в том числе: совершенствованы методы вибродиагностики (Continental Conveyor & Equipment Company, Dos Santos International, Technische Universität Bergakademie Freiberg, L'école supérieure De montagnes de Paris); разработаны методы диагностики горных машин (КузГТУ, НИТУ «МИСиС», Уральский государственной горной университет, Der Berguniversität Leoben, Institute of materials, minerals and mining, Mining University in Xiuzhou); разработаны методы вибродиагностики, позволяющие повысить эксплуатационную надежность оборудования (ГУП «O'zGEORANGMETLITI» и Навоийский государственный горный институт).

В мире по повышению эффективности и разработке ресурсосберегающих способов технического обслуживания и ремонта карьерного горного оборудования ведется ряд исследовательских работ по следующим

---

<sup>2</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе [www.atlasrockbit.com](http://www.atlasrockbit.com), <http://www.varelintl.com>, [www.dissercat.com](http://www.dissercat.com), <http://vbm.ru>, <https://www.amazon.com>, <http://www.mirknigi.ru> и др. источников.

приоритетным направлениям, в том числе: исследование факторов, влияющих на работоспособность горнотранспортного оборудования, определение видов дефектов, разработка методов вибродиагностики (средние квадратические значения (СКЗ), спектральные характеристики), разработка методики прогнозирования остаточного ресурса; снижение затрат и повышение экономической эффективности работы горнотранспортного оборудования; разработка ресурсосберегающих технологии технического обслуживания и ремонта.

**Степень изученности проблемы.** Большой вклад в развитие науки и практики по обеспечению надежности и совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта горных машин внесли ученые Герик Б.Л., Солод Г.И., Солод В.И., Бреннер В.А., Галкин В.И., Гетопанов В.Н., Дмитриев В.Н., Ефимов В.Н., Кантович Л.И., Картавий Н.Г., Картавий А.Н., Красников Ю.Д., Подерни Р.Ю., Рахутин Г.С., Шешко Е.Е., Кванигидзе В.С., Antoniak J., Dhamodharan K., Dos Santos J.A., Hari Prasad K., Jagadeeswari M., Jennings A., Kamesh Gautham B., Klein J., Keerthika R., Langebrake F., Thompson M. и др. Ими усовершенствованы методы оценки технического состояния карьерных горных машин, а также рассчитаны коэффициенты использования горного оборудования, в том числе даны прогнозы ресурса техники, параметры выбора перспективного оборудования по показателям качества и надежности.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Навоийского государственного горного института на темы: «Разработка ресурсосберегающих технологий ремонта горного оборудования на основе создания безразборных методов и средств оценки текущего состояния узлов механизма» (2012-2014 гг.), «Разработка моделей, алгоритмов управления и исследование динамических параметров буровых машин» и «Исследование динамических параметров рабочего оборудования и совершенствование конструкции и технологии изготовления зубьев ковша карьерных экскаваторов» (2015-2017 гг.), «Научное обоснование и разработка технологии улучшающей термоциклическую обработку деталей горного оборудования» (2017-2020 гг.), «Исследование и разработка математических моделей и методов неразрушающего контроля состояния машин и оборудования на основе моделирования» (2018-2020 гг.).

**Целью исследования** является разработка ресурсосберегающих способов технического обслуживания и ремонта горнотранспортного оборудования карьеров для повышения эффективности карьерных горных машин, позволяющих повысить надежность и эффективность их использования.

**Задачи исследования:**

анализ и теоретическое обобщение литературных, патентных и фондовых материалов состояния надежности и эффективности эксплуатации карьерных горных машин в глубоких карьерах;

исследование факторов, влияющих на надежность и эффективность эксплуатации карьерного горного оборудования в глубоких карьерах;

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

обоснование параметров диагностических методов контроля и оценки технического состояния карьерных горных машин;

разработка теоретических основ и практических методов оперативного контроля технического состояния систем горного оборудования и транспорта с применением статистических и динамических моделей;

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

разработка метода безразборной оценки технического состояния подшипниковых узлов карьерных горных машин;

разработка предложений по совершенствованию системы технического обслуживания карьерного горного оборудования.

**Объектом исследования** является горное оборудование, широко используемое на карьерах Мурунтау.

**Предмет исследования** методы и способы мониторинга за изменением технического состояния горного оборудования.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы: комплексные методы исследований, включающие экспериментальные исследования в лабораторных, полигонных и промышленных условиях; теоретические обобщения результатов анализа математических и цифровых моделей технического состояния с использованием программного комплекса «АРМ Winmashin» и «Ansys»; методы подобия, математической статистики и корреляционного анализа.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

установлены закономерности изменения радиального зазора в подшипниках опорных узлов горного оборудования в зависимости от долговечности и влияние их величин на параметры вибрации;

разработана модель и метод оценки технического состояния горных машин по параметрам вибрации;

разработана методика анализа данных вибродиагностики, обеспечивающая распознавание развивающихся дефектов горного оборудования, недоступные традиционным методам;

разработана система вибромониторинга карьерных горных машин, позволяющая обеспечить дальнейшую обработку спектров, которая основывается на анализе спектра параметров вибросигнала при использовании специальных аппаратных и программных средств;

разработан метод оценки динамического качества по обобщенному вибрационному показателю карьерных горных машин, определяющего посредством измерения и анализа спектральных характеристик вибросигналов;

разработан комплекс методов оптимального планирования сроков проведения ремонтов карьерного горнотранспортного оборудования, основанного на анализе вибродиагностики.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны методы контроля качества монтажа и ремонта карьерных горных машин;

разработана методика своевременного выявления разгерметизации из-за износа уплотнительных элементов подшипникового узла;

разработана методика проведения вибромониторинга технического состояния подшипниковых опор горного оборудования;

разработаны рекомендации по организации и технологии проведения вибромониторинга для совершенствования системы технического обслуживания и ремонта горного оборудования.

**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 карьерного горного оборудования, позволяющая определять и прогнозировать величину остаточного ресурса и качество подшипниковых узлов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных исследований по повышению надежности и разработке ресурсосберегающих способов технического обслуживания горнотранспортного оборудования на карьерах:

методы контроля качества монтажа и ремонта карьерных горных машин внедрен на карьере Мурунтау Центрального рудоуправления ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/2062 от 17 февраля 2020 г.). В результате повышен ресурс карьерного горного оборудования на 12-14%, обеспечена его безотказность и безаварийность.

разработанный метод выполнения измерений по проведению вибрационного контроля технического состояния опорных узлов горного оборудования внедрен в ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/10873 от 16 октября 2020 г.). В результате обеспечено 12-15% безотказной и безаварийной по времени эксплуатации горного оборудования.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования произведена на 10 республиканских и 17 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации

опубликованы всего 49 научных работ, из них 2 монографии, 2 программы для электронных вычислительных машин, 14 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 12 из которых в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 192 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 **«Анализ и теоретическое обобщение литературных, патентных и фондовых материалов по надежности горного оборудования для открытых горных работ»** проведен анализ исследований по эксплуатации и ремонту горного оборудования. Сегодня залог успешного функционирования всего горного предприятия заключается прежде всего в четко скоординированном взаимодействии всех подразделений для обеспечения надежной и безотказной работы оборудования. Горные машины становятся менее металлоемкими, более энергоемкими. Все это определяет новые, более жесткие требования к техническому обслуживанию, достоверности диагностики и своевременному ремонту оборудования.

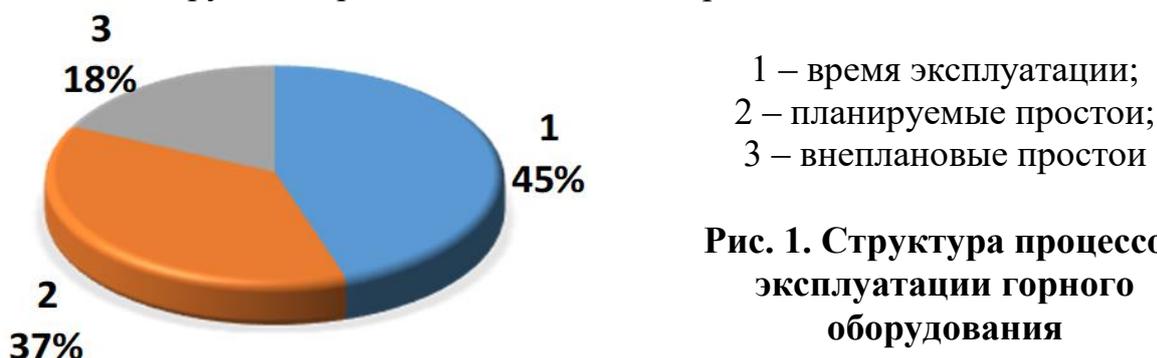
Решению проблемы надежности, а также совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта горных машин, автоматизации и оценки качества эксплуатации горного оборудования посвящены работы Галкина В.И., Гетопанова В.Н., Дмитриева В. Н., Ефимова В.Н., Кантовича Л.И., Картавого Н.Г., Когана Б.И., Коха П.И., Красникова Ю.Д., Кутузова Б. Н., Махно Д.Е., Морозова В.И., Нанкина Ю.А., Наринского И.Э., Олизаренко В.В., Подэрни Р.Ю., Пастоева И.Л., Радкевича Я.М., Рачека В.М., Рахутина Г.С., Русихина В.И., Солода В.И., Солода Г.И. и др. учёных.

Задача оценки технического состояния горного оборудования особо актуальна, прежде всего, в виду специфики горного производства. Здесь возникает, прежде всего задача слежения за техническим состоянием горнотранспортного оборудования на всех стадиях жизненного цикла, что позволит определять в любой момент остаточный ресурс машины и давать гарантию выполнения машиной определенного объема работ за фиксированное время с расчетной вероятностью.

