

**ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**  
**ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**PhD.28.06.2018.T.73.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**БАЯНОВ ИЛДАР НАЗИПОВИЧ**

**ЮҚОРИ ТЕЗЛИКЛИ ЭЛЕКТР ҲАРАКАТ ТАРКИБИ ТОК ҚАБУЛ**  
**ҚИЛГИЧИ ВА КОНТАКТ ТАРМОҒИНИНГ ЎЗARO ТАЪСИРИНИ**  
**ТАДҚИҚ ЭТИШ**

**05.08.05 – Темир йўллар ҳаракат таркиби, поездларни тортиш ва**  
**электрлаштириш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2019**

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

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

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
Technical Sciences**

**Баянов Илдар Назипович**

Юқори тезликли электр ҳаракат таркиби ток қабул қилгичи ва контакт тармоғининг ўзаро таъсирини тадқиқ этиш ..... 3

**Баянов Илдар Назипович**

Исследование взаимодействия токоприемника и контактной сети при высокоскоростном движении электроподвижного состава ..... 23

**Bayanov Ildar Nazipovich**

Research of interaction of the current collector and the contact lines at the high-speed movement of the electric rolling stock of vehicles ..... 41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works..... 44

**ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**PhD.28.06.2018.Т.73.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**БАЯНОВ ИЛДАР НАЗИПОВИЧ**

**ЮҚОРИ ТЕЗЛИКЛИ ЭЛЕКТР ҲАРАКАТ ТАРКИБИ ТОК ҚАБУЛ  
ҚИЛГИЧИ ВА КОНТАКТ ТАРМОҒИНИНГ ЎЗARO ТАЪСИРИНИ  
ТАДҚИҚ ЭТИШ**

**05.08.05 – Темир йўллар ҳаракат таркиби, поездларни тортиш ва  
электрлаштириш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2019**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2019.1.PhD/Т1030 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент темир йўл муҳандислари институтида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:**

**Амиров Султон Файзуллаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Гайибов Тулкин Шерназарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Валиев Мухаммад Шералиевич**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**«Ўзбекэнерго» АЖ «Илмий-техника  
маркази» масъулияти чекланган  
жамияти**

Диссертация ҳимояси Тошкент темир йўл муҳандислари институти ҳузуридаги PhD.28.06.2018.Т.73.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100167, Тошкент ш., Одилхўжаев кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [tashiit\\_rektorat@mail.ru](mailto:tashiit_rektorat@mail.ru).)

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси билан Тошкент темир йўл муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100167, г Тошкент, Одилхўжаев кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01; 293-57-54.

Диссертация автореферати 2019 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ да тарқатилди.  
(2019 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги №\_\_\_ рақамли реестр баённомаси).

**А.И. Адилходжаев**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Я.О. Рузметов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н., доцент

**Ш.С. Файзибаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси  
т.ф.д., профессор

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда юқори тезликда ҳаракатланувчи поездлар ҳаракат ҳавфсизлиги таъминлаш, уларнинг ҳаракат таркибга узлуксиз электр энергия таъминлашда янги турдаги контакт осма мосламаларини ишлаб чиқиш, поездлар ҳаракат жадвалининг мутадиллигини таъминлашда поезд таркибининг ток қабул қилгичи ва контакт тармоғи билан ўзаро таъсирининг тизимини модернизациялаш етакчи ўринни эгалламоқда. Ушбу йўналишда электрлаштирилган темир йўллар контакт тармоқлари таранглигини ростловчи ҳамда масофадан назоратловчи ўлчов-асбоблар, қурилмаларни ишлаб чиқиш, контакт тармоқларининг қайд қилувчи қурилма, контакт осма симларининг конструкцияларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада ривожланган мамлакатларда, жумладан, АҚШ, Франция, Германия, Япония, Хитой ва бошқа давлатларда, темир йўл транспортида юк ва йўловчи ташишни самарадорлиги оширувчи технология ва контакт тармоқ қурилмаларини модернизациялаш ҳамда бошқариш қурилмаларини такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда электрлаштирилган темир йўлларда поезд таркибининг ток қабул қилгичи ва контакт тармоғи билан ўзаро таъсирининг тизимини назоратловчи ўлчов асбоб ва қурилмаларини яратиш ҳамда уларнинг ишончлилиги ва сифатини оширувчи усулларни ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан поезд таркибининг ток қабул қилгичи ва контакт тармоғи билан ўзаро таъсирининг параметрларини аниқловчи тебранишларни ўлчовчи датчик элементлари ишлаб чиқиш, контакт осма симларнинг ҳолатини назоратловчи ўлчов асбобларини яратиш, контакт осма мосламасини тадқиқ қилишда тўпламали юкламалар усулини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда. Шу билан бирга юқори тезликда ҳаракатланувчи поездларнинг контакт осма симлар таранглик қийматларининг сифатли ток олиш мезонларига таъсирини аниқловчи усулларини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланмоқда.

Республикамызда турли транспорт соҳаларини ривожлантириш, жумладан юқори тезликда ҳаракатланувчи поездларнинг технологик параметрларини назорат қилиш ва бошқаришнинг янги турдаги техник воситаларини ишлаб чиқиш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сиғимини қисқартириш, энергия тежовчи технологияларни ишлаб чиқаришга кенг татбиқ этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, ...»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан контакт тармоғининг фактик ҳолатини ахборот-ҳисобий комплекси яратилган ўлчов-ҳисобий структура схемаси сифатида ишлаб

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони

чиқиш, контакт осма симларида тўлқинли жараёнларни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш, контакт осма симларининг меъёрий тебраниши ва турли тортиш режимларидаги электр ёй жараёнларини акс эттирувчи математик моделлар ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси «Темир йўл транспорти тўғрисида»ги Қонуни (1999), Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалга татиқ этиш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Электр транспортининг юқори тезликдаги ҳаракатида контакт тармоғидан ток олишнинг сифати ва ишончлилигини ошириш бўйича долзарб масалаларни ечиш ва техник ечимлар бўйича тавсияларни ишлаб чиқиш жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ҳамда олий таълим муассасалари томонидан, жумладан Токио университетининг Сайсан Кэнкю лабораториясида, Оксфорд университетининг Математика институтида, Royal Aircraft Establishment компаниясида (Буюк Британия), FEG-Telefunken фирмасида ҳисоблаш машиналарини математик таъминлаш илмий-техник марказида (Майна бўйидаги Франкфурт), Россия давлат транспорт университети (МИИТ), АОЖ «Темир йўл транспорти илмий-тадқиқот институти», Омск транспорт муҳандислари институтида амалга оширилмоқда.

Ток олиш муаммоларини ҳал этишга А.Cipriani, A.Kazimierczak, H.Grimrath, F.Kiessling, И.А.Беляев, Н.А.Буше, И.И.Власов, Л.А.Вислоух, В.А.Вологин, К.Г.Марквардт, В.П.Михеев, А.В.Плакс, И.Я.Сегал, В.Е.Чекулаев каби олимлар, шунингдек бошқа олимлар ва мутахассислар ўзларининг салмоқли ҳиссаларини қўшганлар.

Ушбу мутахассисларнинг саъй-ҳаракатлари билан ҳисоб схемаларида ток қабул қилгич ва контакт османинг сўндириш хусусиятларини қайд қилиш принциплари ишлаб чиқилган, муҳим руҳсат беришлар асосланган, бир қанча ток қабул қилгичларнинг ўзаро таъсирлари кўриб чиқилган. Шу билан бирга, ушбу тадқиқот ишларида ток қабул қилгичдан ўтишда контакт тармоғдаги тўлқинли жараёнларнинг таъсири етарли даражада олиб борилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент темир йўл муҳандислари институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг №7-«Электр транспортининг юқори тезликдаги ҳаракатида ток қабул қилгич ва контакт тармоқнинг ўзаро таъсири» (2012-2014) ва №11 «Электр транспортининг юқори тезликдаги ҳаракатида электр

энергияси йўқотишларини оптималлаш-тириш» (2014-2016) мавзуларидаги Давлат лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** юқори тезликда ҳаракатланувчи поездларнинг ток қабул қилгичи ва контакт тармоғи билан ўзаро таъсирининг техник ечимларини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқот вазифалари:**

электр транспортининг юқори тезликдаги ҳаракатида ток олишнинг хавфсизлиги, авариясизлигини ва сифатини ошириш йўллари аниқлаш;

электр транспортининг юқори тезликдаги ҳаракатида босим кучини рационалаштириш ҳисобига электр ҳаракатланувчи таркиб ток қабул қилгичнинг контакт сими билан ишончли контактини амалга ошириш;

ток қабул қилгичи ва контакт симининг динамик ўзаро таъсирини рухсат беришлар миқдорини камайтириш ва янги информацион технологияларни қўллаш ҳисобига аниқликни оширувчи ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

контакт осма мосламасининг нормал тебранишларининг математик моделини яратиш.

**Тадқиқот объекти** юқори тезликдаги ҳаракат учун ток қабул қилгичлар ва контакт осмалар.

**Тадқиқот предмети** юқори тезликдаги темир йўл контакт тармоқ ва ток қабул қилгичининг ўзаро таъсири жараёнлари олинган.

**Тадқиқот усуллари.** Excel, Maple ва MathCAD дастурлари ёрдамида тадқиқотнинг аналитик методлари ҳамда контакт османинг тебранишларини математик моделлаштириш усуллари, контакт осма симлари тебранишларининг гармоникаларини таҳлил қилиш ҳамда экспериментал функцияларини Фурье қаторида ечиш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

контакт тармоғининг фактик ҳолатини ахборот-ҳисобий комплекси яратилган ўлчов-ҳисобий структура схемаси сифатида ишлаб чиқилган;

160 дан 250 км/соат гача бўлган тезликда контакт осма симлар таранглик қийматларининг сифатли ток олиш мезонларига таъсири контакт осма ва ток қабул қилгич ўзаро таъсир тенграмаси ёрдамида аниқланган;

контакт осма симларида тўлқинли жараёнларни ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган ва «ток қабул қилгич–контакт осма» тизимидаги резонанснинг вужудга келиш сабаблари ишлаб чиқилган алгоритм ёрдамида аниқланган;

ортомеъёрланган функциялар тўлиқ тизими бўйича ёйиш функцияси ёрдамида контакт осма тарқалувчи тўлқинлар тўплами характеристикаси аниқланган;

контакт осма симларининг меъёрий тебраниши ва турли тортиш режимларидаги электр ёй жараёнларини акс эттирувчи математик моделлар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

юқори тезликли контакт осмаларда симларнинг таранглик қийматини ҳисоблашда ток қабул қилгич ва контакт осма ўзаро таъсирининг тенграмаси ишлаб чиқилган;

«ток қабул қилгич–контакт осма» тизимида резонанс пайдо бўладиган сабабларни бартараф этиш чора-тадбирлари ишлаб чиқилган;

вертикал миъёрий тебраниши ва «ток қабул қилгич–контакт осма» тизимида турли тортиш режимларидаги электр ёй жараёнларини акс эттирувчи математик моделлар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги ток қабул қилгич таъсирида контакт симнинг осилиши ва таранглигининг ўзгариши ҳамда «ток қабул қилгич–контакт сим» сирпанувчи жуфтликнинг электр майдонини ҳисоблаш усули, ток қабул қилгичнинг контакт осма билан ўзаро таъсирини моделлаштириш ҳамда контакт османи тақсимланган параметрларга эга тебраниш тизими сифатида кўриб чиқилгандаги ток олиш динамикасини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилганлиги, замонавий воситалари ва усулларни қўллаш орқали асосланади ҳамда олинган назарий ва экспериментал тадқиқотларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти 160 дан 250 км/с гача бўлган тезликда контакт осма мосламаси таранглик қийматларининг сифатли ток олиш мезонларига таъсирини аниқлаш ҳамда КТ симларида тўлқинли жараёнларни ва «ток қабул қилгич – контакт осма» тизимидаги резонанснинг вужудга келиш шароитларини ҳисоблаш усулларининг ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти таянч троссинг рационал таранглиги катталигини аниқлаш бўйича тадқиқот натижалари таянч троссинг узоқ муддат ишлашини таъминлаши, контакт осма мосламанинг барча турдаги таъмирлаш ишлари, унга хизмат кўрсатишга сарфланадиган харажатларини ва вақтини камайтириш ҳамда капитал таъмирлаш ишлари орасидаги муддатни узайтириши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Электр ҳаракатланувчи таркибнинг юқори тезликда ҳаракатланишида ток қабул қилгич ва контакт османинг ўзаро таъсирининг техник ечимларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалари асосида:

160 дан 250 км/с гача бўлган тезликда контакт осма симлар таранглик қийматларининг сифатли ток олиш мезонларига таъсирини аниқловчи ҳисоблаш усули «Ўзбекистон темир йўллари» АЖ тассаруфига кирувчи темир йўл линияларига тадбиқ этилган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2019 йил 22 августдаги НГ/4853-19-сон маълумотномаси). Натижада юқори тезликдаги ҳаракат объектлари контакт симининг ейилишини икки баробар камайтириш имконини яратган;

контакт осма симларининг меъёрий тебраниши ва турли тортиш режимларидаги электр ёй жараёнларини акс эттирувчи математик моделлари «Ўзбекистон темир йўллари» АЖ тассаруфига кирувчи Тошкент-Самарқанд темир йўл линиясига тадбиқ этилган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2019 йил 22 августдаги НГ/4853-19-сон маълумотномаси). Натижада

Тошкент-Самарқанд темир йўл участкасида маълум ўлчамли ток ўтказувчи торларни қўллаш имконини берган;

юқори тезликдаги темир йўллар (контакт тармоғи қурилмалари)ни электрлаштиришда қурилиш ва монтаж ишлари (ВСН-446-Н), юқори тезликдаги темир йўл контакт тармоқлари лойихалаш (ВСН-447-Н), Ташкент-Самарқанд юқори тезлик темир йўл линияларининг инфраструктурасини (ВСН-448-Н) ишлаб чиқариш ва қабул қилиш бўйича идораларнинг қурилиш техник кўрсатмалар «Ўзбекистон темир йўллари» АЖ тассаруфига кирувчи электр таъминот хизматига тадбиқ этилган («Ўзбекистон темир йўллари» АЖнинг 2019 йил 22 августдаги НГ/4853-19-сон маълумотномаси). Натижада контакт тармоғининг консолларида полимер изоляторларини қўллаш имконини берган. Узлуксиз ишлаши беш баробар кўпайиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 15 та илмий-амалий анжуманларда, жумладан 2 та халқаро ва 13 та республика анжуманларида синовдан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш, жумладан 1 та хорижий ва 4 та республика даврий Ўзбекистон Республикаси ОАК томонидан тавсия қилинган илмий журналларида мақолалар чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш қисми, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ишининг ҳажми 111 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ишнинг долзарблиги асосланган, масаланинг ҳолати ёритилган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети ифодаланган, республика фан ва технологиялар ривожланиши устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, ишнинг ишончлилиги, назарий ва амалий аҳамияти асосланган, диссертация тадқиқоти натижаларининг ишлаб чиқаришга ҳамда ўқув жараёнига жорий қилиниши кўрсатилган.