Результаты научного исследования показывают, что действующая

система, используемая на НГМК является низко эффективной, а также имеет ряд недостатков при техническом обслуживании и ремонте горного оборудования: горное оборудование, находящееся 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 горных машин.

Проведенные исследования показывают, что процессы эксплуатации можно рассматривать как систему (рис. 1), выделяя в ней процессы: время работы, планируемые простои, внеплановые простои.



**Рис. 1. Структура процессов эксплуатации горного оборудования**

Так как время работы, планируемые и внеплановые простои являются составными частями процессов эксплуатации (разновидности производственного процесса), то на них распространяются условия существования процесса и их можно считать структурной формулой. Данные процессы будут отличаться видом предмета и результатом труда, орудиями труда, квалификацией и составом исполнителей-операторов и ИТР. Каждый из этих процессов делится на под процессы и операции, поэтому процесс эксплуатации можно представить в виде детализированной схемы, на которой для каждой составной его части можно поставить входные (овеществленные и неовеществленные) и выходные (овеществленные и неовеществленные) потоки.

На основе анализа состояния базы оценки и технического состояния горнотранспортного оборудования в зависимости от условий и режимов их эксплуатации установлены и классифицированы факторы, влияющие на фактический ресурс горного оборудования (рис. 2).

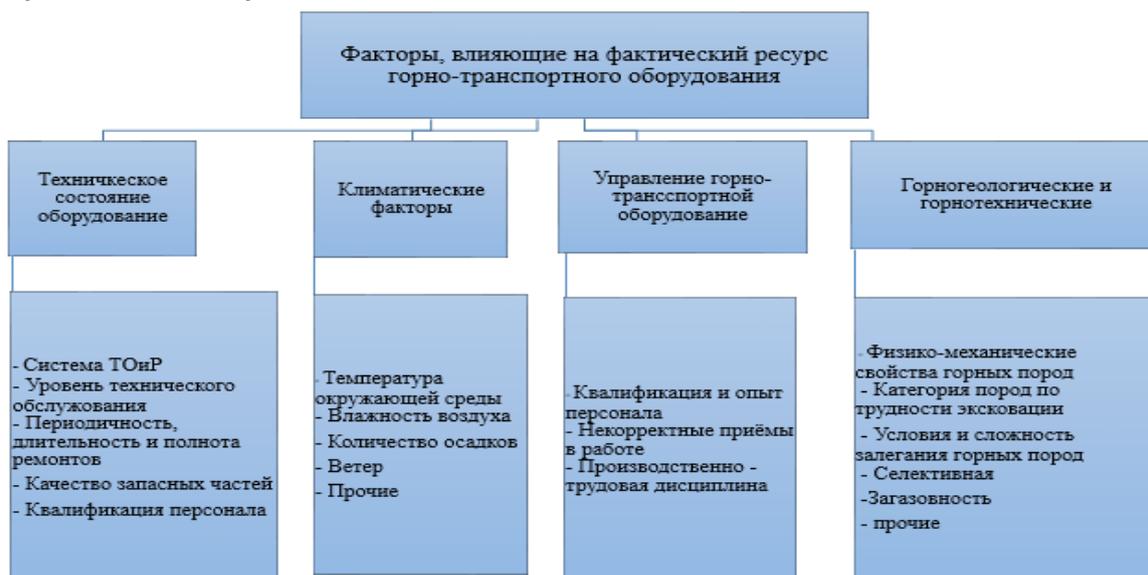
Указанные факторы в полной мере оказывают влияние на ресурс и работоспособность горного оборудования, изменение его технического состояния и эффективность эксплуатации.

Проведенный анализ работ показывает, что система техобслуживания по фактическому состоянию имеет целесообразную экономическую перспективу.

Вторая глава диссертации **«Теоретическое исследование факторов, влияющих на долговечность опорных узлов горного оборудования»** посвящена определению влияющих факторов на работоспособность горного оборудования.

В ходе исследования была рассчитана долговечность подшипников качения, где фактическая долговечность подшипников ниже выявленных.

Главная причина такого расхождения заключается в тяжелых эксплуатационных условиях.



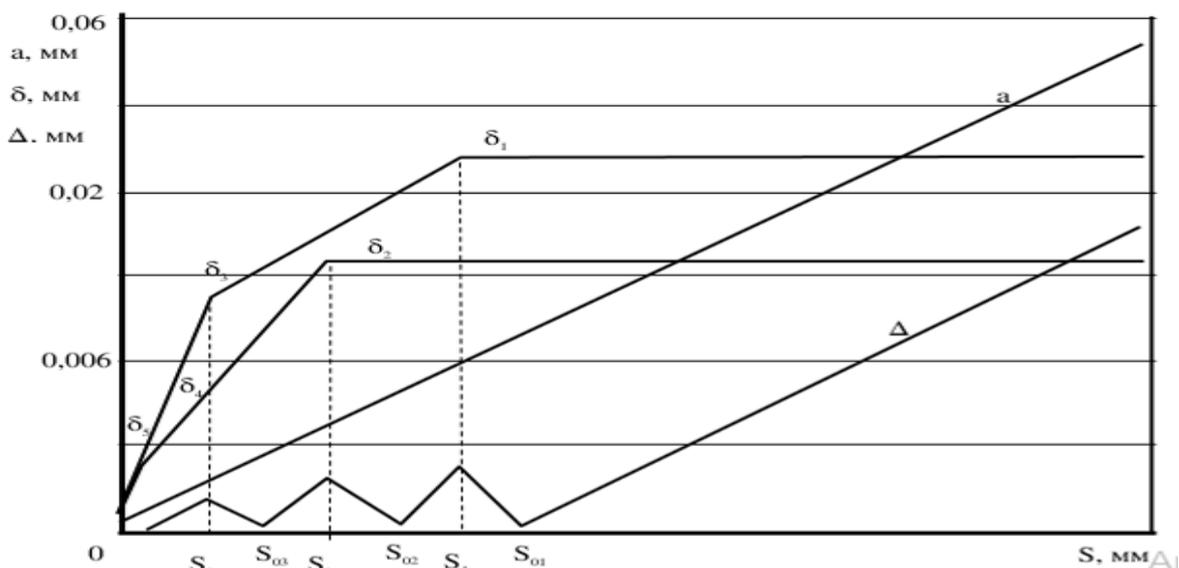
**Рис. 2. Факторы, влияющие на фактический ресурс горнотранспортного оборудования**

Увеличение суммарного значения рабочего зазора:

$$S_{\text{общ}} = S_n + S_c, \quad (1)$$

где  $S_n$  – радиальный зазор в подшипнике;  $S_c$  – радиальный зазор в сопряжении наружное кольцо – корпус, приводит к виброударному режиму работы подшипников опорных узлов горных машин.

Анализ факторов, показывает, что основными причинами отказов опорных узлов являются ударно-усталостные повреждения подшипников, а также недостаточная долговечность уплотнительных узлов, которые влияют на величину зазора. В процессе эксплуатации зазор в подшипнике увеличивается из-за изнашивания.



**Рис. 3. Зависимости  $a$ ,  $\delta$ ,  $\Delta$  – от величины радиального зазора  $S$**

Результаты расчета приведены на рис. 3 и табл. 1. Здесь величина  $a$  смещения вала при абсолютно жестких кольцах и телах качения,  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  величины упругих деформаций колец и тел качения,  $\Delta$  - размах колебания вала на частоте  $\omega_2$ .

На основании выполненных исследований рекомендуем: для посадки внутренних колец роликовых радиальных подшипников опорных узлов горных машин величину натяга выбрать такой, чтобы радиальный зазор в подшипнике после сборки составлял 25–40 мкм. При сборке подшипниковых узлов рекомендуется осуществлять, нагрев подшипников с помощью специальных индукторов–нагревателей. Это улучшает условия сборки и позволяет более точно обеспечивать величину натяга.

Таблица 1

Величины смещений колец подшипника

Расчетная величина	Номер подшипника			
	1	2	3	4
$a/S$	0,008	0,010	0,015	0,006
$\delta_1, \text{ мм}$	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
$\omega_2/\omega_0$	10,68	5,92	11,79	6,93

Исходя из того, что долговечность подшипниковых опор зависит от динамической нагрузки, которая с увеличением радиального зазора возрастает, построен график зависимости влияния частоты вращения и радиального зазора на долговечность подшипников (рис. 4).