**“Электр ҳаракатланувчи таркибнинг юқори тезликда ҳаракатланишида ток қабул қилгичнинг контакт осма билан ўзаро таъсирини ўрганиш бўйича мавжуд тадқиқотлар обзори»** номли биринчи бобда юқори тезликдаги ҳаракатни ташкил этиш тўғрисидаги умумий маълумотлар келтирилган, ток қабул қилгич (ТҚК) ва контакт тармоғнинг (КТ) ўзаро таъсири масаласини ўрганишнинг таҳлили бажарилган, Ўзбекистоннинг темир йўлларида юқори тезликдаги ҳаракатнинг ривожланиши кўриб чиқилган, шунингдек ток олишга қўйиладиган техник талаблар таҳлили амалга оширилган.

Кенг қўлланадиган ҳисоблаш усуллари ток олишдаги реал жараёнларни акс эттирмаслиги аниқланди, боиси контакт осма (КО) симларида тўлқинли

жараёнлар ҳисобга олинмайди. Юқори тезликда ҳаракатланишда ток олишни яхшилаш учун ТҚҚнинг КС билан ишончли контакти катта аҳамиятга эга, бундай контакт эса уларнинг бир-бирига барқарор тегиб туришида содир бўлади. Кучсиз босиш электр ёйни келтириб чиқариб, бунда контактланувчи элементлар юмшаб кетади. Кучли босиш контакт сим ва ток қабул қилгичнинг механик емирилишини кучайтиради ва ТҚҚнинг контакт осма элементлари билан тўқнашиш эҳтимолини келтириб чиқаради.

Барқарор ток олишни аниқловчи қийматларнинг муайян интервали  $\Delta P_k$  да контактли босишни ушлаб туриш масаласи вужудга келади, бироқ мазкур интервал ТҚҚ ва КСнинг ҳар хил турлари учун бир хил бўлмагани боис,  $\Delta P_k$  интервалини рационалаштириш талаб этилиши кўрсатилган.

ТҚҚнинг КСга босилиши иккита ифода орқали аниқланади:

$$а) \text{ ток қабул қилгични кўриб чиқишда: } P_k = P_0 + P_A \pm P_{\text{дин.т}} \pm P_{\text{тр.т}}, \quad (1)$$

$$б) \text{ контакт османи кўриб чиқишда: } P = \frac{\Delta y}{\eta} \pm P_{\text{дин.к}} \pm P_{\text{тр.к}}, \quad (2)$$

бу ерда  $P_0$  – ТҚҚнинг юқори узелига келтирилган ТҚҚ пружиналарининг босиш кучи, Н;  $P_A$  – ТҚҚга таъсир қилувчи тўлиқ аэродинамик куч, Н, (у кўтариш кучи  $P_y$ , қарама-қарши йўналган қаршилик  $P_x$ , и ТҚҚга шамол таъсир этишининг ёнлама кучи  $P_z$ );  $P = -m_0 \frac{4\pi V^2}{l^2} y$ , – ТҚҚнинг динамик кучлари, Н;  $m_0$  – КОнинг келтирилган оғирлиги, кг;  $y$  – КОнинг вертикал силжиши, м;  $V$  – ЭҲТнинг ҳаракатланиш тезлиги, км/с;  $l$  – таянчлараро оралиқ узунлиги, м;  $P_{\text{дин.к}}$  – КОнинг динамик кучлари, Н,  $P_{\text{тр.т}}$  – контакт нуқтасига келтирилган ТҚҚнинг жами ишқаланиш кучлари, Н;  $P_{\text{тр.к}}$  – контакт нуқтасига келтирилган КОнинг жами ишқаланиш кучлари, Н;  $\Delta y$  – ТҚҚ таъсири остида контакт симнинг кўтарилиши, м;  $\eta$  – КО эластиклиги, мм/Н.

$m_0$  катталиги таянчлараро оралиқ бўйича муқим эмас, у османинг эластиклигига боғлиқ, шу боис унинг ўртача қийматидан фойдаланиш зарурлиги аниқланди. «Контакт тармоқ – ток қабул қилгич» тизимининг бир қанча моделлари қўлланиши аниқланди, шунга боғлиқ ҳолда  $m_0$  катталигини аниқловчи ҳисоб формулаларининг бир қанча турларидан фойдаланилади. СИ тизимида формула қуйидаги кўринишга эга:

$$m_0 = 0.055 \sqrt{g_k l \left(1 - \frac{a}{2.5}\right) \left(\frac{P_0 + PF_Y}{g}\right)}, \quad (3)$$

бу ерда  $g_k$  – бир метр контакт симнинг оғирлиги, кг/м;  $P_0$  ва  $P_Y$  – ток қабул қилгичга унинг пружиналаридан тушадиган босиш кучлари, Н;  $g$  – эркин тушишнинг тезлашиши, м/с<sup>2</sup>.

Ток олиш сифати кўпгина параметрлар билан баҳоланиши аниқланди, улардан бир ТҚҚнинг ажралиш коэффицентидир:

$$k_{\text{от}} = (\sum t_{\text{от}} / t) \cdot 100\%, \quad (4)$$

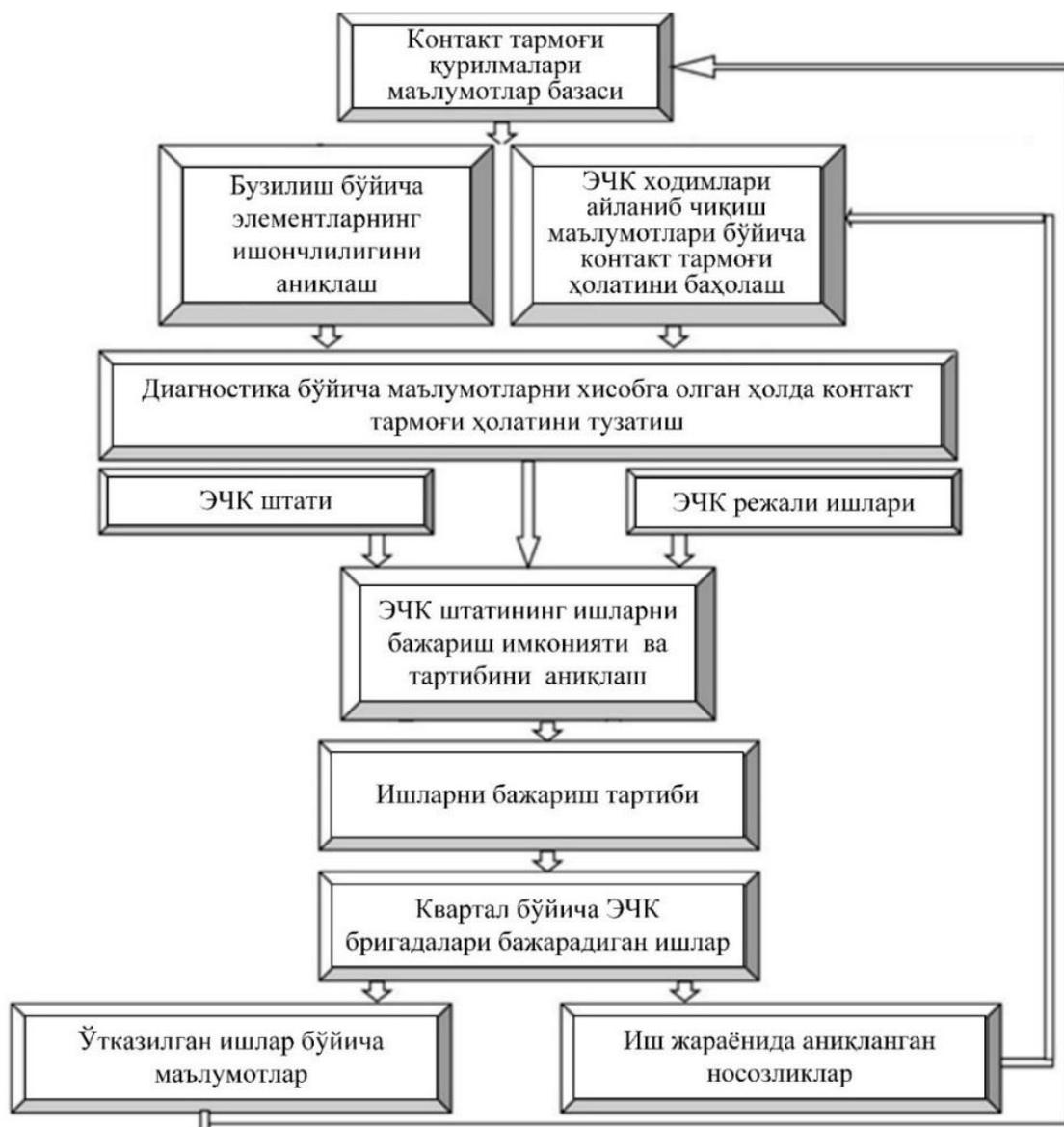
бу ерда  $\sum t_{\text{от}}$  – механик контакт бузилишининг жами давомийлиги, с;  $t$  – мазкур КТ участкасидан ТҚҚнинг ўтиш вақти, с.

**«Электр транспортининг юқори тезликда ҳаракатланишида контакт тармоқни яхши сақлаш сифатини баҳолаш ва прогнозлаш принциплари»** номли иккинчи бобда электр транспортининг юқори тезликда

ҳаракатланишида ток олиш тизими ҳолатини назорат қилиш мониторинги келтирилган, юқори тезликда ҳаракатланишда ТҚҚ ва КОнинг асосий параметрлари тадқиқ этилди ва юқори тезликда ҳаракатланишда ток қабул қилгичнинг вертикал силжишларини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилди.

Меъёрий маълумотлардан техник оғишиш ҳамда уларнинг келиб чиқиш сабаблари ва уларни бартараф этишнинг иқтисодий асосланган усулларини аниқлаш мақсадида КТнинг ўлчанаётган параметрларини комплекс таҳлил қилиш тизими мониторингнинг техник воситаси бўлиб ҳисобланиши аниқланди.

Ишлаб чиқилган ахборот-ўлчов комплексининг умумий схемаси таклиф қилинди (1-расм). КТни техник диагностика қилиш воситалари махсус мослама ва қурилмаларнинг комплексини намоён этади. Алоҳида параметрларни узлуксиз назорат қилиш, яъни компенсацияловчи мосламалар ишини назорат қилиш, симларнинг иссиқлик ҳимояси ва бошқалар учун ичига ўрнатилган мосламалардан фойдаланилади.



**1-расм. Ахборот-ўлчов комплексининг умумий тузилиши схемаси**

КТнинг ишончлилиги асосан миқдорий ва сифат тавсифлари билан аниқланиши кўрсатилган. Бундай тавсифларга элементларнинг тўхтамай (бузилмай) ишлаши, таъмирга яроқлилиги ва узоқ муддат хизмат қилиши киради.

2-расмда эксплуатация муддатларига боғлиқ ҳолда КТнинг бузилмасдан ишлаш эҳтимоли кўрсатилган. Мониторинг тизимининг маълумотлар базаси КТ мосламаларининг тўлиқ комплексини инобатга олиши зарурлиги аниқланди.

КОнинг ўзаро таъсирида таркибнинг ҳаракатланиш тезлиги ва локомотивнинг тебранишини ҳисобга олиш зарурати аниқланди. Икки томонлама ҳаракатланувчи ассиметрик ток қабул қилгичининг мутлақ ҳаракати кўриб чиқилган (3-расм).

$y_B$  контакт нуқтасининг ҳаракатланиш траекторияси  $A_1$  амплитудасига эга гармоник тебранишлар кўринишида берилиши мумкин, ушбу амплитуда унинг таянчлараро оралиқдаги тебраниш оралиғининг ярмига тенг. Контакт сим йўлга нисбатан  $\gamma$  бурчаги остида қия жойлашганда,  $B$  нуқтасининг вертикал координатаси қуйидагини ташкил этади:

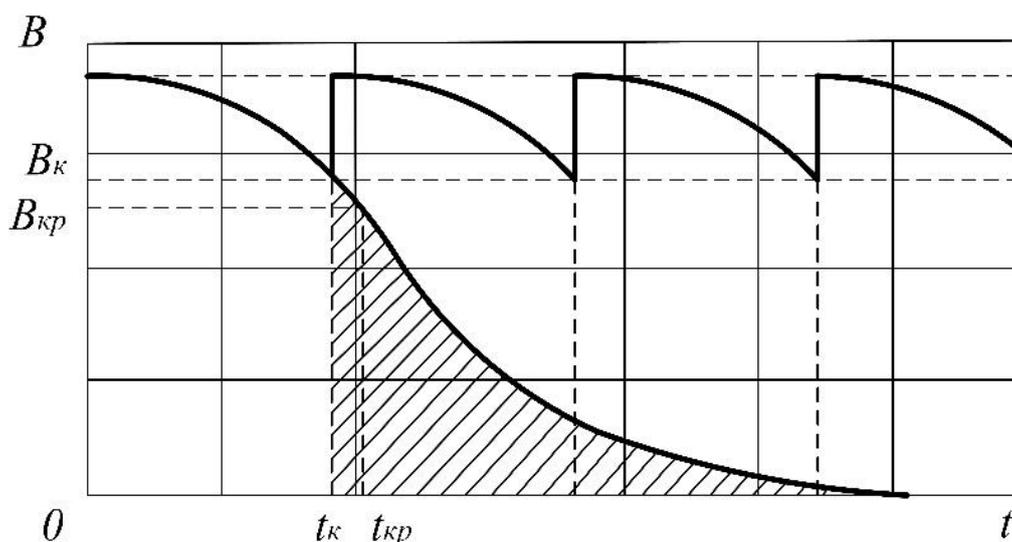
$$y_B = h_{\dot{y}p} \pm x_B tg\gamma + \frac{A_1}{\cos\gamma} \sin kt \approx h_{\dot{y}p} \pm x_B tg\gamma + A_1 \sin kt, \quad (5)$$

бу ерда  $h_{\dot{y}p}$  – ток қабул қилгичнинг ўртача баландлиги;  $x_B$  –  $B$  нуқтасининг горизонтал координатаси,  $y$  ток қабул қилгич асосининг мос ҳолдаги координатасига тўғри келади;  $A_1$  – контакт нуқтасининг тебраниш амплитудаси;  $k$  – контакт нуқтаси вертикал тебранишларининг асосий частотаси.

Ток қабул қилгич асосининг вертикал тебраниши қуйидаги формула билан ифодаланади:

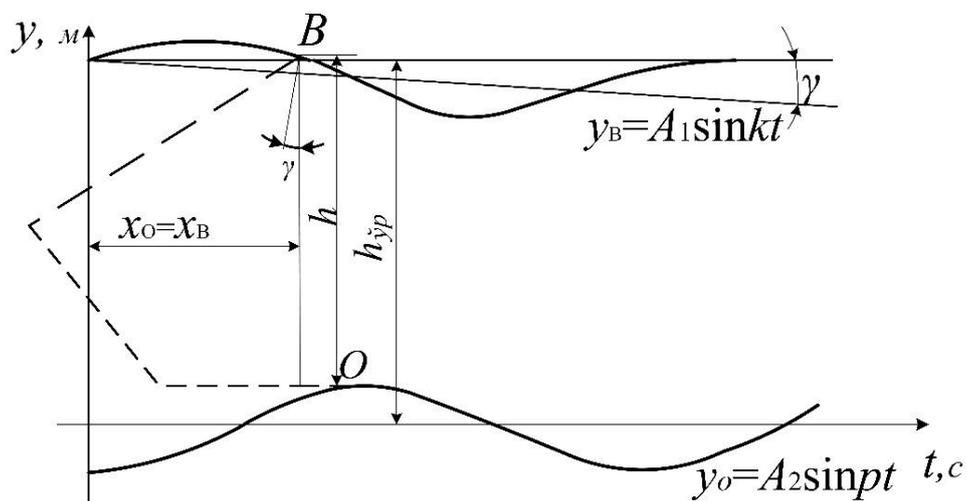
$$y_0 = A_2 \sin pt, \quad (6)$$

бу ерда  $A_2$  – ток қабул қилгич асосининг тебраниш амплитудаси;  $p$  – ток қабул қилгич асосининг вертикал циклик частотаси.



**2-расм. Режали ва бузилишлар олдини олиш учун таъмирлаш ишларини ўтказишда эксплуатация муддатига боғлиқ ҳолда контакт тармоғининг тўхтовсиз ишлаш эҳтимоллиги**

$c_k$  нинг қаттиқлиги КОнинг асосий параметрларидан бири эканлиги аниқланди. Қаттиқлик тавсифи контакт осма тури ва унинг асосий параметрлари билан белгиланиши аниқланди. Қаттиқлик функционал бўлиши ва берилаётган вертикал юкланиш билан нозизиқ боғланган бўлиши мумкин. Таянч тугун зонасида контакт осма қаттиқлигига ушлаб турувчи трос ва контакт симнинг таранглик кучи, рессор тросининг узунлиги, таянч ўқидан биринчи оддий торгача бўлган масофа таъсир этиши аниқланди.



**3-расм. Ток қабул қилгич вертикал силжишларининг умумий характери**

Анкер участкаси бўйлаб  $c_k$  нинг мутлақ қиймати таянчлараро оралиқнинг бошқа ўхшаш нуқталарида бир хил эмаслиги, бироқ улар осонлик билан ҳисобланиши аниқланди. Бундай ҳисоб контактдаги инерция жараёнларини тадқиқ қилиш учун зарур эмаслиги, бироқ симларнинг вертикал силжишларини аниқлашда зарурлигини кўрсатди.

**«Ҳаракатланишнинг максимал рухсат этилган тезлигида ток қабул қилгичнинг турли хил контакт осмалари билан ўзаро таъсирини ўрганиш»** номли учинчи бобда ток қабул қилгич таъсирида контакт симнинг осилиши ва таранглигининг ўзгариши ҳисобланган ҳамда «ток қабул қилгич – контакт сим» сирпанувчи жуфтликнинг электр майдонини ҳисоблаш методикаси ишлаб чиқилган, шунингдек «ток қабул қилгич – контакт осма» тизимида асосий тебранишлар кўриб чиқилган.

Ҳаракатланаётган электр ҳаракатланувчи таркибнинг ишчи ток қабул қилгичларини контакт босишдан КОда пайдо бўладиган вертикал тўлқинлар ток олиш сифатининг ёмонлашувига олиб келади, айниқса резонанс ходисалар вужудга келганда, ток олиш сифатининг пасайиб кетиши яққол намоён бўлиши аниқланди. Османинг таянч троси ва контакт сими мувозанат ҳолатида ўз оғирлигига эга ва  $Q$  юкланишини яратадиган толалар сифатида кўриб чиқилиши мумкин, ушбу юкланишнинг бир маромда тақсимланиши  $q = Q/l$  эса вертикал торлар ёрдамида амалга оширилиши аниқланди

(4,а-расм).  $y(x)$  эгри чизиғи,  $f_{св}$  осилиш катталиғи ва толанинг осилиш билан биргаликдаги  $L$  узунлиги тенгнамалари олинди:

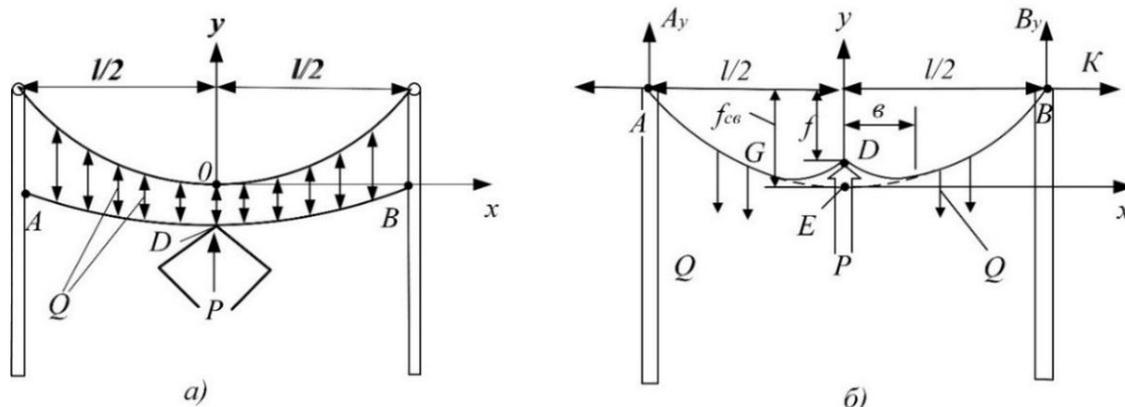
$$y(x) = \frac{qx^2}{2K}; \quad f_{св} = \frac{ql^2}{8K}; \quad L = l \left[ 1 + \frac{8f_{св}}{3l} \right]^2 = l \left[ 1 + \frac{q^2 l^2}{24K^2} \right], \quad (7)$$

бу ерда  $K$  – контакт симнинг таранглик кучи, Н.

$q$  ва  $P$  юктамаларининг бир вақтнинг ўзида таъсир этиши натижасида (4,б-расм) тола орқали вужудга келган эгри чизиқ  $D$  нуктасида кесишадиган  $AD$  ва  $BD$  парабодаларининг иккита симметрик тармоғидан ташкил топганлиги кўрсатилган. (7) тенгнамани ҳисобга олган ҳолда  $q$  ва  $P$  юктамаларининг ифодаларини ўзгартириш орқали тарангликнинг горизонтал кучи ва осилиш стреласи учун қуйидаги ифода олинди:

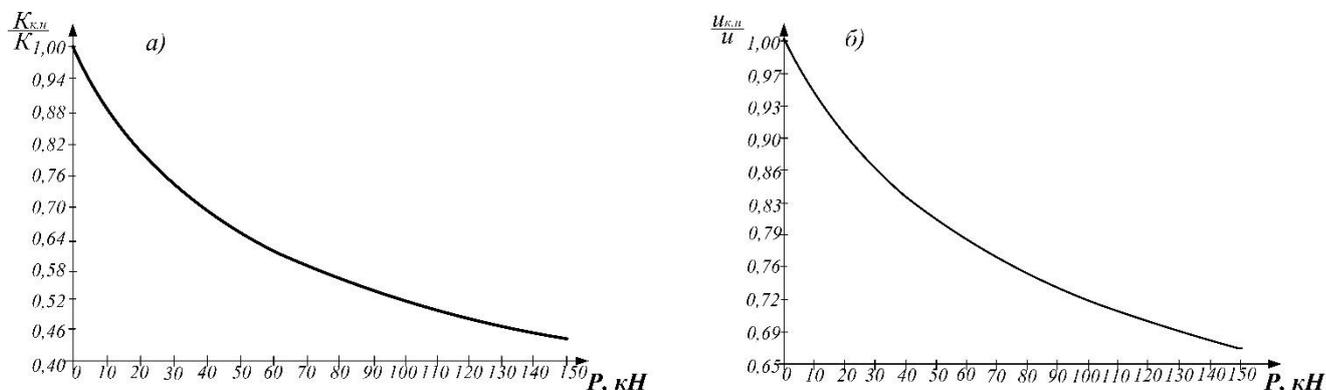
$$K_{к.н} = \frac{K}{\sqrt{1+3\nu+3\nu^2}}; \quad (8)$$

$$f = f_{св} \frac{1-2\nu}{\sqrt{1+3\nu+3\nu^2}}. \quad (9)$$



**4-расм. Ток қабул қилгич устидаги якка контакт осмасининг контакт сими шакли**

КС-250-25UZ осмасининг контакт сими учун «Янгиер-Даштобод» юқори тезликда ҳаракатланиш участкасида  $P=80\dots 120$  Н куч билан контакт босишда ва  $f_{св}=30$ мм эркин осилишда  $K_{к.н}$  таранглик кучи катталиклари (5,а-расм) ҳамда  $U_{к.н}$  вертикал тўлқин тезликларини (5,б-расм) ҳисоблаш ишлари бажарилди. Ҳисоб-китоблар MathCAD дастурида бажарилди.



**5-расм. Ток қабул қилгич томонидан йиғиқ кучни йўналтириш соҳасидаги контакт симда локал таранглик (а) ва вертикал тўлқин тезлигининг (б) ўзгариши**

Локал таранглик эгри чизигининг таҳлили ТҚҚ контакт сим таранглигини дастлабки катталиқка нисбатан ўзгартиришини кўрсатди. Шунингдек, ТҚҚ тўлқинларнинг тарқалиш тезлигига ҳам таъсир қилиши аниқланди (5, б-расм).

КТ симига эга электр ҳаракатланувчи таркиб пантографининг туташиш зонасидаги электр майдон (6-расм) улар ўртасидаги ёйнинг ёнишига таъсир этади. Ушбу майдон иш жараёнида Пуассоннинг қуйидаги умумий тенгламаси орқали  $M(x,y,z)$  ихтиёрий нуқтада ДАС  $\varphi_1$  ва ЕАВ  $\varphi_2$  линияларининг зарядланиш потенциаллари кўринишида аниқланади:

$$\varphi_1 = \int_{-A}^{+A} \frac{\tau R dl_x}{2\pi\epsilon\epsilon_0 S_1} = C \int_{-A}^{+A} \frac{dx_1}{\sqrt{(x-x_1)^2+y^2+(z-z_0)^2}}; \quad (10)$$

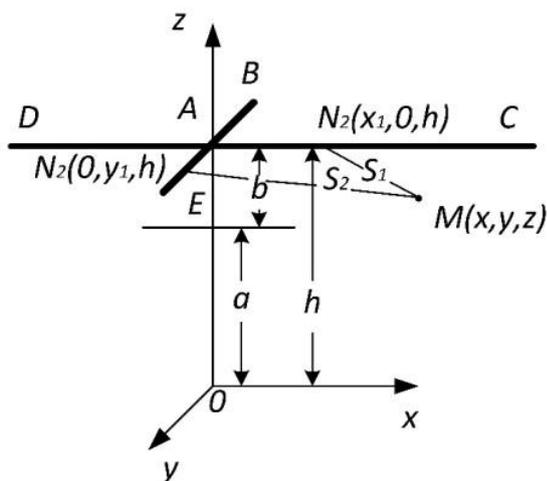
$$\varphi_2 = \int_{-1}^{+1} \frac{\tau R dl_y}{2\pi\epsilon\epsilon_0 S_2} = C \int_{-1}^{+1} \frac{dy_1}{\sqrt{(x-a)^2+(y-y_1)^2-(z-z_0)^2}}, \quad (11)$$

бу ерда  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электр доимий;  $\epsilon$  – муҳитнинг нисбий диэлектрик ўтказувчанлиги;  $C = R\tau/(2\pi\epsilon_0\epsilon U)$ .

Пуассон тенгламаларини бўлинмаларга бўлиб ечиш мос равишдаги чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўринишда бажарилган:

$$\varphi_1 = C \ln \frac{\frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2+y^2+(z-h)^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2+y^2+(z-h)^2}}}{\frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2+y^2+(z_1-h)^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2+y^2+(z_1-h)^2}}}; \quad (12)$$

$$\varphi_2 = C \ln \frac{\frac{(y+1) + \sqrt{(x-a)^2+(y+1)^2+(z-h)^2}}{(y-1) + \sqrt{(x-a)^2+(y-1)^2+(z-h)^2}}}{\frac{(y+1) + \sqrt{(x-a)^2+(y+1)^2+(z_1-h)^2}}{(y-1) + \sqrt{(x-a)^2+(y-1)^2+(z_1-h)^2}}}. \quad (13)$$



**6-расм. Контакт тармоғи электр майдони потенциалининг тақсимланиш схемаси:**

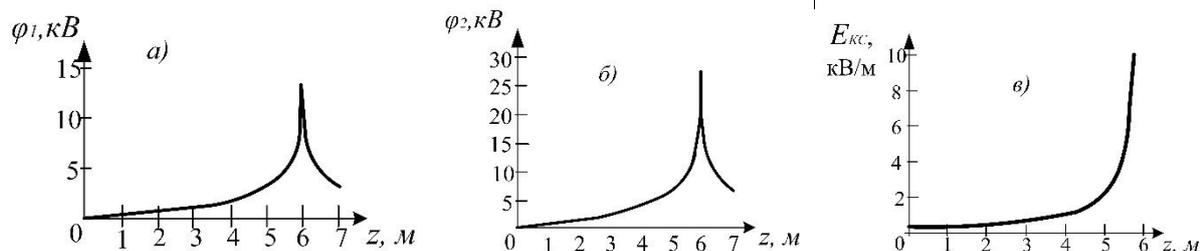
А – ДАС контакт тармоғининг сими ва ЕАВ пантографи чанғиси ўртасидаги сирпанувчи уланма;  $S_1, S_2$  – маконнинг ихтиёрий  $M(x, y, z)$  нуқтасидан ДАС линиясидаги  $N_1(x_1, 0, h)$  нуқтасигача ва ЕАВ линиясидаги  $N_2(0, y_1, h)$  нуқтасигача бўлган масофа

Заряд электр майдони кучланишининг вертикал тақсимланиши потенциал функциясини дифференциаллаш орқали аниқланади:

$$E_{КС} = \frac{d(f_1)}{dz}; \quad E_{ТС} = \frac{d(f_2)}{dz}; \quad E_{КС+ТС} = \frac{d(f_1+f_2)}{dz}. \quad (14)$$

Олинган (12), (13), (14) тенгламалар ва уларнинг графиклари (7, а,б,в-расм) таҳлили потенциалнинг ихтиёрий М нуқтасида тақсимланиши контакт османинг параметрларидан қатъи назар бир хил шаклга эгаллигини

кўрсатди, шунингдек контакт симнинг осилиш баландлиги параметрларининг ортиши билан заряд электр майдони кучланишининг вертикал тақсимланиши ҳам ортади.