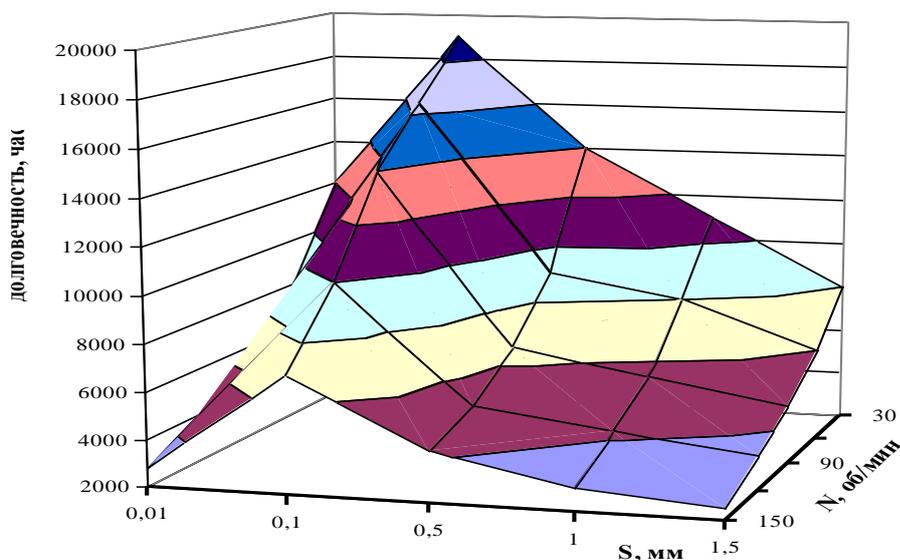
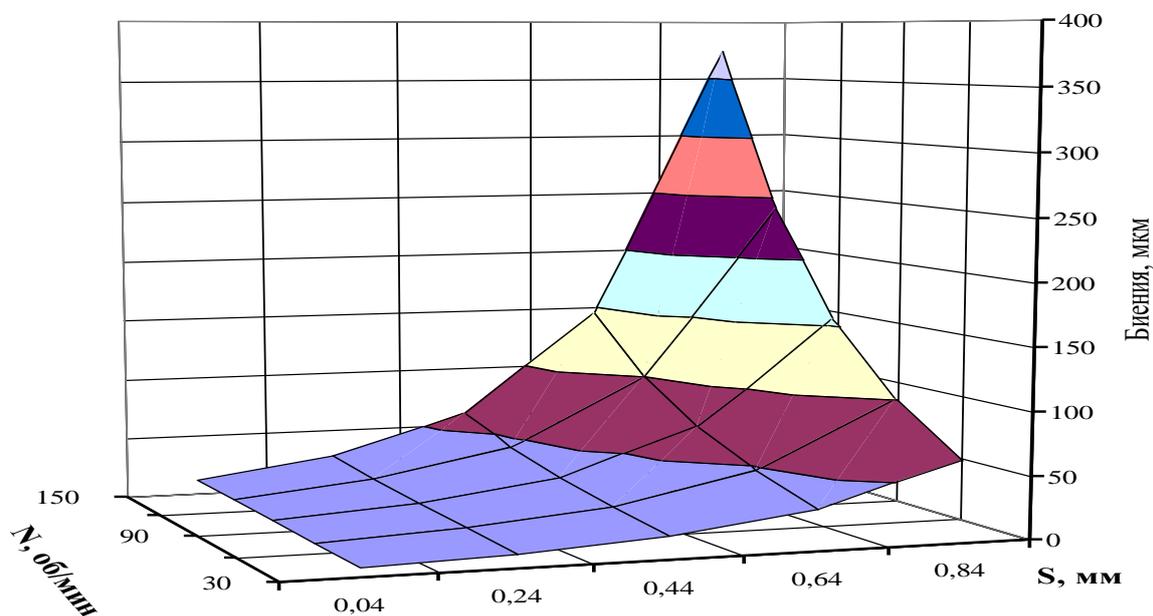


Рис. 4. Зависимости долговечности опорных узлов от частоты вращения и радиального зазора

Результаты расчетов, показывают (рис. 4), что долговечность опорных узлов горных машин, снижаются с ростом частоты вращения и радиального зазора, а также соотношение величин зазора зависит от биения т.е., чем больше зазор, тем больше радиальное биение (рис. 5).

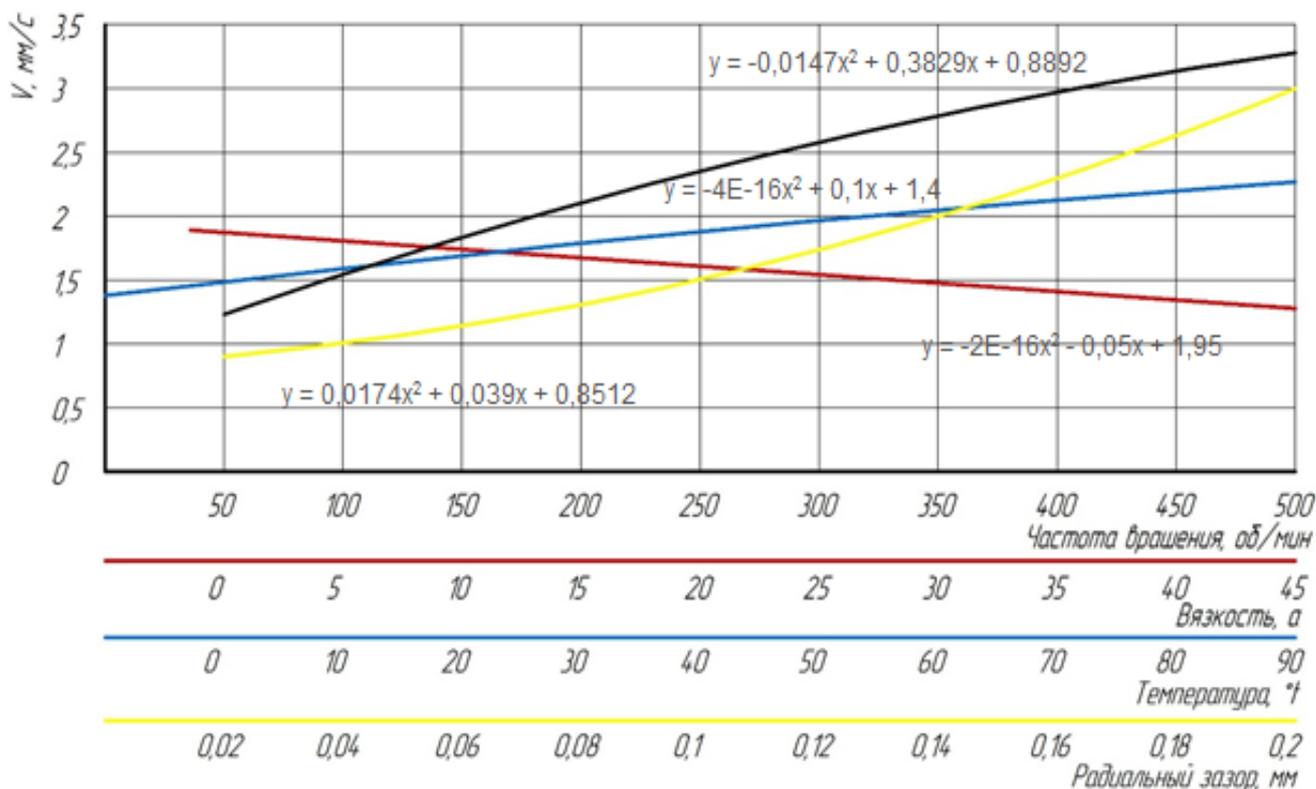


**Рис. 5. Зависимости биения подшипников качения от частоты вращения и радиального зазора**

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

В третьей главе диссертации **«Обоснование методов диагностики для оценки технического состояния горного оборудования»** обоснованы вибродиагностические методы контроля, используемые для оценки технического состояния горных машин. В ходе исследования получены данные виброакустического сигнала в опорных узлах при производственных условиях эксплуатации горных машин. Рассмотрено влияние на интенсивность вибраций в подшипниках от частоты вращения, температуры, вязкости и радиального зазора горного оборудования (рис. 6).

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. 7), которая включает датчик (пьезоакселерометр), анализирующее устройство (прибор «VIBXPERT II»), компьютер с пакетом программ.



**Рис. 6. Влияние на интенсивность вибраций в опорных узлах от частоты вращения, температуры, вязкости и радиального зазора горного оборудования**



**Рис. 7. Схема аппаратуры для вибромониторинга горного оборудования**

В табл. 2 приведены характерные частоты опорных узлов с учетом кинематических соотношений элементов подшипников.

По результатам эксперимента наблюдается удовлетворительная сходимость спектров собственных частот системы с данными, полученными аналитическими данными. На рис. 8 показаны зависимости интенсивности вибрации подшипниковых опор ротора от режимных параметров машины.

Анализ экспериментальных данных показывает, что интенсивность вибрации прямо зависит от частоты вращения ротора и режимов работы.

Таблица 2

## Расчет характерных частот подшипников горного оборудования

№ п/п	$f_{вр}$ , Гц	$f_{тк}$ , Гц	$f_c$ , Гц	$f_в$ , Гц	$f_н$ , Гц	$f_2$ , Гц
32314	50	120	20,46	354,5	245,5	501
66314	50	102,5	19,23	430,78	269,2	585

Примечание:  $f_{вр}$  – частота вращения вала;  $f_{тк}$  – частота вращения тел качения;  $f_c$  – частота вращения сепаратора;  $f_в$  – частота перекатывания тел качения по внутреннему кольцу;  $f_н$  – частота перекатывания тел качения по наружному кольцу;  $f_2$  – частота перекатывания вала через тела качения.