**7-расм. Контакт тармоғи электр майдони потенциаллари (а, б) ва кучланишларининг (в) тақсимланиши**

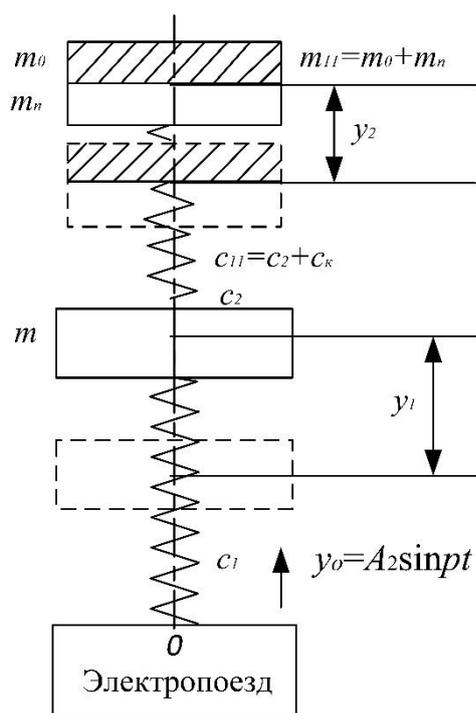
Олинган тенгламалар вужудга келадиган потенциалларни аниқлаш ҳамда электр магнит майдонининг қўшни линияларга, темир йўл автоматикаси, телемеханика ва алоқаси қурилмаларига халақит берувчи ва хавфли таъсиридан ҳимоялаш усулларини кўзда тутиш имконини беради.

Юқори тезликдаги ҳаракатланишда КТдаги тўлқинли жараёнлар кўриб чиқилган. Рессороти ТКҚ ва КОни икки даражали эркинликка эга тебраниш тизими сифатида намоён бўлиши кўрсатилган (8-расм).

Ушбу тизимдаги асосий тебранишларнинг частоталари ва шакллари аниқланган. Ҳисоб-китобларнинг асоси сифатида ғўлаларни рессорлаш қурилмасига эга DSA 250E ток қабул қилгичи ва юқори тезликда ҳаракатланиш учун КС-250-25-UZ осмаси қабул қилинган.

Кўриб чиқилаётган механик тизимнинг асосий тебранишлари частоталарини ҳисоблаш учун олинган формула қуйидаги кўринишга эга:

$$\omega = \pm \sqrt{\frac{c_{11}m + (c_1 + c_{11})m_{11}}{2mm_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{c_{11}m + (c_1 + c_{11})m_{11}}{2mm_{11}}\right)^2 - \frac{c_{11}c_1}{mm_{11}}}} \quad (15)$$



**8-расм. «Ток қабул қилгич – контакт осмаси» тизимининг алмашлаш схемаси:**  $m$ ,  $m_{II}$ ,  $m_o$  – ток қабул қилгичнинг кўтариш рамаси, ток қабул қилгич ғўласи ва контакт османинг мос равишдаги келтирилган оғирликлари;  $c_1$  – пружиналар ва уларни маҳкамлаш элементларини ўз ичига оладиган ток қабул қилгич пастки узелининг умумлаштирилган қаттиқлик коэффиценти;  $c_2$  – ток қабул қилгичнинг юқори узели ва контакт османинг қаттиқлик коэффиценти;  $y_1$  ива  $y_2$  – жисмларнинг мувозанат ҳолатидан вертикал силжиши

Қаттиқлик ва оғирлик катталикларининг миқдорий қийматларини қўйиб, таянчлараро оралик ўртасида ва таянч олдида «контакт осма – ток қабул қилгич» тизими тебранишларининг асосий частоталари қийматлари олинди (1-жадвал). Ушбу жадвал маълумотларининг таҳлили тизимдаги тебранишларнинг асосий частоталари  $m_0$  контакт османинг келтирилган оғирлигига боғлиқлигини кўрсатди.

Асосий тебранишлар частоталарининг формулаларини ўзгартиргандан сўнг  $y_1$  ва  $y_2$  мувозанат марказларига нисбатан силжишлар кўринишидаги тебранишлар учун қуйидаги ифодалар олинди:

$$y_1(t) = \frac{h}{\mu_2 - \mu_1} (\mu_2 \cos(\omega^+)t - \mu_1 \cos(\omega^-)t), \quad y_2(t) = \frac{h}{\mu_2 - \mu_1} \mu_1 \mu_2 (\cos(\omega^+)t - \cos(\omega^-)t). \quad (16)$$

1-жадвал

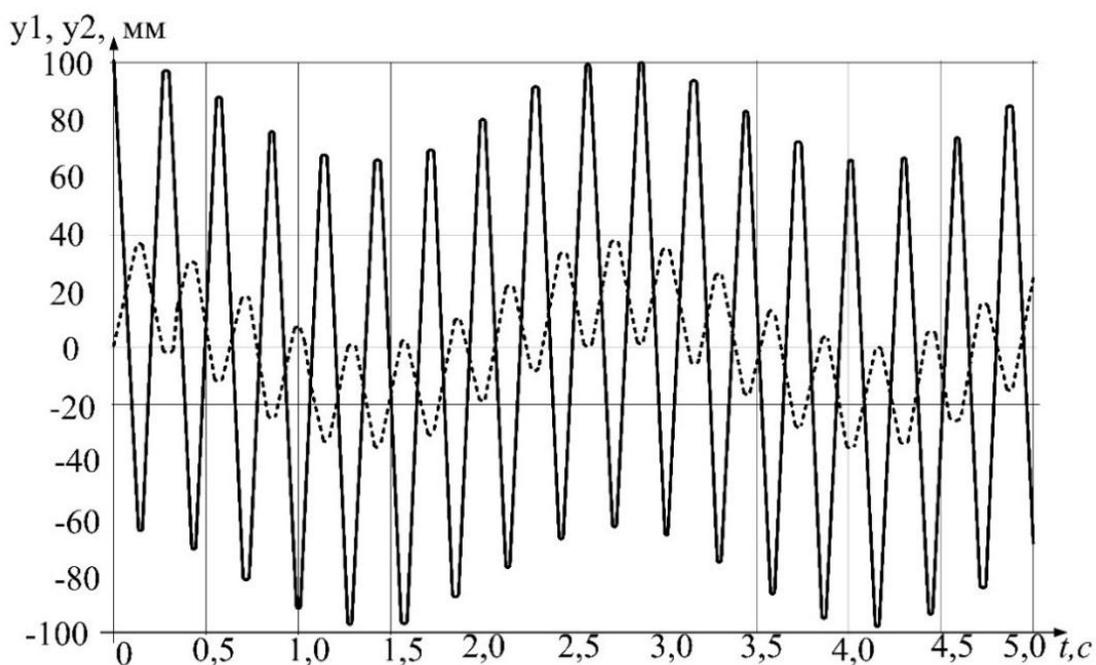
	Таянч олдида $c_k=320$ Н/м		Таянчлараро оралик ўртасида $c_k=220$ Н/м	
	$m_0 = 25$ кг	$m_0 = 55$ кг	$m_0 = 25$ кг	$m_0 = 45$ кг
$\omega^+$ , рад/с	22,71	21,66	22,71	21,91
$\omega^-$ , рад/с	2,62	2,15	2,62	2,28
$\nu^+$ , Гц	3,61	3,45	3,61	3,49
$\nu^-$ , Гц	0,42	0,34	0,42	0,37
$\mu_1$	-0,323	-0,198	-0,323	-0,226
$\mu_2$	1,058	1,064	1,058	1,062
$\mu_1 \cdot \mu_2 / (\mu_1 - \mu_2)$	-0,247	-0,166	-0,247	-0,187

$K=20$  кН тарангликка эга БрФ-120 контакт симдан ва  $T=15$  кН тарангликка эга ПБСМ-95 таянч тросидан ташкил топган КТда 160, 180, 200 ва 220 км/с тезликда Talgo (Афросиёв) электропоезди ўтиб кетганидан сўнг тўлқинли жараёнлари кўриб чиқилди.  $\psi(t)$  функциялари катта миқдордаги гармоникалардан ташкил топган бўлиб, улар Фурье қатори орқали ифодаланиши мумкин:

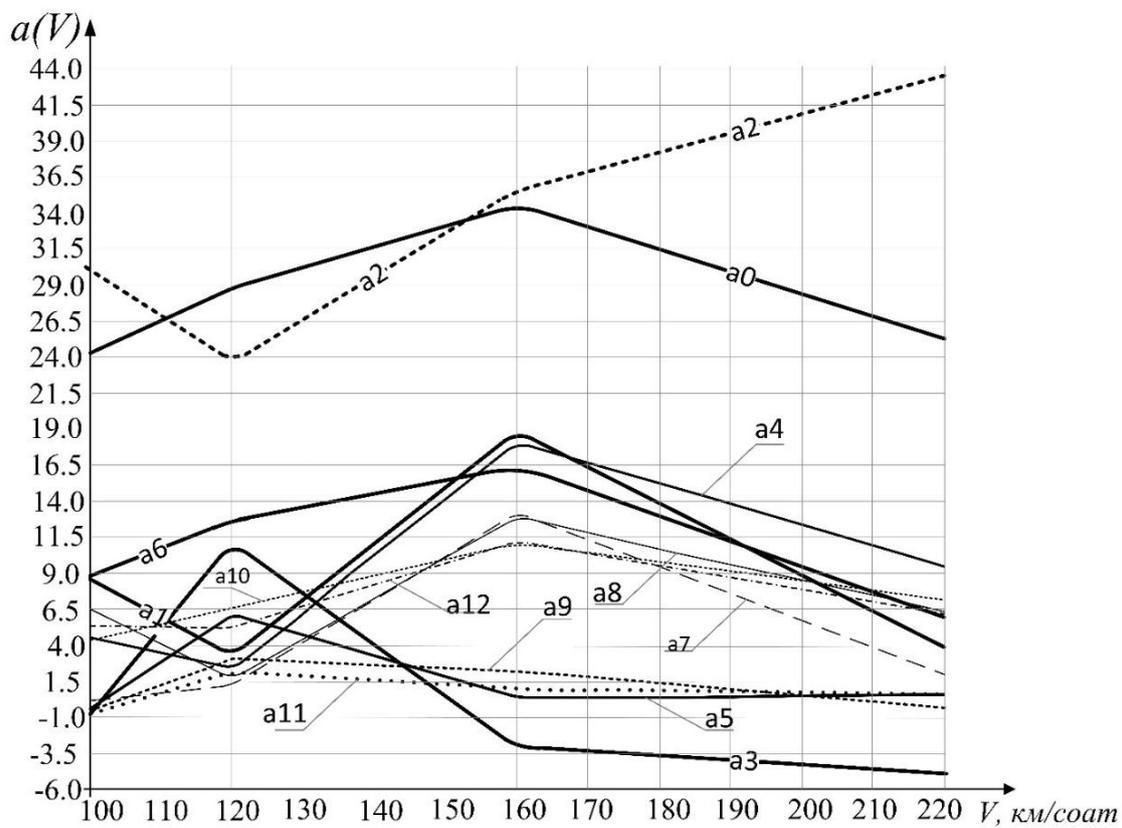
$$\psi(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos[\omega_0 n(t - t_1)], \quad (17)$$

бу ерда 
$$a_n = \frac{2}{t_2 - t_1} \int_a^b \psi(t) \cos[\omega_0 n(t - t_1)] dt \quad \text{и} \quad \omega_0 = \frac{\pi}{t_2 - t_1}.$$

Контакт симнинг тезликка боғлиқ ҳолдаги тебранишлари гармоникаларининг  $a_n$  амплитуда графиклари 10-расмда кўрсатилган.  $a_n = f(V)$  боғлиқликларнинг тузилган графикларини таҳлил қилиш натижаларига кўра тезлик ортиши билан барча гармоникалар камайиши ва контакт сим тебранишлари амплитудасига таъсир этмаслиги аниқланди. Фақатгина 2-гармоника узлуксиз ортади, бу эса уни камайтириш бўйича чораларни кўришни талаб этади.



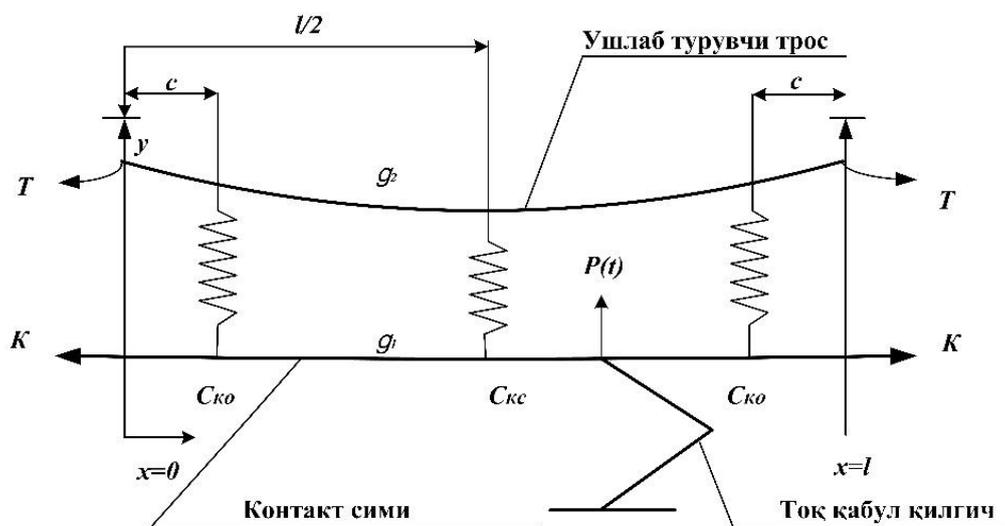
**9-расм. «Ток қабул қилгич – контакт осмаси» тизимидаги асосий тебранишлар характери**



**10-расм. Электрпоезд ўтиб кетганидан сўнг контакт сими тебранишлари гармоникаларининг тезликка боғлиқлик графиклари**

«Ток қабул қилгичнинг контакт осма билан ўзаро таъсири моделини ишлаб чиқиш» номли тўртинчи бобда ток қабул қилгичнинг контакт осма билан ўзаро таъсирини моделлаштириш ҳамда контакт османи тақсимланган параметрларга эга тебраниш тизими сифатида кўриб чиқилгандаги ток олиш динамикасини ҳисоблаш усули, шунингдек ток олишнинг бузилиши билан кечадиган турли режимларда электр ёй жараёнларини математик моделлаштириш кўриб чиқилди.

КТнинг ишлаб чиқилган динамик модели даврий структура сифатида кўриб чиқилди, бунда такрорланадиган элемент сифатида КТнинг таянчлараро оралиқи олинди (11-расм).



11-расм. КТнинг ишлаб чиқилган динамик модели

Гамильтон принципини қўллаш асосида КО ва ТҚҚнинг ўзаро таъсирини таҳлил қилиш учун қуйидаги дифференциал тенглама олинди:

$$(g_1 + g_2)l \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} + c_k q(t) = P(t), \quad (18)$$

бу ерда  $g_1, g_2$  – сим ва троснинг погонли оғирлиги;  $q(t)$  – контакт нуқтасининг оғишиши,  $P(t)$  – симнинг босиш кучи,  $c_k$  – контакт осма қаттиқлиги.

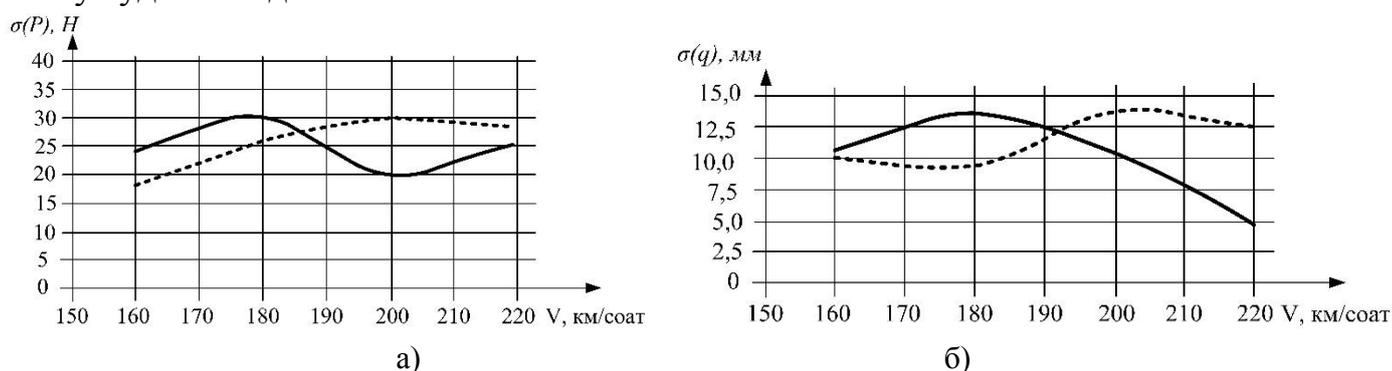
Ушбу математик модель асосида Maple дастури ёрдамида ҳаракатланиш тезлигига нисбатан контакт босишнинг  $\sigma(P)$  ўртача квадрат оғишиши ва ТҚҚ вертикал силжишнинг  $\sigma(q)$  ўртача квадрат оғишиши боғлиқликлари қурилди (рис 12, а, б).

Ушбу графиклардан 180-190 км/с дан ортиқ тезликда ушлаб турувчи трос таранглигини оширишнинг мақсадга мувофиқ эмаслиги тўғрисида хулоса қилиш мумкин.

Бир қанча ТҚҚларга эга электр транспортининг юқори тезликда ҳаракатланишида ток олиш динамикаси тақсимланган параметрларга эга тебраниш тизими сифатида намоён бўлиши кўрсатилган. Бунда бир қанча ТҚҚларнинг КО билан ўзаро таъсирини ўрганиш учун суперпозициялар усулидан фойдаланиш ҳамда бир қанча ТҚҚларнинг тебраниши тўғрисидаги

масала ечимини битта ТҚҚ тебраниши тўғрисидаги масаланинг ечими каби бажариш мумкин.

$T=15$  кН тарангликка эга ПБСМ ушлаб турувчи тросидан ва  $K=20$  кН тарангликка эга БрФ контакт симдан ташкил топган КТдаги меъёрий тебранишлар аниқланди ва EXCEL жадвалида (мухитида) алгоритм ишлаб чиқилди. ТҚҚнинг  $V=180$  км/с тезлик билан ўтишида КО симларида тебранишларнинг вужудга келишини математик моделлаштириш амалга оширилди. Частоталар герц бирликларидан ( $\nu_I=1,07$  Гц,  $\nu_{II}=2,067$  Гц) бошланиши аниқланди, бу эса электр ҳаракатланувчи таркиб кузовининг тебранишлари учун хос. ТҚҚнинг тебраниш частоталари османинг меъёрий тебранишлари частоталарига мос келганда, резонанс ҳодисалар вужудга келиши аниқланди. Резонанс соҳалари бир-биридан  $\Delta\nu\approx 8$  Гц масофада вужудга келади.



**12-расм. ЭХТнинг турли ҳаракатланиш тезликларида ва таянч троснинг турли таранглигида таянчлараро ораликдаги  $\sigma(P)$  контакт босишнинг (а) ҳамда контакт сим ва ТҚҚ  $\sigma(q)$  вертикал силжишларининг ўртача квадрат оғишлари (б)**

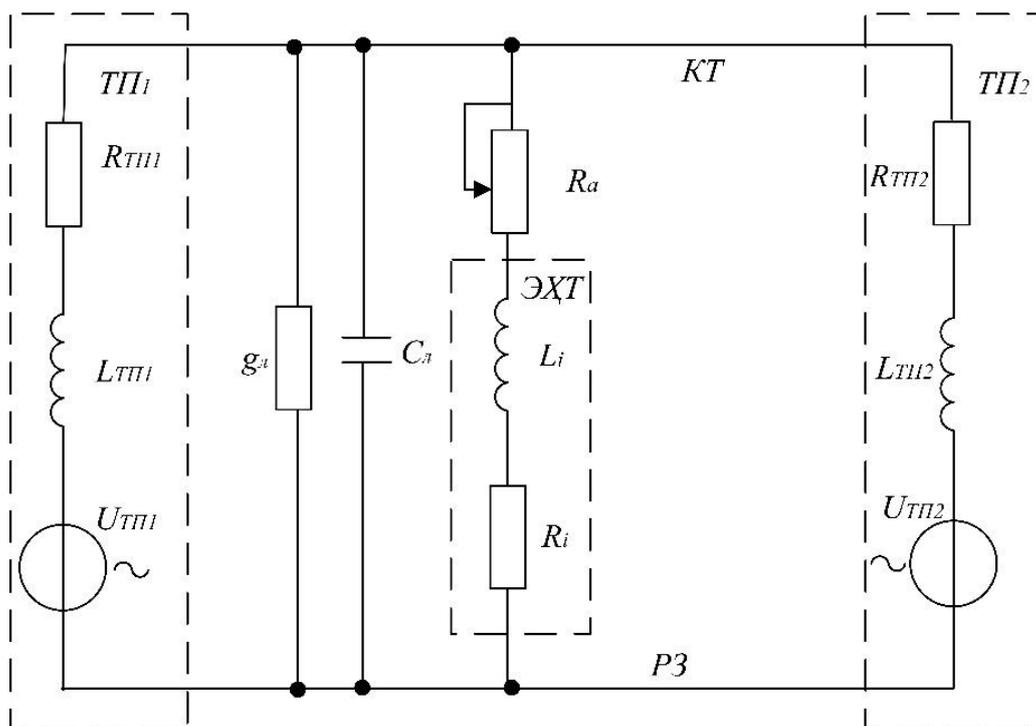
Ток олишнинг турли режимларида электр ёй жараёнлари кўриб чиқилди (13-расм).

Ёй токи  $i_a(t)$ нинг ифодаси олинди:

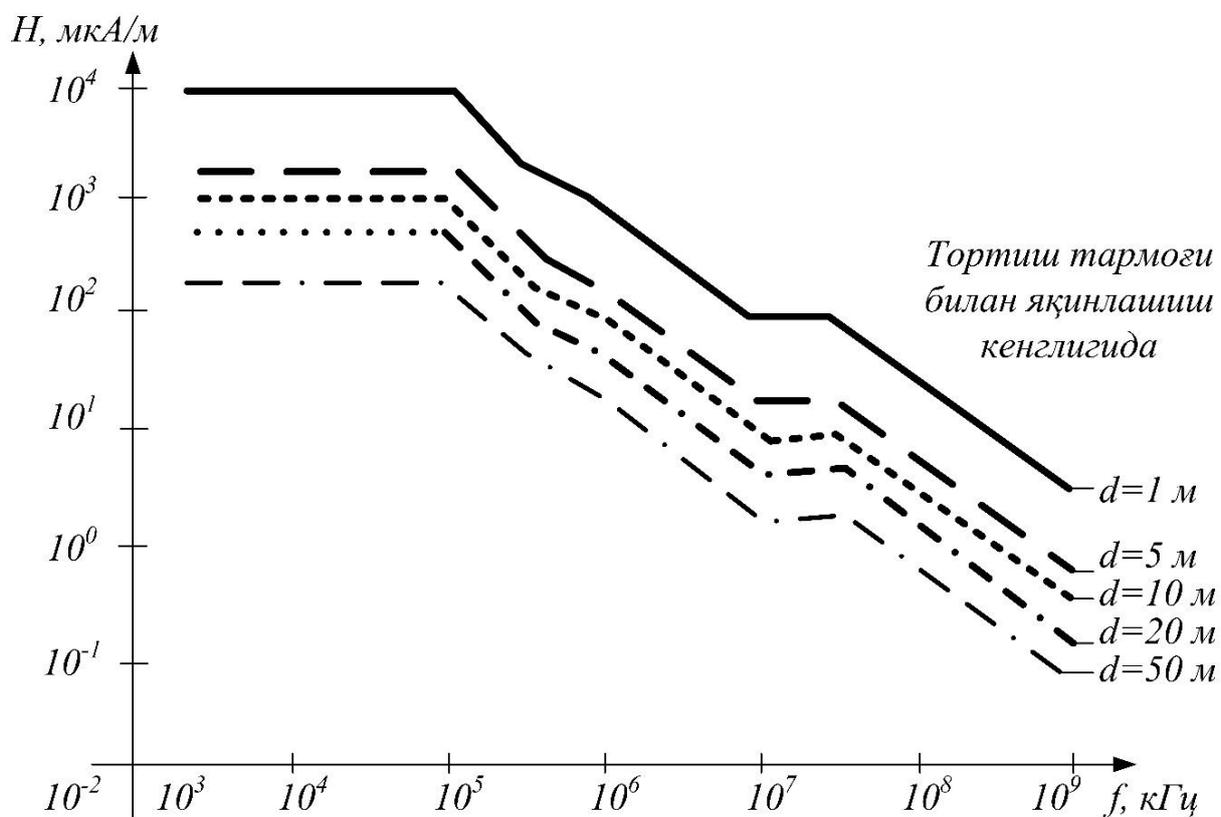
$$i_a(t) = j(t) - \int_0^i y_N(t - \tau) \left[ \left( \frac{l_a(\tau)}{G_a(\tau)} + R_i \right) i_a(\tau) + L_i \frac{di_a}{dt} \Big|_{i=\tau} \right] dt, \quad (19)$$

бу ерда  $R_i$  и  $L_i$  – электр ҳаракатланувчи таркибнинг эквивалент қаршилиги ва индуктивлиги;  $l_a(\tau)$  – полоз ва контакт сим ўртасидаги масофаси.

$i_a$ ,  $G_a$  ва  $d_{ia}/dt$  параметрлари учун берилган бошланғич шартлар асосида дастлабки тенгламаларни миқдорий ечиш учун Рунге-Кутта усулидан фойдаланилди. 14-расмда магнит майдонининг тортиш тармоғи билан яқинлашишининг турли кенгликларида кучланганликнинг амплитуда-частотали диаграммаси келтирилган. Ушбу диаграмма таъсир этувчи омилларнинг турли катталикларида радио тўсиқларни миқдорий баҳолаш мақсадида қўлланиши мумкин.



**13-расм. Электр ҳаракатланувчи таркиб юқори тезликли линиянинг ўзаро контактланувчи элементлари орасида ёй пайдо бўлгандаги алмашлаш схемаси: ТП – тортувчи подстанция; РЗ – релс занжири**



**14-расм.  $H(f)$  амплитуда-частотали диаграмма**

## ХУЛОСА

«Юқори тезликли электр ҳаракат таркиби ток қабул қилгичи ва контакт тармоғининг ўзаро таъсирини тадқиқ этиш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Контакт симнинг силжийдиган ТҚҚ билан ўзаро таъсирида КОда турли частотали ва хар хил тезликда тарқалувчи югурувчи тўлқинлар ҳосил бўлиши аниқланди. Натижада «ток қабул қилгич – контакт осма» механик тизими учун асосий тебраниш частотасини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқаришга эришилди.

2. Силжийдиган ТҚҚ таъсир этадиган КОнинг симларидаги тебраниш жараёнларини математик моделлаштиришда симларнинг оғирлик кучларини ҳисобга олган ҳолда тенгламаларни қўллаш зарурлиги аниқланди. Натижада маълум массасли КТ симлари учун парабола тенгламаси, симнинг эркин осилиш қиймати ва сим осилиш ҳолатидаги парабола узунлиги учун тенгламаларни олиш имконини берди.

3. ТҚҚ контакт симга таъсир қилган ҳолатда ушбу симнинг контакт зонасидаги таранглиги ТҚҚни статик босишга пропорционал тарзда камайиши аниқланди. Натижада ишқаланувчи қисм томонидан маҳалий куч таъсир қилганда юзага келган горизонтал кучнинг ўзгариши ва контакт симини имитация қилувчи маълум массали ип осилиши ифодасини олиш имконини берди.

4. Математик модел асосида конструктив хусусиятлари билан боғлиқ КО қаттиқлигининг ўзгариши 180 ка/соат тезликларда ток узатишнинг ёмонлашувига олиб келиши аниқланди. Натижада математик модел асосида ушлаб турувчи трос таранглигининг самарали қийматини олиш имконига эга бўлинди.

5. Ушлаб турувчи троснинг тебранишларида унда фақат бир жойда турувчи тўлқинлар вужудга келиши аниқланди ва уларни MathCAD программа математик моделлаштириш дастури ёрдамида ўрганилди. Натижада тебраниш жараёнида тахминан 8 Гц кенгликка эга частоталар чизиғи билан ажратилган кенг чизиқли резонансларни юзага келиш ҳолатларини бартараф этиш чора тадбирларини ишлаб чиқиш имконини берди.