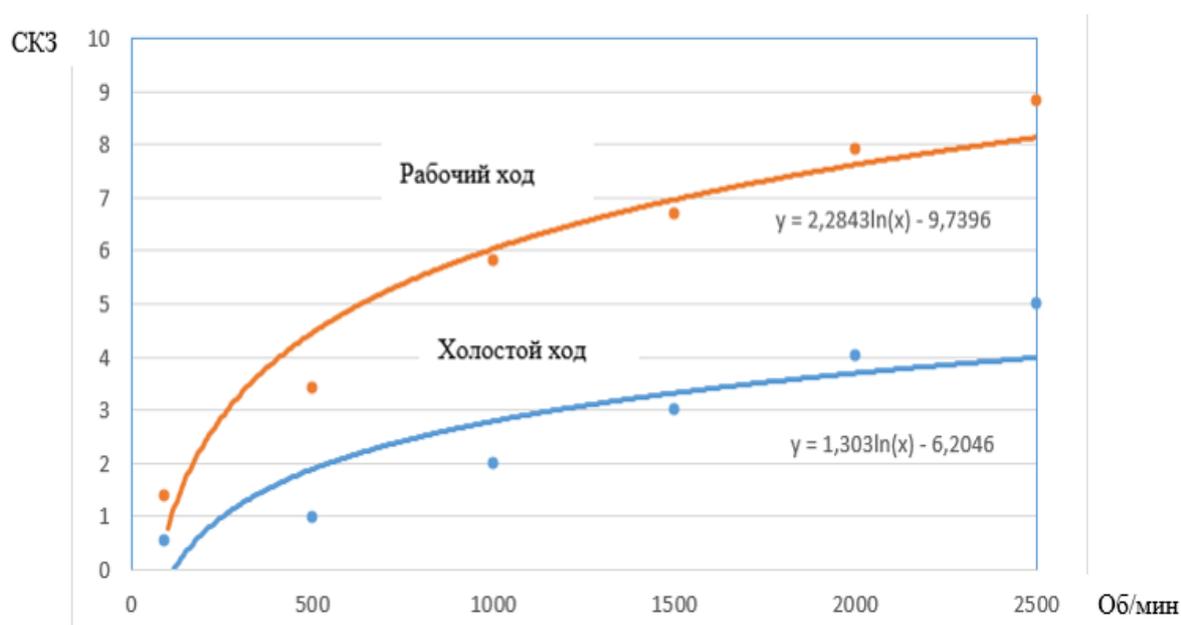


Рис. 8. Зависимость интенсивности вибрации ротора от частоты вращения

В результате модального анализа разработанной математической моделью получены, первые пять частот собственных колебаний шпиндельного узла, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты расчета частоты собственных колебаний ШУ

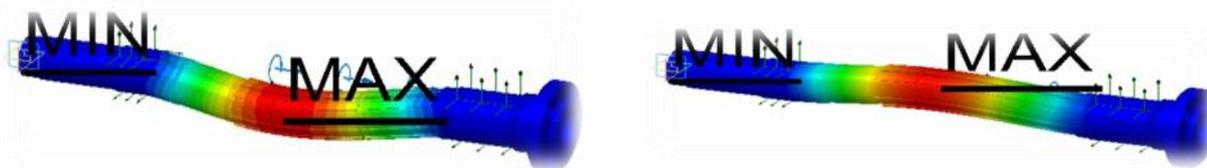
N	Частота [рад/сек]	Частота [Гц]
1	3211,326598	511,098502
2	3211,339217	511,10051
3	5291,750105	842,208187
4	6068,576064	965,843878
5	6073,137115	966,569792

На основе математической модели установлены зависимости амплитуды колебаний в подшипниковых опорах узла при различных частотах вращения шпинделя.

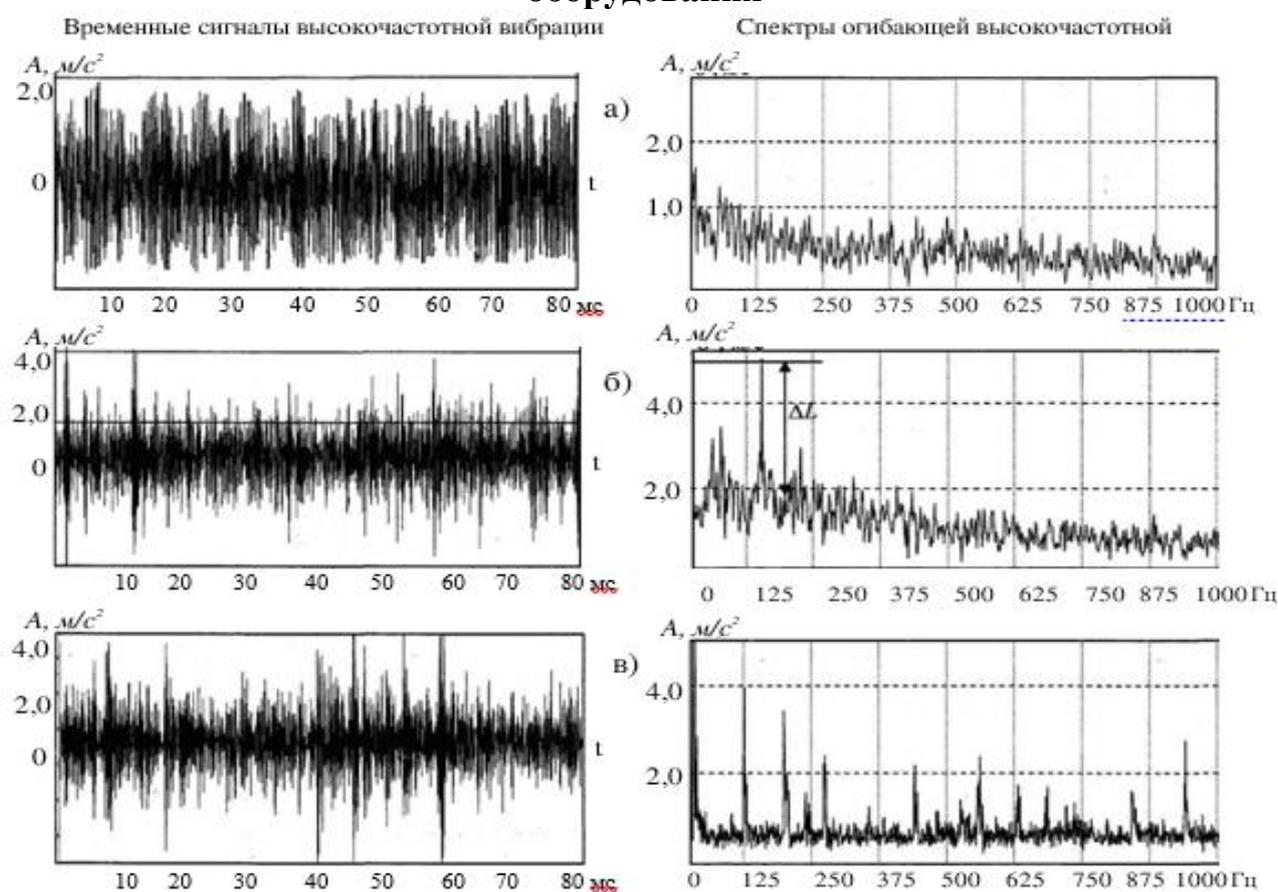
Учитывая то, что диапазон частот вращения шпинделя лежит в пределах от 40 до 1200 об/мин, максимальная частота возбуждения колебаний, рассчитанная для шпиндельного узла, будет достигать 42 Гц, а минимальная – 0,67 Гц. Таким образом, в данный диапазон не попадает ни одна частота собственного колебания т. е. колебания шпиндельного узла не будут влиять на точность режим работы.

1-я форма собственных колебаний

2-я форма собственных колебаний



**Рис. 9. Формы собственных колебаний шпиндельного узла горного оборудования**



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

**Рис. 10. Временной сигнал высокочастотной вибрации опорного узла горного оборудования и спектр ее огибающей**

В этой главе обоснован метод вибромониторинга подшипниковых опор горного оборудования. Система мониторинга включает в общем случае следующие подсистемы: подсистему сбора данных механических колебаний (информационная подсистема); логико-вычислительную подсистему (подсистема мониторинга, постоянно следящая за уровнем механических колебаний и управляющая контролем); исполнительную подсистему.

Процесс сбора данных заключается в следующем. По прошествии каждого часа замеряли фильтрованные значения величины пиков осевых вибраций и их среднеквадратических значений, эти измерения повторяли пять раз с интервалом в одну минуту. С такой же очередностью измеряли фильтрованные среднеквадратические значения виброскорости для радиальных колебаний. По каждым полученным пятнадцати значениям  $\hat{a}\tau$ ,  $\tilde{a}\tau$  и  $\tilde{v}\tau$  рассчитывались следующие величины:

$$K = \frac{\hat{a}\tau_{cp} \cdot \tilde{v}\tau_{cp}}{\tilde{a}\tau_{ocp} \cdot \tilde{v}\tau_{ocp}}, \quad (2)$$

где  $\hat{a}\tau_{cp}$  – текущее пиковое значение виброускорения осевого колебания;  $\tilde{v}\tau_{cp}$  – текущее среднее среднеквадратическое значение виброскорости радиальных колебаний;  $\tilde{a}\tau_{ocp}$  и  $\tilde{v}\tau_{ocp}$  – то же, но измеренное в начальный момент времени.

Значения  $\tilde{a}\tau_{ocp}$  и  $\tilde{v}\tau_{ocp}$  определялись по данным измерений первых 25 выборок.

Наряду с  $K$ , рассчитываем пик-фактор

$$P = \frac{\hat{a}\tau_{cp}}{\tilde{a}\tau_{cp}}. \quad (3)$$

Кроме того, для каждого пяти значений  $a\tau$  рассчитывалась величина коэффициента эксцесса  $\varepsilon_k$  плотности распределения

$$\varepsilon_k = \frac{\mu_4}{\delta_4} - 3, \quad (4)$$

где  $\mu_4$  – центральный момент четвертого порядка,

$$\mu_4 = M\{[x(t) - m(t)]^4\} = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m(t)]^4 \cdot p(x, t) dx. \quad (5)$$

Как известно, для нормального закона распределения эксцесс равен нулю, отличие от нуля  $\varepsilon_k$  указывает на отклонение распределения случайной величины  $\hat{a}\tau$  от нормального.

Параметр  $K$  обладает высокой чувствительностью, однако ввиду его резкого возрастания в момент возникновения фреттинга с его помощью затруднительно своевременно обнаружить опасный дефект подшипниковой опоры, что может привести к ее разрушению. Пик-фактор оказывается менее чувствительным к изменению состояния подшипниковой опоры параметром.

Описанная система мониторинга позволила полностью устранить опасность аварийного разрушения подшипниковой опоры карьерных горных машин.

В соответствии с вышеописанной методикой была разработана следующая методика вибромониторинга трансмиссии горных машин. Данная методика определяет циклическое напряжение в контактах трансмиссии, которая приводит к прогрессирующему выкрашиванию, сопровождающемуся непрерывным увеличением степени поражения активных поверхностей зубьев.