6. КО симлари таранглигини ўзгартириш орқали КО динамик параметрлари моделлаштирилди. Натижада ток олиш сифатини ошириш мақсадида қайтарилган тўлқинларни сўндириш имконияти пайдо бўлди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
PhD.28.06.2018.Т.73.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**БАЯНОВ ИЛДАР НАЗИПОВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОКОПРИЕМНИКА И  
КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ  
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**05.08.05 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и  
электрификация**

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

**Ташкент – 2019**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2019.1.PhD/Т1030**

Диссертация выполнена в Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tashiit.uz](http://www.tashiit.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Научный руководитель:** **Амиров Султон Файзуллаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Гайибов Тулкин Шерназарович**  
доктор технических наук, профессор

**Валиев Мухаммад Шералиевич**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **ООО «Научно-технический центр» АО «Ўзбекэнерго»**

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании Научного совета PhD.28.06.2018.Т.73.01 при Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта (Адрес: 100167, г Ташкент, ул. Адилходжаева, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: [tashiit\\_rektorat@mail.ru](mailto:tashiit_rektorat@mail.ru)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта (регистрационный номер \_\_\_\_). (Адрес: 100167, Ташкент, ул. Адилходжаева, 1. Тел.: (99871) 299-00-01.

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.  
(протокол рассылки № «\_\_» от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.).

**А.И. Адилходжаев**  
Председатель Научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

**Я.О. Рузметов**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению учёных степеней, к.т.н., доцент

**Ш.С. Файзибаев**  
Председатель научного семинара при Научном совете по  
присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире ведущее место занимают работы по модернизации взаимодействия токоприемника (ТК) и контактной подвески (КП), которые обеспечат безопасность движения высокоскоростных поездов, позволят разработать новые КП для обеспечения непрерывного электроснабжения подвижного состава. В этом направлении особое внимание занимает разработка дистанционных измерительных приборов для контроля и регулировки натяжения проводов контактной сети (КС), производство проводов КП и фиксирующих устройств контактной сети. В этой связи в развитых странах мира, таких как США, Франция, Германия, Япония, Китай и др., уделяют особое внимание совершенствованию устройств управления, а также модернизации устройств контактной сети и технологий, повышающих эффективность грузовых и пассажирских перевозок.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по созданию контрольно-измерительных приборов и устройств для контроля взаимодействия ТК и контактной сети, а также повышения их надежности и качества. В этой области одной из важных задач считается разработка измерительных датчиков контроля вибраций колебаний токоприемника подвижного состава и КС, создание приборов контроля состояния проводов КП, создание метода расчета контактной подвески с сосредоточенными нагрузками. Вместе с этим, считается необходимым определение критериев качественного токосъема от величины натяжения проводов контактной подвески для поездов при высоких скоростях движения.

В нашей республике осуществляются меры по развитию различных сфер транспорта, в том числе разработка новых типов технических средств для контроля и управления технологическими параметрами высокоскоростных поездов. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечены ряд задач, в частности: «...повышение конкурентоспособности национальной экономики, сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии...»<sup>1</sup>. Реализация данных задач, в том числе разработка информационно-вычислительный комплекса фактического состояния КС в виде созданной структурной схемы измерительно-вычислительного комплекса, метода расчета волновых процессов в проводах контактной сети, математических моделей нормальных колебаний проводов контактной подвески и электродуговых процессов, является одной из важнейших задач.

Представленная диссертация в определённой степени служит выполнению Закона Республики Узбекистан «О железнодорожном

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

транспорте» (1999), Указа Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года и Постановления Президента № ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года и других нормативно-правовых документов, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики – II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Технические решения актуальных задач по повышению качества и надежности токосяема с КС при высокоскоростном движении электрического транспорта и выработка рекомендаций осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в лаборатории Сайсан Кэнкю Токийского университета, Математическом институте Оксфордского университета, компании Royal Aircraft Establishment (Великобритания), Научно-техническом центре математического обеспечения вычислительных машин фирмы FEG-Telefunken (Франкфурт на Майне), Российском государственном университете транспорта (МИИТ), ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ВНИИЖТ), Омском институте инженеров транспорта (ОмИИТ). Значительный вклад в решение проблем токосяема внесли ученые: A.Cipriani, A.Kazimierczak, H.Grimrath, F.Kiessling, И.А.Беляев, Н.А.Буше, И.И.Власов, Л.А.Вислоух, В.А.Вологин, К.Г.Марквардт, В.П.Михеев, А.В.Плакс, И.Я.Сегал, В.Е.Чекулаев, а также другие ученые и специалисты.

Силами этих специалистов разработаны принципы учета в расчетных схемах гасящих свойств ТК и КП, даны обоснования важных допущений, рассмотрены взаимовлияние нескольких ТК. Вместе с тем, во всех предложенных работах не учитываются в должной степени влияние волновых процессов в КС при прохождении токоприемника.

**Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ ВУЗа, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в рамках Гос. проектов №7 «Взаимодействие токоприемника и контактной сети при высокоскоростном движении электрического транспорта» (2012-2014) и № 11 «Оптимизация потерь электрической энергии при высокоскоростном движении электрического транспорта» (2014-2016) по плану научно-исследовательских работ Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

**Целью диссертации** является решение задач повышения качества токосяема с контактной сети при высокоскоростном движении и выработка технических решений.

**Задачи исследования:**

выявление пути повышения безаварийности, безопасности и качества токосяема при высокоскоростном движении электрического транспорта;

реализация надежного контакта ТК электроподвижного состава (ЭПС) с контактным проводом (к.п.) за счет рационального значения силы нажатия при высокоскоростном движении электрического транспорта;

создание методики расчета динамического взаимодействия ТК и КП, соответствующая современным требованиям и повышение точности из-за уменьшения количества допущений и применения новых информационных технологий;

создание математической модели нормальных колебаний КП.

**Объект исследования** – токоприемники и контактные подвески для высокоскоростного движения.

**Предметом исследования** является взаимодействие токоприемника и контактной сети высокоскоростной железной дороги.

**Методы исследования.** Применялись аналитические методы исследования и математическое моделирование колебаний проводов КП с помощью программных продуктов Excel, Maple и MathCAD. Анализ гармоник колебаний к.п. выполнялся путем разложения экспериментальных функций в ряды Фурье.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан информационно-вычислительный комплекс фактического состояния контактной сети в виде созданной структурной схемы измерительно-вычислительного комплекса;

определено влияние значений натяжений проводов КП на критерии качественного токосъема при скоростях от 160 до 250 км/ч с помощью выведенного уравнения взаимодействия ТК с КП;

разработаны методы расчета волновых процессов в проводах КС и выявлены причины возникновения резонанса в системе «токоприемник-контактная подвеска» с помощью разработанного алгоритма;

получены характеристики совокупности волн, распространяющихся по КП с помощью разложения функции колебаний по полной системе ортонормированных функций;

разработаны математические модели нормальных колебаний контактной подвески и электродуговых процессов при различных режимах тяги.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

выведено уравнение взаимодействия токоприемника с контактной подвеской для определения значений натяжения проводов КП на высокоскоростных контактных подвесках;

разработаны мероприятия для устранения причины возникновения резонанса в системе «токоприемник-контактная подвеска»;

разработаны математические модели вертикальных нормальных колебаний проводов контактной подвески и электродуговых процессов в системе «токоприемник-контактная сеть» при различных режимах тяги.

**Достоверность полученных результатов исследования.** Достоверность результатов исследования изменения натяжения и провеса к.п. под действием ТК, а также разработка метода расчета электрического поля скользящей пары «токоприемник-контактный провод», моделирования

взаимодействия ТК с к.п., разработка метода расчета динамики токосяема при рассмотрении контактной подвески как колебательной системы с распределенными параметрами подтверждается совпадением полученных теоретических и экспериментальных результатов с использованием современных средств и методик проведения исследований.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научной значимостью работы является определение влияния значений величин натяжений проводов КП на критерии качественного токосяема при скоростях от 160 до 250 км/ч, обновление метода расчета волновых процессов в КП и условий возникновения резонанса в системе «токоприемник-контактная подвеска».

Практической значимостью работы является то, что итоги исследования по определению величины рационального натяжения несущего троса (н.т.) позволяют повысить долговечность работы н.т., сокращают время и затраты на техническое обслуживание и все виды ремонтов КП, и, следовательно, увеличивают время между капитальными ремонтами КП.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных результатов по исследованию взаимодействия токоприемника и контактной сети при высокоскоростном движении электроподвижного состава были внедрены:

метод расчета влияния величины натяжения проводов контактной подвески на критерии качественного токосяема при скоростях 160-250 км/ч на предприятиях службы электроснабжения АО «Ўзбекистон темир йўллари» (справка №НГ/4853-19 АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 22 августа 2019 года). В результате получено уменьшение износа контактного провода в 2 раза;

разработанные математические модели нормальных колебаний проводов контактной подвески и электродуговых процессов в системе «токоприемник-контактная сеть» при различных режимах тяги на предприятиях службы электроснабжения АО «Ўзбекистон темир йўллари» (справка №НГ/4853-19 АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 22 августа 2019 года). В результате были применены мерные токопроводящие струны на железнодорожном участке Ташкент-Самарканд;

разработанные ведомственные технические указания по производству и приемке строительных и монтажных работ при электрификации высокоскоростных железных дорог (устройства контактной сети)(ВСН-446-Н), ведомственные технические указания по проектированию контактной сети высокоскоростных железных дорог (ВСН-447-Н), ведомственные технические указания по инфраструктуре высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент-Самарканд (ВСН-448-Н) (справка №НГ/4853-19 АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 22 августа 2019 года). В результате были применены полимерные изоляторы на консолях контактной сети. Безотказность работы контактной сети увеличилась в 5 раз.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования прошли апробацию на 15 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и 13 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 1 статья в зарубежной и 4 статьи в республиканских периодических научных журналах, рекомендованных ВАК РУз.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений. Объем диссертации составляет 111 страница.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность работы, освещено состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, даны характеристики объекту и предмету исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения об внедрениях результатов научных исследований в производство и учебный процесс.

В первой главе «**Обзор существующих исследований по взаимодействию токоприемника с контактной подвеской при высокоскоростном движении электрического транспорта**» представлены общие сведения об организации высокоскоростного движения, выполнен анализ изучения вопроса взаимодействия ТК и КС, рассмотрены развитие высокоскоростного движения на железных дорогах Узбекистана, а также произведён анализ технических требований к токосъему.

Выявлено, что широко используемые методы расчета не отражают реальных процессов при токосъеме, так как не учитываются волновые процессы в проводах КП. Большое значение для хорошего токосъема при высокоскоростном движении имеет надежный контакт ТК с к.п., возможный только при их устойчивом соприкосновении. Малое нажатие может спровоцировать электродугу, при которой происходит отжиг контактирующих элементов. Сильное нажатие ведет к усилению механического износа к.п. и ТК и к возможности столкновениям ТК с элементами подвески.

Показано, что возникает задача удержания контактного нажатия в некотором интервале значений  $\Delta P_k$ , определяющим устойчивый токосъем, но так как этот интервал оказывается неодинаковым для разных типов ТК и к.п., то требуется рационализация интервала  $\Delta P_k$ .

Установлено, что в общем виде нажатие ТК на к.п. определяется двумя выражениями:

$$\text{а) при рассмотрении токоприемника: } P_k = P_0 + P_A \pm P_{\text{дин.т}} \pm P_{\text{тр.т}}, \quad (1)$$

$$\text{б) при рассмотрении контактной подвески: } P = \frac{\Delta y}{\eta} \pm P_{\text{дин.к}} \pm P_{\text{тр.к}}, \quad (2)$$

где  $P_0$  – приведенная к верхнему узлу ТК сила нажатия пружин ТК, Н;  $P_A$  – полная аэродинамическая сила, действующая на ТК, Н, (она включает

подъемную силу  $P_y$ , силу лобового сопротивления  $P_x$ , и боковую силу воздействия на ТК ветра  $P_z$ );  $P = -m_0 \frac{4\pi V^2}{l^2} y$ , – динамические силы ТК, Н;  $m_0$  – приведенная масса КП, кг;  $y$  – вертикальное смещение КП, м;  $V$  – скорость движения ЭПС, км/ч;  $l$  – длина пролета, м;  $P_{дин.к}$  – динамические силы КП, Н,  $P_{тр.т}$  – приведенные к точке контакта суммарные силы трения ТК, Н;  $P_{тр.к}$  – приведенные к точке контакта суммарные силы трения КП, Н;  $\Delta y$  – подъем к.п. под действием ТК, м;  $\eta$  – эластичность КП, мм/Н.

Выявлено, что величина  $m_0$  не постоянна по пролету, зависит от эластичности КП, поэтому необходимо использовать ее среднее значение. Установлено, что используются несколько моделей системы «контактная сеть – токоприемник», в силу чего применяют несколько типов расчетных формул, определяющих величину  $m_0$ . В системе СИ формула имеет вид:

$$m_0 = 0.055 \sqrt{g_k l \left(1 - \frac{\Delta \eta}{2.5}\right) \left(\frac{P_0 + P_A + P_{дин.т}}{g}\right)}, \quad (3)$$

где  $g_k$  – масса одного метра к.п., кг/м;  $P_0$  – силы нажатия ТК, создаваемая пружинами, Н;  $P_A$  – полная аэродинамическая сила, действующая на токоприемник, Н;  $P_{дин.т}$  – динамические силы ТК, Н;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Выявлено, что качество токосъема оценивается многими параметрами, одним из которых является коэффициент отрыва ТК:

$$k_{от} = (\sum t_{от} / t) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $\sum t_{от}$  – суммарная продолжительность нарушения механического контакта, с;  $t$  – время прохождения ТК данного участка КС, с.

Во второй главе **«Принципы оценки и прогнозирования качества содержания контактной сети при высокоскоростном движении электрического транспорта»** представлены мониторинг контроля состояния системы токосъема при высокоскоростном движении электрического транспорта, выполнено исследование основных параметров ТК и КП при высокоскоростном движении и разработана методика расчета вертикальных перемещений токоприемника при высокоскоростном движении.

Выявлено, что техническим средством мониторинга является система комплексного анализа измеряемых параметров КС с целью выявления технических отступлений от нормативных данных, а также причин их появления и определения экономически обоснованных способов устранения.

Предложена общая схема разработанного информационно-измерительного комплекса (рис. 1.) Средства технической диагностики КС представляют собой комплекс специализированных устройств и приборов. Встроенные устройства используют для непрерывного контроля отдельных параметров, такие как контроль работы компенсирующих устройств, тепловая защита проводов и т.п.

Показано, что надежность КС в основном определяется количественными и качественными характеристиками. К ним относятся

безотказность, ремонтпригодность и долговечность элементов.