Момент наступления опасных повреждений характеризуется повышением виброактивности передачи (т.е. снижением динамического качества). С этой

целью в точках вблизи опор выходного вала поворотного редуктора с помощью портативного анализатора спектра с памятью снимались вибросигналы. После чего периодически (с интервалом времени 50 ч) следили за изменением гармоник, равных частоте зубозацепления  $f_{зуб}$  шестерни и двух ее гармоник  $2f_{зуб}$ ,  $3f_{зуб}$ . В нашем случае  $f_{зуб} = 1,2 * 32 = 38,4$  Гц;  $2-f_{зуб} = 76,8$  Гц;  $3-f_{зуб} = 115,2$  Гц.

Для выделения частот, связанных с локальными повреждениями зубчатого колеса, мы использовали двойную фильтрацию: до детектирования для выделения несущей частоты 115, 2 Гц (третья гармоника зубозацепления) и после детектирования - для выделения частоты попадания в зону контакта дефектов. Развитие этих дефектов приводило к росту числа выбросов при увеличении амплитуд и, как следствие, - к увеличению глубины амплитудной модуляции, росту числа комбинационных частот и перераспределению энергии между ними. Поэтому оценка состояния зубчатой передачи последней ступени редуктора экскаватора проводилась по восьми гармоникам: 38,4; 76,8; 115,2; 37,2; 36,7; 32,45; 26,45 и 11,5 Гц. Обнаружено, что ухудшение качества смазки зубчатых передач увеличивает шумовую составляющую спектра, повышаются все указанные выше характерные гармоники и наблюдается заметный рост субгармонических колебаний на частоте  $0,57 * f_{зуб} = 19,2$  Гц.

Четвертая глава диссертации **«Разработка технологии и методики для контроля технического состояния горного оборудования»** посвящена разработке технологии вибромониторинга путём экспериментальных исследований и обоснован методом прогнозирования его состояния на основании измерения вибропараметров.

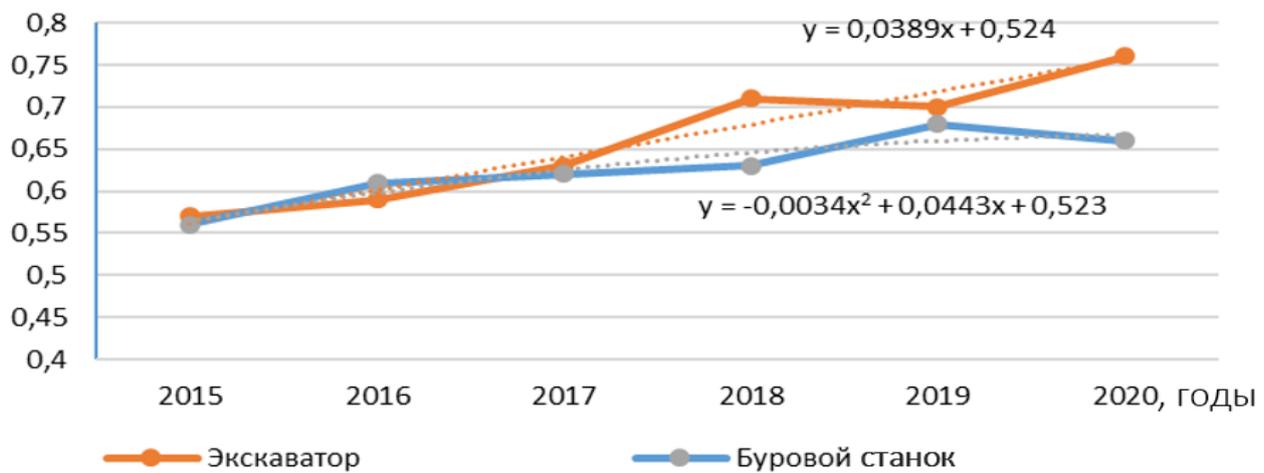
Анализ отказов и наработки при работе горного оборудования на карьере Мурунтау позволил установить причины возникновения простоев горного оборудования и их частоту, найти резервы снижения затрат на эксплуатацию оборудования. Соотношение причин возникновения простоев горного оборудования, что одной из главных причин выхода из строя горного оборудования, являются отказы опорных узлов. Установлено, что предотвращение неисправностей, сокращении времени на их обнаружение и увеличении срока службы опорных узлов являются альтернативным решением повышения производительности и снижения затрат горного оборудования.

На рис. 11 и 12 приведено изменение годового показателя коэффициента использования (КИО) и наработки горного оборудования в относительных единицах в зависимости от срока службы.

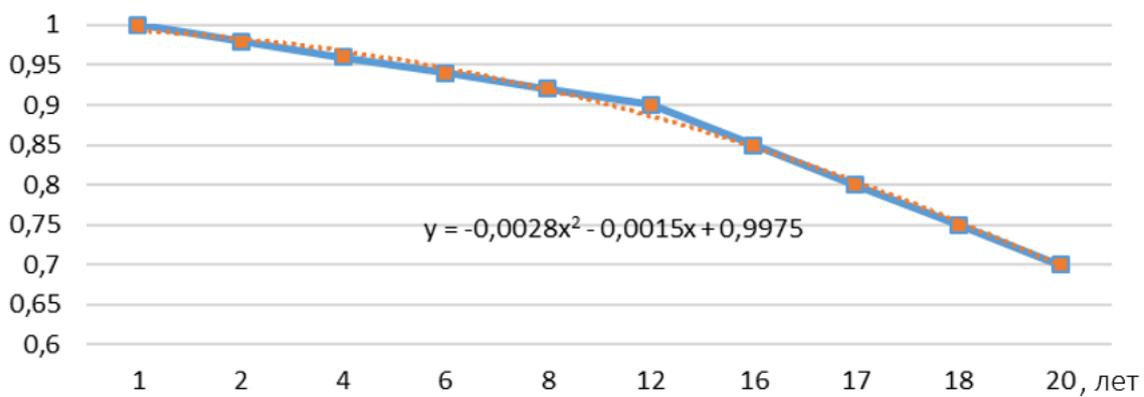
Согласно методике оценки качества, нам следует найти удельные единичные показатели качества:

$$a_{ij} = \frac{P_{ij}}{\lambda_i}, \quad i = n, \quad j = m, \quad (6)$$

где  $P_{ij}$  – измеренный параметр вибраций;  $i$  – порядковый номер горных машин;  $j$  – порядковый номер вибропараметра;  $\lambda_i$  – функциональный критерий агрегата.



**Рис. 11. Изменение годового показателя коэффициента использования (КИО) горного оборудования**



**Рис. 12. Изменение годовой наработки горного оборудования относительных единицах в зависимости от срока службы**

Вибродиагностический показатель уровня технического состояния определяется по формуле:

$$K_i = \left\{ m \sum_{j=1}^m \left[ k_{ij} \left( \sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \cdot \left[ (m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij} \right]^{-1}. \quad (7)$$

Описанная методика оценки технического состояния позволяет ее применить на входном контроле и приемо-сдаточных испытаниях выпускаемой продукции на горнодобывающих предприятиях. Данная методика может быть применена и на стадии эксплуатации для слежения за изменением динамического качества машины со временем. В этом случае, когда наблюдение за состоянием машины осуществляется по измерению интенсивности вибраций всего в нескольких точках и допуск на параметры вибраций известен, то можно в данной ситуации воспользоваться следующей методикой.

Уровень динамического качества по единичному вибродиагностическому показателю (параметру виброскорости, измеренному в одной точке) равен

$$k_{ij} = 1 - \left( \frac{P_{ij} - P_{ijnред}}{I \cdot T_i - 2 \cdot \Delta_{ij}} \right)^2 \quad (8)$$

где  $P_{ijpred}$  – погрешность определения параметров вибраций;  $I \cdot T_i$  – допуск на параметр вибраций;  $P_{ij}$  – значение измеренного параметра.

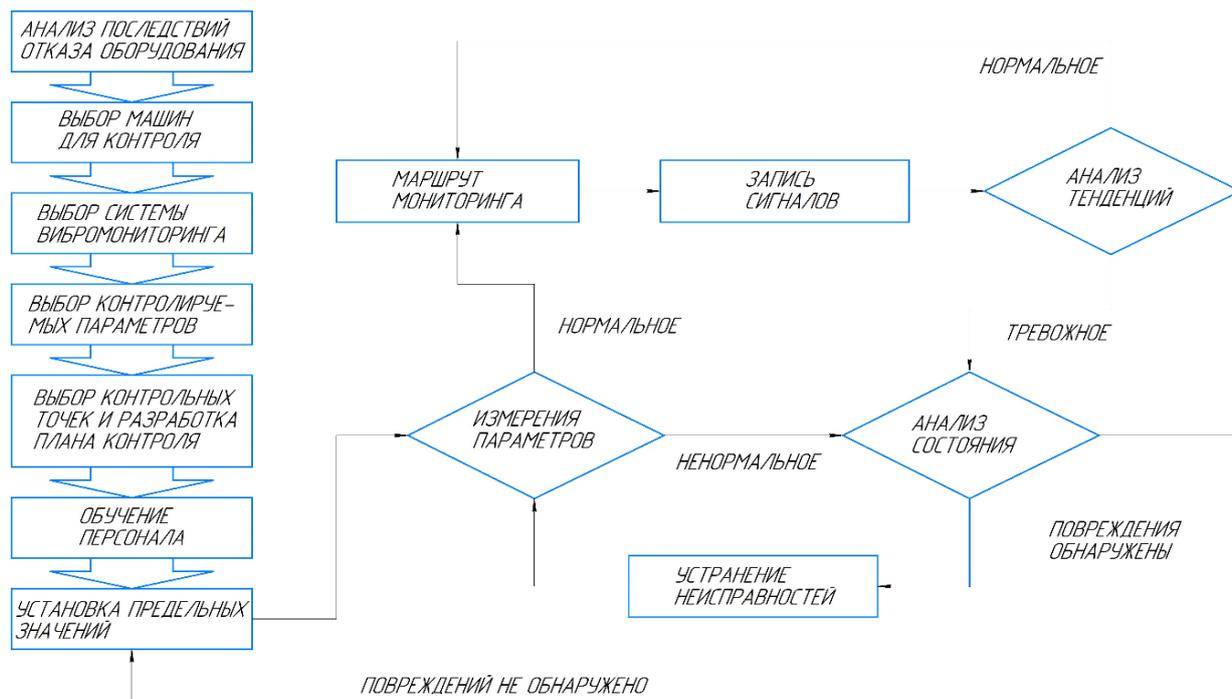
Измерив параметры вибраций в нескольких точках машины и рассчитав для них  $k_{ij}$  по формуле (8), можно найти уровень динамического качества по обобщенному показателю:

$$K_i = (\prod k_{ij} \cdot Y_{ij})^{1/h}, \quad (9)$$

где  $h$  – количество точек измерений параметров вибраций.

Методика оценки динамического качества машины по комплексному вибродиагностическому показателю позволяет осуществлять поиск причин повышенных вибраций, выделять их источники. Для этого необходимо проанализировать вклад каждого единичного вибродиагностического показателя в комплексный и определить его коэффициент участия.

На рис. 13 приведен алгоритм технологии вибромониторинга горных машин, в котором приводится полный этап вибродиагностики начиная с анализа последствий отказа оборудования до обнаружения зарождающихся дефектов.



**Рис. 13. Алгоритм технологии вибромониторинга горных машин**

Наблюдение за изменением уровня качества индивидуальной горной машины в процессе эксплуатации позволяет судить о возможных состояниях объекта в будущем, т.е., другими словами, прогнозировать ресурс машины. Это имеет чрезвычайно большое практическое значение. Система технического обслуживания, основанная на прогнозировании индивидуального ресурса, — это путь к сокращению огромных затрат и потерь, связанных с поддержанием рабочего состояния техники, повышением эффективности ее использования.

Прогнозирование технического состояния горных машин на основе регистрации и анализа вибросигналов базируется на анализе изменения

параметров вибраций исследуемого объекта во времени с учетом накопленной информации о состоянии объекта в предшествующие моменты времени.

Временной ряд, представляющий собой результаты измерений параметров вибраций в общем случае, можно записать в виде двух составляющих - детерминированной и случайной:

$$Y(t) = f(t) + \varepsilon(t), \quad (10)$$

где  $Y(t)$  – изменяющийся в процессе эксплуатации параметр вибраций (например, СКЗ виброскорости.);  $f(t)$  – детерминированная часть временного ряда;  $\varepsilon(t)$  – случайная составляющая временного ряда.

Процесс изменения уровня динамического качества, связанный с развитием необратимых процессов в сопряжениях горной техники, можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$\varphi(t) = \frac{dK}{dt} \quad (11)$$

Уравнение (11) характеризует скорость изменения уровня динамического качества. Конкретный вид функции  $\varphi(t)$  можно установить на основании экспериментальных данных. Однако априорно исходя из рассмотренной физической сущности этих процессов, можно считать  $\varphi(t)$  непрерывной, монотонно убывающей функцией времени, поскольку все отмеченные выше процессы ведут к увеличению энтропии системы.

В первом случае скорость изменения уровня динамического качества равна

$$\varphi(t) = -a_1; \quad (12)$$

во втором

$$\varphi(t) = -m \cdot a_1 \cdot t^{m-1}; \quad (13)$$

в третьем

$$\varphi(t) = -a_0 \cdot a_1 \cdot e^{-a_1 t}. \quad (14)$$

В последнем случае удобно пользоваться удельной скоростью уменьшения уровня динамического качества:

$$\varphi(t) = \frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dt} = -a_1. \quad (15)$$

Коэффициенты моделей прогнозирования (12), (13) и (14) находят по общим правилам, пользуясь методом наименьших квадратов. Зная коэффициенты модели, легко рассчитать прогнозное значение времени работы машины до наступления ее предельного состояния, характеризуемого допустимой величиной уровня динамического качества.

Величина допустимого уровня динамического качества машины может быть рассчитана по формуле (11) подстановкой в нее допустимых значений параметров вибраций. Пусть при этом величина оказалась равной 0,3. Это означает, что, когда вследствие износа и других факторов величина вибраций возрастает настолько, что уровень динамического качества машины составит 30% от исходного состояния.

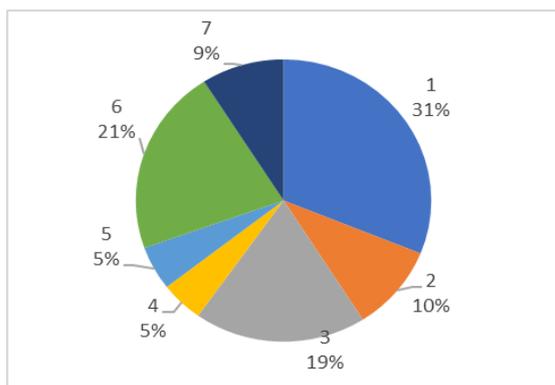
В пятой главе диссертации «Технико-экономическая оценка разработанных методов и рекомендаций по повышению долговечности карьерного горнотранспортного оборудования» приведены рекомендации от планово-предупредительного ремонта по фактическому состоянию горного оборудования на предприятиях. Для перехода обслуживания и ремонта по фактическому состоянию на предприятиях, необходимо иметь специальную группу – отдел технической диагностики (ОТД). Для реализации вибромониторинга и планирования технического обслуживания разработано математическое программное обеспечение.

Программное обеспечение, позволяет производить по заданному алгоритму обработку результатов измерений, хранение данных в структурированной форме, а также служит для документирования полученных данных и компактном отображении их на мониторе компьютера.

В результате выполненных исследований, разработанные методы вибромониторинга горного оборудования и совершенствование на этой основе системы технического обслуживания и ремонта состоят из:

- методики проведения вибромониторинга технического состояния опорных узлов горного оборудования в рабочем состоянии;
- методики контроля качества монтажа и ремонта опорных узлов горного оборудования.

Проведенное исследование показывает, что суммарное время простоев карьерного горного оборудования из-за отказов довольно велико и достигает 35-40% времени эффективной работы. Приведенные на диаграмме (рис. 14) данные свидетельствуют, что время простоев карьерного горного оборудования из-за отказов редуктора, двигателя, опорного узла, механизм подачи и ходового оборудования в совокупности составляет 60-70% от общего числа годовых потерь.



1 – редуктор; 2 – механизм подачи;  
3 – опорный узел; 4 – гирооборудование и прочие отказы; 5 – компрессор;  
6 – двигатель; 7 – ходовое оборудование.  
**Рис. 14. Диаграмма соотношения причин возникновения простоев карьерного механического оборудования на карьере Мурунтау**

Сравнение методов оценки технического состояния и экономическая целесообразность применения вибромониторинга при эксплуатации опорных узлов горнотранспортного оборудования приведены в табл. 4 и 5.

На рис. 15 приведена зависимость годовой наработки от срока эксплуатации опорных узлов горного оборудования.

Таблица 4

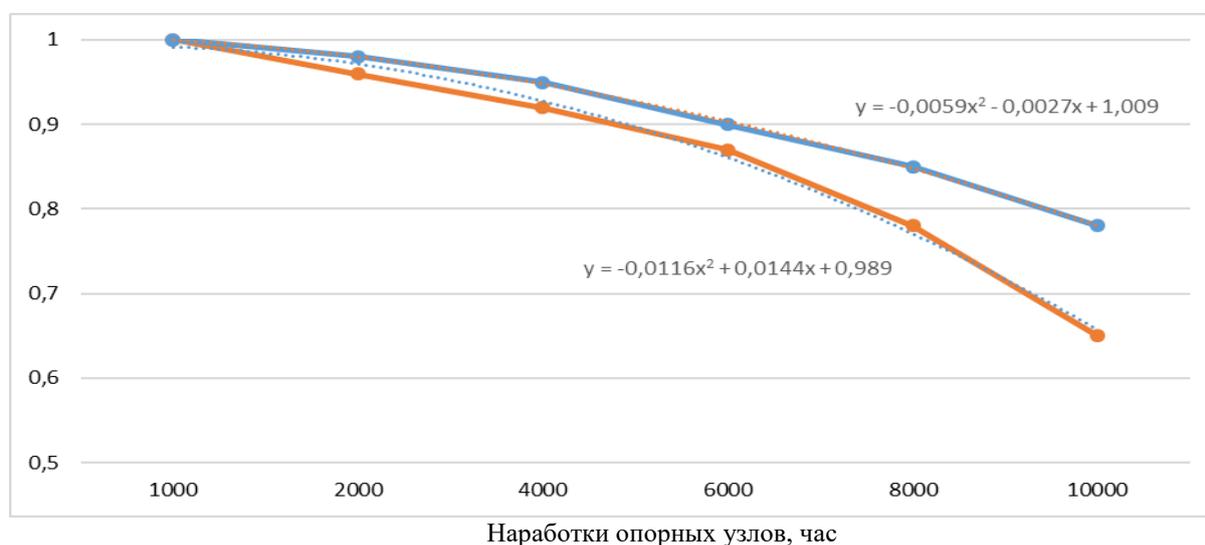
Сравнение методов оценки технического состояния опорных узлов  
горнотранспортного оборудования

Показатели	Варианты методов оценки технического состояния		
	Базовый	Разработанный	Разница
Дни наработки, дней в год	252,6	272,6	20
Наработка опорного узла в течение одного срока службы, ч	7452	8842	1410
Коэффициент готовности горнотранспортного оборудования	0,71-0,91	0,74-0,94	3%

Таблица 5

Экономическая целесообразность применения вибромониторинга при  
эксплуатации опорных узлов горного оборудования

Показатели	На одну опорного узла	Для общего количества по узлам
Годовая экономия эксплуатационных издержек – всего, сум.	1991000	298 650 000
в т.ч. от увеличения срока службы:		
- подшипников	616000	92 400 000
- шпинделя	1375000	206 250 000



— наработка горного оборудования по разработанному методу;  
— наработка горного оборудования по базовому методу

**Рис. 15. Зависимость годовой наработки от срока эксплуатации  
опорных узлов горного оборудования**

Коэффициент готовности опорных узлов горного оборудования по базовому методу составил  $K=0,71\div 0,91$ , а в разработанном методе –  $0,74\div 0,94$  (коэффициент готовности опорного узла увеличен на 3%).