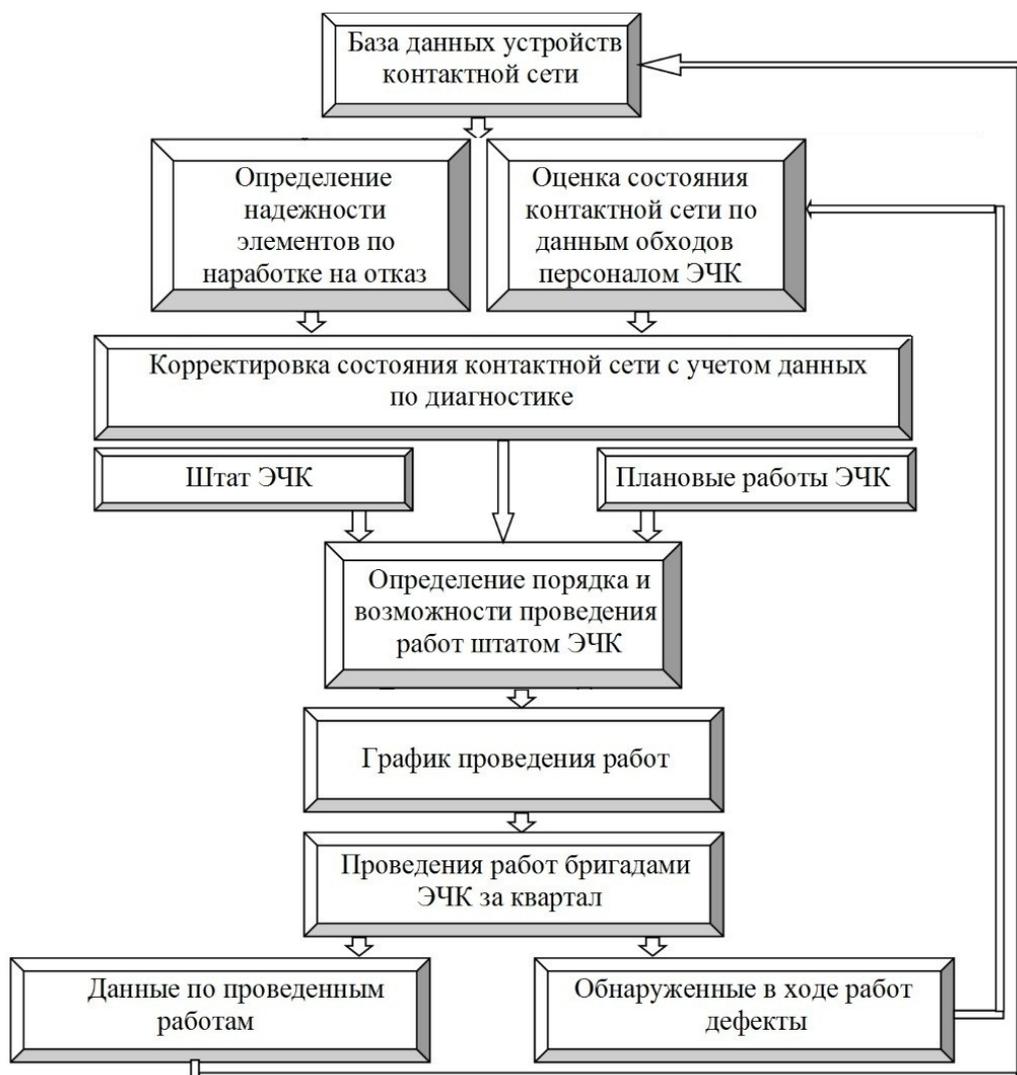
На рис. 2 показана вероятность безотказной работы КС в зависимости от сроков эксплуатации. Выявлено, что база данных мониторинговой системы должна учитывать весь комплекс устройств КС.

Выявлено, что при взаимодействии КП необходимо учитывать скорость движения состава и колебание локомотива. Рассмотрено абсолютное движения асимметричного ТК при двух степенях подвижности (рис. 3).

Траектория движения точки контакта  $y_B$  может быть задана в виде гармонических колебаний с амплитудой  $A_1$ , равной полуразмаху ее перемещений в пролете. Установлено, что при наличии уклона к.п. по отношению к пути под углом  $\gamma$ , вертикальная координата точки  $B$  составит:

$$y_B = h_{cp} \pm x_B \operatorname{tg} \gamma + \frac{A_1}{\cos \gamma} \sin kt \approx h_{cp} \pm x_B \operatorname{tg} \gamma + A_1 \sin kt, \quad (5)$$

где  $h_{cp}$  – средняя высота ТК;  $x_B$  – горизонтальная координата точки  $B$ , которая совпадает с соответствующей координатой основания ТК;  $A_1$  – амплитуда колебаний точки контакта;  $k$  – основная частота вертикальных колебаний точки контакта.



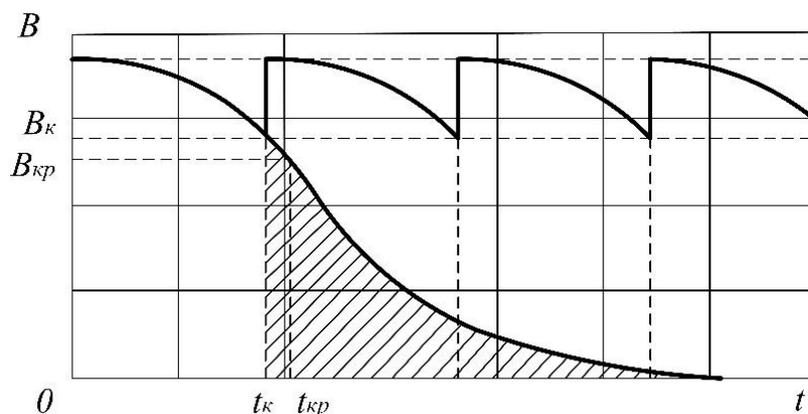
**Рис. 1. Общая структурная схема информационно-измерительного комплекса**

Вертикальное возмущение основания токоприемника имеет вид:

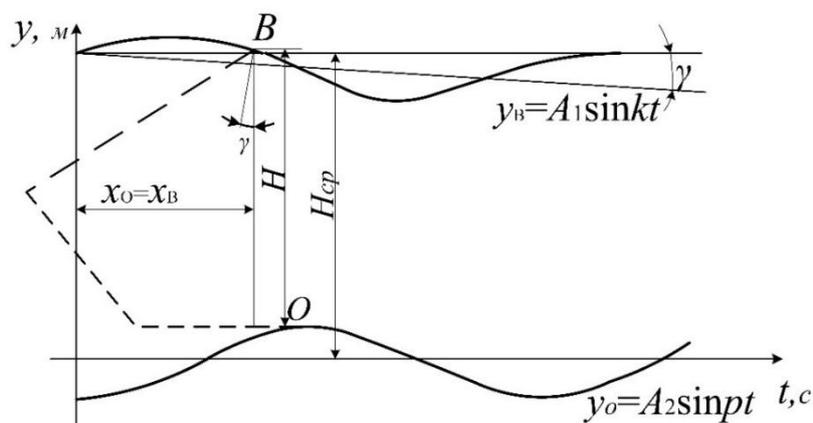
$$y_0 = A_2 \sin pt, \quad (6)$$

где  $A_2$  – амплитуда колебаний основания токоприемника контакта;  $p$  – угловая частота вертикальных перемещений основания токоприемника.

Выявлено, что одним из основных параметров КП является жесткость  $c_k$ . Установлено, что характеристика жесткости определяется типом КП и ее основными параметрами. Жесткость может быть функционально и нелинейно связана с прилагаемой вертикальной нагрузкой. Выявлено, что основное влияние на жесткость КП в зоне опорного узла оказывают сила натяжения несущего троса и контактного провода, длина рессорного троса, расстояние от оси опоры до первой простой струны.



**Рис.2. Вероятность безотказной работы контактной сети в зависимости от срока эксплуатации при проведении планово-предупредительного ремонта**



**Рис. 3. Общий характер вертикальных перемещений токоприемника**

Установлено, что вдоль анкерного участка абсолютное значение  $c_k$  в схожих точках пролетов неодинаково, но оно легко учитывается. Расчеты показали, что такой учет не нужен для исследования инерционных процессов в контакте, но необходим при определении вертикальных перемещений проводов.

В третьей главе «Исследование взаимодействия токоприемника с контактными подвесками различных типов при максимально-допустимых скоростях движения» выполнен расчет изменения провеса и натяжения к.п. при воздействии токоприемника и разработана методика расчета электрического поля скользящей пары «токоприемник-контактный провод», а также рассмотрены главные колебания в системе «токоприемник-контактная подвеска».

Выявлено, что вертикальные волны в КП от контактного нажатия рабочих ТК движущегося ЭПС, ухудшают качество токосъема, особенно при возникновении резонансных явлений. Показано, что н.т. и к.п. подвески в состоянии равновесия можно рассматривать как нити, обладающие собственными массами, создающими нагрузку  $Q$ , равномерное распределение которой  $q = Q/l$  осуществлено с помощью вертикальных струн (рис.4,а). Получены следующие уравнения кривой  $y(x)$ , величина провеса  $f_{CB}$  и длины нити с провесом  $L$ :

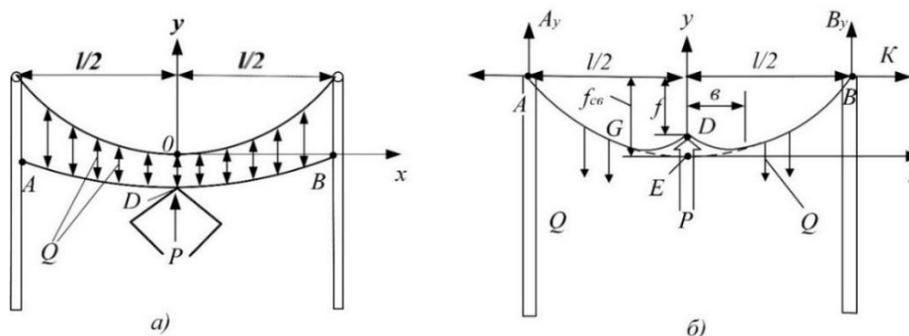
$$y(x) = \frac{qx^2}{2K}; \quad f_{CB} = \frac{ql^2}{8K}; \quad L = l \left[ 1 + \frac{8f_{CB}}{3l} \right]^2 = l \left[ 1 + \frac{q^2 l^2}{24K^2} \right], \quad (7)$$

где  $K$  – сила натяжения к.п., Н.

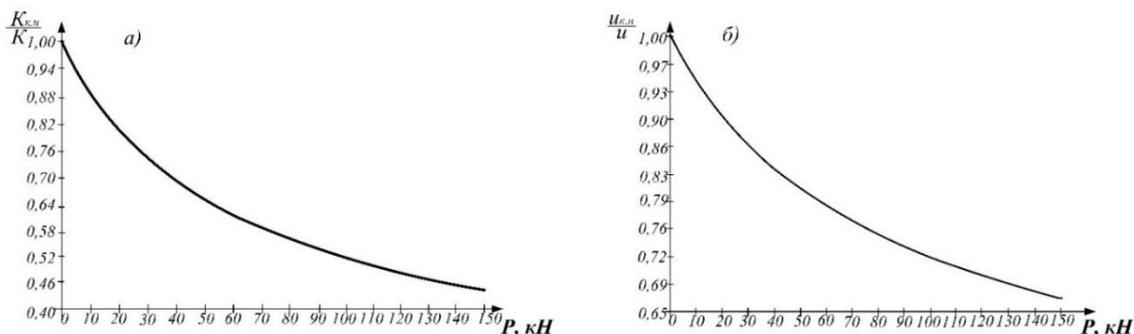
Показано, что кривая, образованная нитью при одновременном действии двух нагрузок (рис. 4, б)  $q$  и  $P$  состоит из двух симметричных ветвей парабол  $AD$  и  $BD$ , которые пересекаются в точке  $D$ . Путем преобразования выражений для нагрузок  $q$  и  $P$  и с учетом (7), получено выражение для горизонтальной силы натяжения и стрелы провеса:

$$K_{к.п} = \frac{K}{\sqrt{1+3v+3v^2}}; \quad (8) \quad f = f_{CB} \frac{1-2v}{\sqrt{1+3v+3v^2}}. \quad (9)$$

Выполнены расчеты величины силы натяжения  $K_{к.п}$  (рис. 5, а) и скорости вертикальной волны  $U_{к.п.}$  (рис. 5, б) для к.п. подвески КС-250-25UZ при контактном нажатии с силой  $P=80 \dots 120$  Н и при свободном провесе  $f_{CB}=30$  мм на высокоскоростном участке «Янгьер-Даштабад». Расчеты выполнены в программной оболочке MathCAD .



**Рис.4. Форма контактного провода одинарной контактной подвески над токоприемником**



**Рис.5. Изменение локального натяжения (а) и скорости вертикальной волны (б) в контактном проводе в области приложения сосредоточенной силы со стороны токоприемника**

Анализ кривой локального натяжения показал, что воздействие ТК существенно изменяет натяжение к.п. от первоначальной величины. Выявлено, что воздействие ТК также влияет на скорость распространения волны (рис.5, б).

Электрическое поле в зоне стыка пантографа ЭПС с проводом КС (рис.6) оказывает влияние на возгорание дуги между ними. Оно в работе определено в виде потенциалов заряда линии DAC  $\varphi_1$  и ЕАВ  $\varphi_2$  в произвольной точке  $M(x,y,z)$  следующим общим уравнением Пуассона:

$$\varphi_1 = \int_{-A}^{+A} \frac{\tau R dl_x}{2\pi\epsilon\epsilon_0 S_1} = C \int_{-A}^{+A} \frac{dx_1}{\sqrt{(x-x_1)^2+y^2+(z-z_0)^2}}; \quad (10)$$

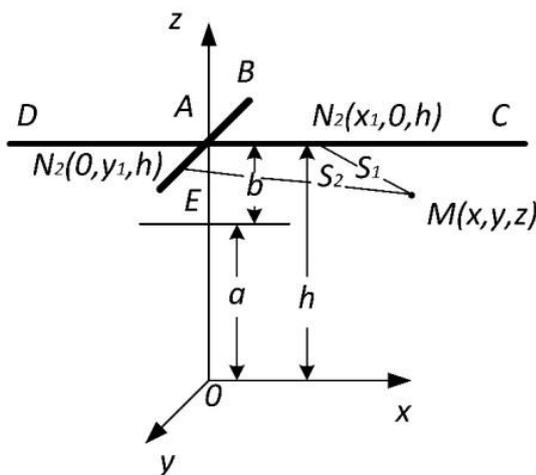
$$\varphi_2 = \int_{-1}^{+1} \frac{\tau R dl_y}{2\pi\epsilon\epsilon_0 S_2} = C \int_{-1}^{+1} \frac{dy_1}{\sqrt{(x-a)^2+(y-y_1)^2-(z-z_0)^2}}, \quad (11)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $C = R\tau/(2\pi\epsilon_0\epsilon U)$ .