Таким образом, в результате внедрения разработанных методик на карьере Мурунтау снижены затраты на техническое обслуживание и ремонт, запасных частей, повышен коэффициент использования на 3% и ресурс горнотранспортного оборудования на 12% за счет уменьшения времени простоев горного оборудования из-за плановых и неплановых ремонтов и получен экономический эффект в размере 29008 долл. США в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора технических наук (DSc) на тему «Повышение надежности и разработка ресурсосберегающих способов технического обслуживания горнотранспортного оборудования на карьерах» сделаны следующие заключения, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. Отказы при эксплуатации опорных узлов горного оборудования на карьере Мурунтау составляют 30% от общих потерь, а также фактические показатели работы их значительно ниже планируемых в результате больших простоев из-за низкого уровня системы техобслуживания и ремонта.

2. Исследованиями доказано, что простои карьерных горных машин достигают 50% от общего фонда рабочего времени в плановых и неплановых ремонтах, это обусловлено низким показателем уровня надежности и завышенными нормативными сроками службы оборудования.

3. Установлены зависимости долговечности подшипниковых опор карьерных горных машин от величины радиального зазора и частоты вращения, если величина зазора в подшипниках достигает  $S > 0,45$  мм, то в этом случае возникает интенсивное ударно-усталостное разрушение элементов подшипников. Величина предельного значения радиального зазора имеет границы 0,065 – 0,085 мм.

4. Установлено, что различные типы отказов оборудования имеют детерминированный характер по месту локализации аварий, а также возникающие и развивающиеся дефекты в процессе эксплуатации, которые наиболее эффективно контролировать в рекомендованном частотном диапазоне.

5. Разработан метод оценки динамического качества горных машин вибрационному показателю карьерных горных машин, определяемому посредством измерения и анализа спектральных характеристик вибросигналов.

6. Разработан комплекс методов прогнозирования сроков наступления отказов в процессе эксплуатации горного оборудования с развивающимися дефектами различного вида. Получены вибрационные характеристики типовых дефектов.

7. Апробация методики показала, что ее применение позволяет увеличить точность прогноза не менее чем на 10–30% по сравнению с традиционными способами прогноза.

8. Предложены методы диагностирования технического состояния подшипниковых опор, гидравлических систем и трансмиссии карьерных

горных машин. На основе исследований сложных механических систем разработана методика анализа спектральных данных вибродиагностики, позволяющая производить распознавание развивающихся дефектов горнотранспортного оборудования, не доступных традиционным методам.

9. В результате внедрения разработанных методик на карьере Мурунтау снижены затраты на техническое обслуживание и ремонт, запасных частей, повышен коэффициент использования на 3% и ресурс горнотранспортного оборудования на 12% за счет уменьшения времени простоев горного оборудования из-за плановых и неплановых ремонтов и получен экономический эффект в размере 29008 долл. США в год.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL BASED ON SCIENTIFIC COUNCIL ON  
AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc.17/30.12.2019.T.06.01 AT THE  
NAVOI STATE MINING INSTITUTE**

---

**NAVOI BRANCH OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**EGAMBERDIEV ILKHOM PULATOVICH**

**IMPROVING RELIABILITY AND DEVELOPING RESOURCE-SAVING  
METHODS FOR MAINTENANCE OF MINING AND TRANSPORT  
EQUIPMENT AT QUARRIES**

**04.00.16 – Mining machines**

**DISSERTATION ABSTRACT  
FOR THE DOCTOR OF SCIENCES (DSc) OF TECHNICAL SCIENCES**

**Navoi - 2020**

**The theme of dissertation doctor of sciences (DSc) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2020.4.DSc/T240.**

The dissertation has been carried out at the Navoi branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume) on the webpage of the Scientific Council ([www.ndki.uz](http://www.ndki.uz)) and on the website of «ZiyoNet» information-educational portal ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

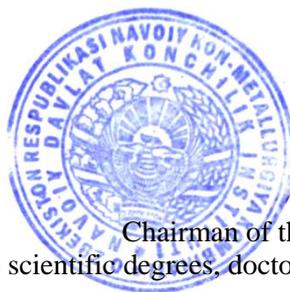
<b>Scientific Consultant:</b>	<b>Atakulov Lazizjon Nematovic</b> Doctor of Technical Sciences
<b>Official opponents:</b>	<b>Galkin Vladimir Ivanovich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor
	<b>Kolga Anatoliy Dmitrievich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor
	<b>Toshov Javokhir Burievich</b> Doctor of Technical Sciences, Professor
<b>Leading organization:</b>	<b>JSC «Almalyk Mining and Metallurgical combine»</b>

The defence of the dissertation will be held on 14 December 2020 at 15<sup>00</sup> at the meeting of the single Scientific Council based on Scientific Council of scientific degrees DSc.17/30.12.2019.T.06.01 at the Navoi State Mining institute. Address: 210100, Navoi, Galaba Shokh street, 127. Conference Hall of the Navoi State Mining Institute. Phone: 0 (436) 223-23-32; fax: 0 (436) 223-00-55; e-mail: [info@ndki.uz](mailto:info@ndki.uz), [nsmi@gmail.com](mailto:nsmi@gmail.com).

The doctoral dissertation has been registered at the Information Resource Centre of the Navoi State Mining Institute under No 65. Address: 210100, Navoi, Galaba Shokh street, 127. Phone: 0 (436) 223-56-90; fax: 0 (436) 223-00-55.

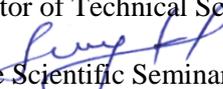
The abstract of the dissertation is distributed on 30 November 2020.

(Protocol at the register No 27 dated 30 November 2020).



 **K.S. Sanakulov**  
Chairman of the Scientific Council for awarding  
the scientific degrees, doctor of Technical Sciences, professor

 **Sh.Sh. Zairov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council for  
awarding of scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, professor

 **I.T. Mislubayev**  
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific  
Council for the award of academic degrees, Doctor of Technical Sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

**The purpose of the research** is to improve the efficiency of mining machines by developing resource-saving methods for maintenance and repair of mining equipment in quarries, which allows to increase the reliability and efficiency of their use.

**The object of research** is mining equipment that is widely used in the Muruntau quarries.

**Subject of research:** methods and methods for monitoring changes in the technical condition of mining equipment.

**Scientific novelty of research** consists in the following:

the regularities of changes in the radial clearance of bearings of support units of mining equipment depending on the durability and the influence of their values on the vibration parameters are established;

the developed model and method of estimation of technical condition of mining machinery according to the vibration parameters, the result justified the border region health support units' career mining machines from the axial preload and radial clearance, including the calculated residual resource of reference nodes mining equipment;

a method for analyzing vibration diagnostics data has been developed that provides recognition of developing defects in mining equipment that are not available to traditional methods;

a system of vibration monitoring of open-pit mining machines has been developed, which allows for further processing of the spectra, which is based on the analysis of the spectrum of vibration signal parameters using special hardware and software;

a method has been developed for evaluating dynamic quality based on the generalized vibration indicator of quarry mining machines, which is determined by measuring and analyzing the spectral characteristics of vibration signals, which makes it possible to predict their remaining life;

a set of methods for optimal planning of the terms of repairs of quarry mining and transport equipment, based on the analysis of vibration diagnostics, has been developed, which allows minimizing the company's losses for maintenance.

**The practical results of the study are as follows:**

methods for quality control of installation and repair of mining equipment have been developed;

a method for rapid detection of a bearing Assembly sealing failure due to wear of sealing elements has been developed;

a method for conducting vibration monitoring of the technical condition of bearing supports of mining equipment has been developed;

recommendations on the organization and technology of vibration monitoring for improving the system of maintenance and repair of mining equipment have been developed.

**Scientific and practical significance of the research results.**

The scientific significance of the research is determined by theoretical

generalizations and the relationships of the technical condition of the bearings, elements of mining machines and spectral features based on the analysis of high-frequency component of the vibration signal to determine the type of defects and to predict their development.

The practical significance of the research results lies in the development of a method for vibration monitoring of the technical condition of elements of support units of mining equipment, which allows determining and predicting the value of the remaining life and quality of bearing units at specified times.

**Implementation of research results.** Developed methodology and technical proposals introduced at the Muruntau mine Central GP «Navoi mining and metallurgical plant» (reference GP «Navoi mining and metallurgical plant» No. 02-06-07/2062 dated February 17, 2020). Implementation of the developed methodologies and technical proposals allows to increase the resource quarry mining equipment by 12-14%, to ensure its reliability and fail-safety;

the developed method of measurements to conduct vibrational control of technical condition of key nodes mining equipment embedded GP «Navoi mining and metallurgical plant» (reference GP «Navoi mining and metallurgical plant» No. 02-06-07/10873 dated October 16, 2020). The result of 12-15% smooth and trouble-free time equipment.

**Structure and scope of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and appendices. The volume of the dissertation is 192 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST of PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Эгамбердиев И.П. Методы оценки технического состояния буровых станков. – Монография. – Навои, Изд. «Навои», 2019. – 176 с.
2. Эгамбердиев И.П. Повышение работоспособности опорных узлов горного оборудования. – Монография. – Навои, Изд. «Навои», 2020. – 118 с.
3. Эгамбердиев И.П. Тошов Б.Р., Тешаева И.Ю. Расчет динамических характеристик опорных узлов буровых станков // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №4. – С. 61-63.
4. Эгамбердиев И.П. Влияние динамики процесса бурения на долговечность опорных узлов буровых станков // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №1. – С. 121-123 (05.00.00; №7).
5. Эгамбердиев И.П. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта горного оборудования, исходя из их технического состояния // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №2. – С. 97-99 (05.00.00; №7).
6. Эгамбердиев И.П. Методика расчета динамических характеристик опорных узлов бурового оборудования // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №4. – С. 68-71 (05.00.00; №7).
7. Эгамбердиев И.П. Формирование виброакустического сигнала в подшипниковых опорах буровых станков // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2012. – №3. – С.71-73 (05.00.00; №7).
8. Эгамбердиев И.П., Муминов Р.О., Бойназаров Г.Г. Исследования динамических параметров вращательно-подающего механизма бурового станка // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2013. – №1. – С. 89-91 (05.00.00; №7).
9. Эгамбердиев И.П. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – National Institute of Science Communication and Information Resources– India, 2018. –Vol. 5. – Issue 5. – pp. 5958-5962 (05.00.00; №8).
10. Эгамбердиев И.П., Орипов З.Б. Влияние эксплуатационных параметров на долговечность опорных узлов горного оборудования // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2019. – №3. – С. 86-88 (05.00.00; №7).
11. 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.
12. Эгамбердиев И.П. Исследование интенсивности виброакустического сигнала в опорных узлах горного оборудования // Фан ва технологиялар тараққиёти. – Бухоро, 2019. – №4. – С. 18-21 (05.00.00; №24).
13. Эгамбердиев И.П., Орипов З.Б. Эксплуатация жараёнларининг кон ускуналари таянч узеллари яроқлилигига таъсири// «Фан ва технологиялар

тараққиёти». – Бухоро, 2019. – №4. – С. 22-26 (05.00.00; №24).

14. Эгамбердиев И.П. Влияние эксплуатационных параметров на долговечность подшипниковых узлов горного оборудования // Инновацион технологиялар. – Қарши, 2019. – №3. – С. 13-17 (05.00.00; №38).

15. Эгамбердиев И.П., Мирзаев А.У., Зоиров Ш.Ш., Яхшиев Ш.Н. Разработка метода мониторинга технического состояния опорных узлов горного оборудования // Илм-фан ва инновацион ривожланиш. – Тошкент, 2020. – №1. – С. 114-119.

16. Egamberdiev I.P., Atakulov L., Muminov R.O., Ashurov Kh.Kh. Research of Vibration Processes of Bearing Units of Mining Equipment // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. – Volume 9, No.5, September - October 2020. – pp.7789-7793 (Scopus Base, DOI: 10.30534/ijatcse/2020/125952020).

## **II бўлим (II часть; part II)**

17. Эгамбердиев И.П., Абдуазизов Н.А., Махмудов А.М. Вибрационные методы исследования технического состояния буровых станков // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2009. – №2. – С.82-84.

18. Эгамбердиев И.П., Атауллаев О.Х., Атауллаев А.О. Оценка качества роликов мощных ленточных конвейеров // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2009. – №2. – С. 91-92.

19. Эгамбердиев И.П., Абдуазизов Н.А., Худойбердиев Ш.М. Прогнозирование технического состояния подшипниковых опор буровых станков по спектральным характеристикам // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2010. – №3. – С. 110-112.

20. Эгамбердиев И.П., Рузибаев А.Н., Туйбойов О.В., Жумаев А.А. Методика проведения производственных испытаний зубьев ковша экскаватора на карьере «МУРУНТАУ» // «Новый университет», Россия, Йошкар-ола, 2015. – №43. – С. 22-25.

21. Эгамбердиев И.П., Манглиева Ж.Х., Аъзамова Н.Б. Кон ускуналари техник ҳолатини прогнозлаш // Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий руйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида. DGU 2017 0077. 06.02.2017й.

22. Эгамбердиев И.П., Манглиева Ж.Х., Зоирова Л.Х., Хайдаров Ш.Б. Бурғулаш жараёнида шарошкали дастгоҳни бошқаришни оптималлаштириш // Электрон ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий руйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида. DGU 2017 0078. 06.02.2017й.

23. Эгамбердиев И.П. Распределение надежности буровых станков // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». – Навои, 2011. – С. 124-125.

24. Эгамбердиев И.П., Атакулов Л.Н. Мусурманов Э.Ш. Тешаева И.Ю. Исследование долговечности буровых станков в эксплуатации // Материалы

Республиканской научно-технической конференции на тему: «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». – Навои, 2011. – С. 129.

25. Эгамбердиев И.П. Природа возникновения вибраций на буровых станках // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». – Навои, 2011. – С. 132-133.

26. Эгамбердиев И.П., Мусурманов Э.Ш Тешаева И.Ю., Халимова Н.Т. Причины преждевременных отказов подшипников качения в узлах машин и механизмов и меры по их устранению // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». – Навои, 2011. – С. 171-172.

27. Эгамбердиев И.П., Атауллаев О.Х., Курбанов Ф. Выявление дефектов подшипников качения с помощью анализа вибрации // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости республики Узбекистан». – Навои, 2011. – С. 172-173.

28. Эгамбердиев И.П., Атакулов Л.Н., Худайбердиев Ш.М. Анализ конструктивных особенностей породоразрушающих инструментов // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». – Навои, 2012. – С. 165.

29. Эгамбердиев И.П., Джураев Р.У., Тешаева И. Ю. Исследование процессов, приводящих к преждевременному выходу из строя деталей буровых станков // Материалы Республиканской научно-технической конференции на тему: «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». – Навои, 2012. – С. 198-199.

30. Эгамбердиев И.П., Атауллаев О.Х., Полвонов Н.О. Обоснование целесообразности внедрения системы вибромониторинга горных машин // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 2013. – С. 201-202.

31. Эгамбердиев И.П., Атакулов Л.Н., Худайбердиев Ш.М., Турдиев С., Кахаров О. Анализ проблем разработки математических моделей при бурении // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 2013. – С. 202-203.

32. Эгамбердиев И.П., Муминов Р.О., Хайдаров Ш.Б., Рахмонова Г.Х., Бойназаров Г.Г. Методика расчета динамических характеристик опорных узлов // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 2013. – С. 232-233.

33. Эгамбердиев И.П., Муминов Р.О., Абдуазизов Н.А., Хайдаров Ш.Б.,

Бойназаров Г.Г. Кинематические особенности процесса бурения горных пород шарошечными долотами // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 2013. – С. 238-239.

34. Эгамбердиев И.П., Атакулов Л.Н., Худайбердиев Ш.М. Анализ возможности построения моделей отработки породоразрушающих инструментов // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». – Навои, 2013. – С. 258-259.

35. Эгамбердиев И.П., Абдуазизов Н.А., Зоирова Л.Х., Санакулов Р. Спектральный анализ колебательных процессов опорных узлов буровых машин // VIII Международная научно-техническая конференция на тему: «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 19-21 ноября 2015 г. – С. 200.

36. Эгамбердиев И.П., Манглиева Ж.Х., Аъзамова Н.Б., Хўжанов Б.К. Конвейер транспорти кўшма конструкциялари динамикаси // VIII Международная научно-техническая конференция на тему: «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». – Навои, 19-21 ноября 2015 г. – С. 213.

37. Эгамбердиев И.П., Манглиева Ж.Х. Оценка технического состояния конвейерного оборудования // Республиканская научно-техническая конференция на тему: «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои, 15-16 ноября 2016 г. – С. 206.

38. 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.

39. 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.

40. Эгамбердиев И.П., Манглиева Ж.Х., Аъзамова Н.Б. Кон ускуналарини техник ҳолатини олдиндан ташхис қилиш // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 12-14 июня 2017 г. – С. 167.

41. 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.

42. 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.

43. Эгамбердиев И.П., Жураев Н.Н., Мукимова М.К., Зоирова Л.Х. Формирование структуры системы ситуационного управления буровым станком // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 12-14 июня 2017 г. – С. 201.

44. Эгамбердиев И.П. Методы повышения надёжности горного оборудования // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 22-23 ноября 2018 г. – С. 68.

45. Эгамбердиев И.П. Методика сбора и обработки информации вибрационных измерений станков // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 22-23 ноября 2018 г. – С. 285.

46. Эгамбердиев И.П., Мамадияров А.Ж. Обеспечение динамического качества шпиндельных узлов путем применения методов технической диагностики // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 22-23 ноября 2018 г. – С. 297.

47. Эгамбердиев И.П., Мамадияров А.Ж., Ашуров Х.Х. Прогнозирование и выбор критериев оценки технического состояния станков // Материалы Международной научно-технической конференции на тему: «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 22-23 ноября 2018 г. – С. 308.

48. 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.

49. Egamberdiyev I.P., Mamadiyarov A.J., Amonov D.M. Study of vibroacoustic signal intensity in support units of mining equipment // Сборник материалов II международной конференции «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы». – Навои, 27-28 ноября 2019 г. – С. 563-567.

Автореферат «Ўзбекистон кончилик хабарномаси» журналидан таҳрирдан  
ўтказилди.