Частное решение уравнений Пуассона получено с учетом соответствующих граничных условий в следующем виде:

$$\varphi_1 = C \ln \frac{\left| \frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2+y^2+(z-h)^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2+y^2+(z-h)^2}} \right|}{\left| \frac{(x+A) + \sqrt{(x+A)^2+y^2+(z_1-h)^2}}{(x-A) + \sqrt{(x-A)^2+y^2+(z_1-h)^2}} \right|}; \quad (12)$$

$$\varphi_2 = C \ln \frac{\left| \frac{(y+1) + \sqrt{(x-a)^2+(y+1)^2+(z-h)^2}}{(y-1) + \sqrt{(x-a)^2+(y-1)^2+(z-h)^2}} \right|}{\left| \frac{(y+1) + \sqrt{(x-a)^2+(y+1)^2+(z_1-h)^2}}{(y-1) + \sqrt{(x-a)^2+(y-1)^2+(z_1-h)^2}} \right|}. \quad (13)$$



**Рис.6. Схема распределения потенциала электрического поля контактной сети:**

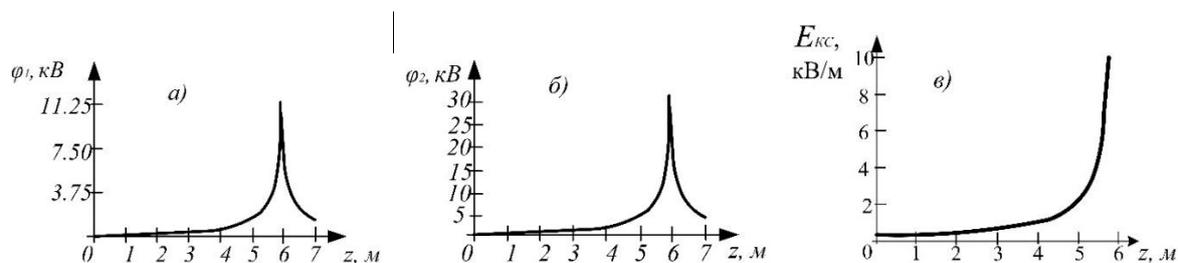
А - скользящий стык между проводом контактной сети DAC и лыжей пантографа ЕАВ;  $S_1, S_2$  – расстояния от произвольной точки  $M(x, y, z)$  пространства до точки  $N_1(x_1, 0, h)$  на линии DAC и до точки  $N_2(0, y_1, h)$  на линии ЕАВ соответственно

Вертикальное распределение напряженности электрического поля заряда определяется путем дифференцирования функции потенциала:

$$E_{КС} = \frac{d(f_1)}{dz}; \quad E_{ТС} = \frac{d(f_2)}{dz}; \quad E_{КС+ТС} = \frac{d(f_1+f_2)}{dz}. \quad (14)$$

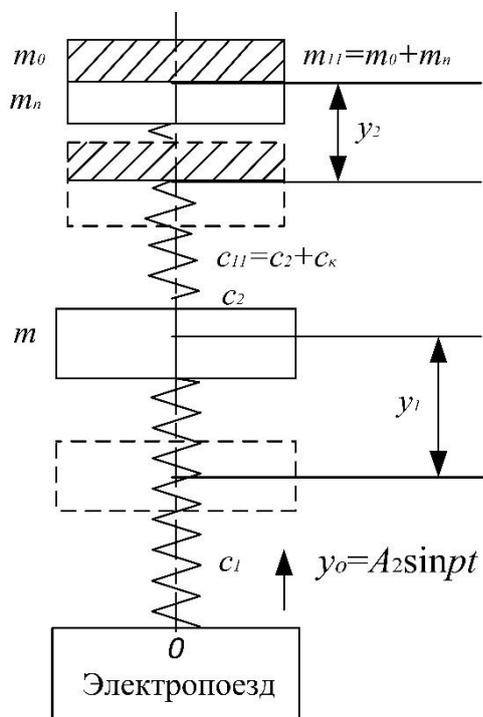
Анализ полученных уравнений (12), (13), (14) и их графиков (рис. 7, а, б, в) показывает, что распределение потенциала в произвольной точке М имеет одну и ту же форму независимо от параметров контактной подвески, вертикальное распределение напряженности электрического поля заряда возрастает по мере увеличения параметра высоты подвеса к.п.

Полученные уравнения позволяют определить возникающие потенциалы и предусмотреть методы защиты от мешающих и опасных влияний электромагнитного поля на смежные линии и устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи.



**Рис.7. Распределение потенциалов (а, б) и напряженности (в) электрического поля контактной сети**

Рассмотрены волновые процессы в КС при высокоскоростном движении. Показано, что подрессоренный ТК и КП можно считать колебательной системой с двумя степенями свободы (рис. 8).



**Рис. 8. Схема замещения системы «Токоприемник – контактная подвеска»:**  $m$ ,  $m_{п}$ ,  $m_0$  – приведенные массы соответственно подъемной рамы ТК, полоза ТК и КП;  $c_1$  – обобщенный коэффициент жесткости нижнего узла ТК, включающего пружины и элементы их крепления;  $c_2$  – коэффициент жесткости верхнего узла ТК;  $c_к$  – коэффициент жесткости КП;  $c_{11}$  – суммарный коэффициент жесткости верхнего узла ТК и КП;  $y_1$  и  $y_2$  – вертикальные смещения тел из положения равновесия

Определены частоты и формы главных колебаний этой системы. За основу расчета принят токоприемник DSA 250E, снабженный устройством подрессоривания полоза и подвеска КС-250-25-UZ для высокоскоростного движения.

Полученная формула для вычисления частот главных колебаний рассматриваемой механической системы имеет следующий вид:

$$\omega = \pm \sqrt{\frac{c_{11}m + (c_1 + c_{11})m_{11}}{2mm_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{c_{11}m + (c_1 + c_{11})m_{11}}{2mm_{11}}\right)^2 - \frac{c_{11}c_1}{mm_{11}}}}. \quad (15)$$

Подставляя численные значения величин жесткости и масс, получены значения главных частот колебаний системы «контактная подвеска–токоприемник» в середине пролета и у опор (табл.1). Анализ данных этой таблицы показал, что главные частоты колебаний системы зависят от приведенной массы КП  $m_0$ .

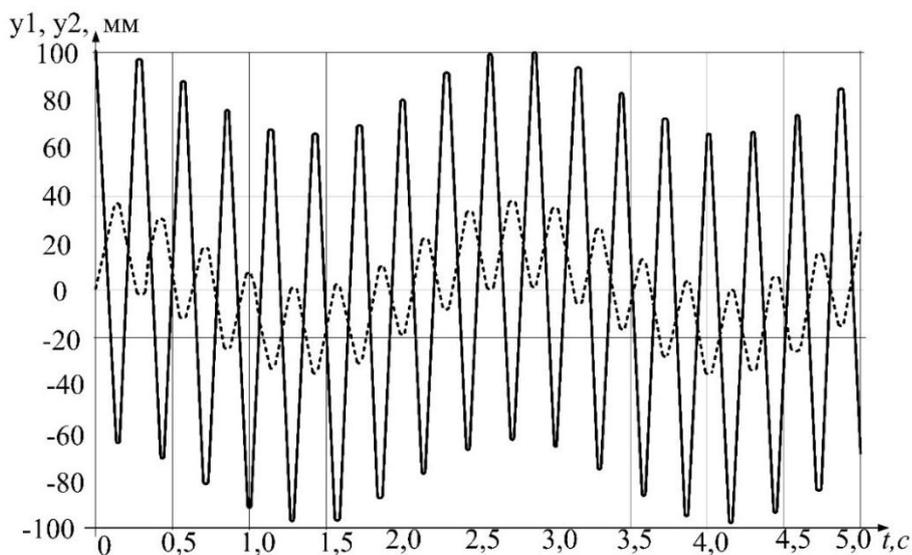
После преобразования формулы частот главных колебаний получены выражения для колебаний в виде смещений относительно центров равновесия  $y_1$  и  $y_2$  в виде:

$$y_1(t) = \frac{h}{\mu_2 - \mu_1} (\mu_2 \cos(\omega^+)t - \mu_1 \cos(\omega^-)t), \quad y_2(t) = \frac{h}{\mu_2 - \mu_1} \mu_1 \mu_2 (\cos(\omega^+)t - \cos(\omega^-)t). \quad (16)$$

Таблица 1

	У опоры $c_k=320$ Н/м		В середине пролета $c_k=220$ Н/м	
	$m_0 = 25$ кг	$m_0 = 55$ кг	$m_0 = 25$ кг	$m_0 = 45$ кг
$\omega^+$ , рад/с	22,71	21,66	22,71	21,91
$\omega^-$ , рад/с	2,62	2,15	2,62	2,28
$\nu^+$ , Гц	3,61	3,45	3,61	3,49
$\nu^-$ , Гц	0,42	0,34	0,42	0,37
$\mu_1$	-0,323	-0,198	-0,323	-0,226
$\mu_2$	1,058	1,064	1,058	1,062
$\mu_1 \cdot \mu_2 / (\mu_1 - \mu_2)$	-0,247	-0,166	-0,247	-0,187

Используя полученные уравнения, были построены графики колебательных процессов в контактном проводе и колебаний нижнего узла токоприемника в MathCAD (рис. 9). Полученные графики показывают, что энергия колебаний кузова ЭПС подпитывает колебательные движения рам ТК.



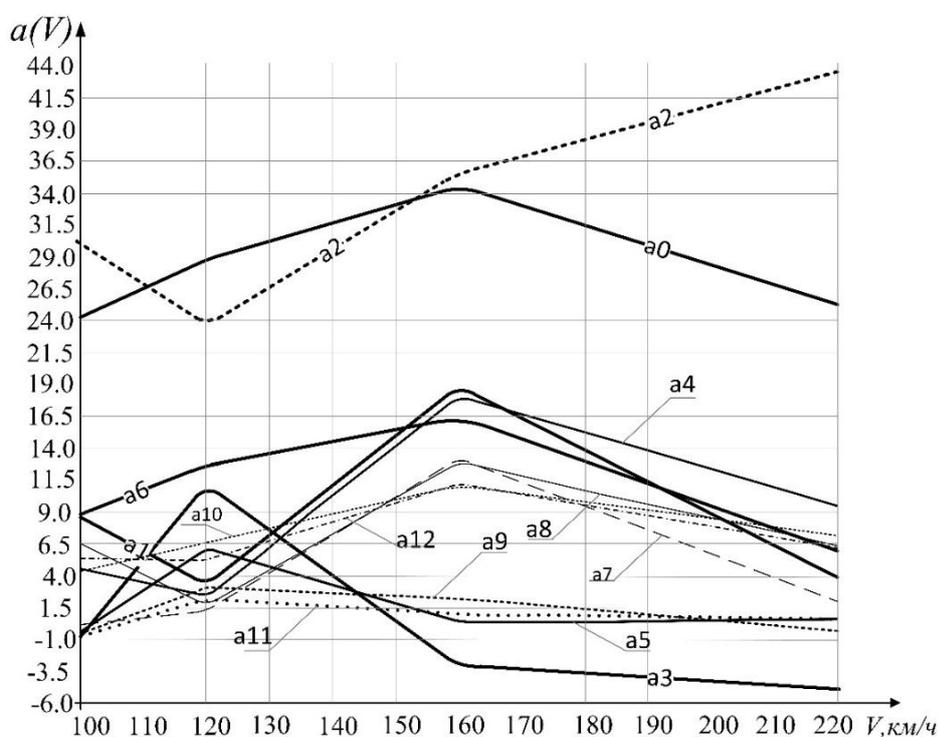
**Рис.9.**  
Характер  
главных  
колебаний  
системы  
«Токоприемник -  
контактная  
подвеска»

Рассмотрены волновые процессы в КС, состоящей из к.п. БрФ-120 натяжением  $K=20$  кН и несущего троса ПБСМ-95 натяжением  $T=15$  кН после прохождения электропоезда Talgo (Afrosiyob) при скоростях 160, 180, 200 и 220 км/ч. Функции  $\psi(t)$  состоят из большого числа гармоник, которые могут быть выражены через ряд Фурье вида:

$$\psi(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos[\omega_0 n(t - t_1)], \quad (17)$$

где  $a_n = \frac{2}{t_2 - t_1} \int_a^b \psi(t) \cos[\omega_0 n(t - t_1)] dt$  и  $\omega_0 = \frac{\pi}{t_2 - t_1}$ .

Графики амплитуд  $a_n$  гармоник колебаний к.п. в зависимости от скорости показаны на рис. 10. Анализом построенных графиков зависимостей  $a_n = f(V)$  установлено, что все гармоники с ростом скорости уменьшаются и практически не влияют на амплитуду колебаний к.п. Только 2-я гармоника непрерывно увеличивается, что требует выполнения мероприятий по ее снижению.

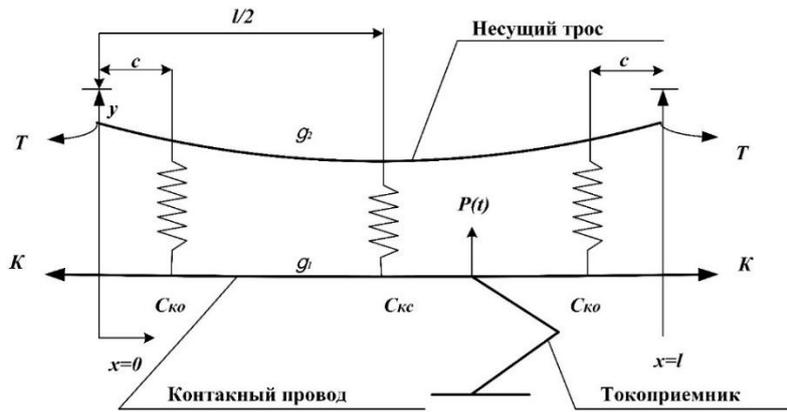


**Рис. 10.**  
Графики зависимости гармоник колебаний контактного провода от скорости после прохождения электропоезда от скорости

В четвертой главе «Разработка модели взаимодействия токоприемника с контактной подвеской» рассмотрено моделирование взаимодействия ТК с КП и метод расчета динамики токосъема при рассмотрении КП как колебательной системы с распределенными параметрами, а также математическое моделирование электродуговых процессов при различных режимах нарушения токосъема.

Разработанная динамическая модель КС рассматривалась как периодическая структура, где в качестве повторяющегося элемента выступал пролет КС (рис. 11).

Для анализа взаимодействия КП и ТК на основе применения принципа Гамильтона, получено следующее дифференциальное уравнение:

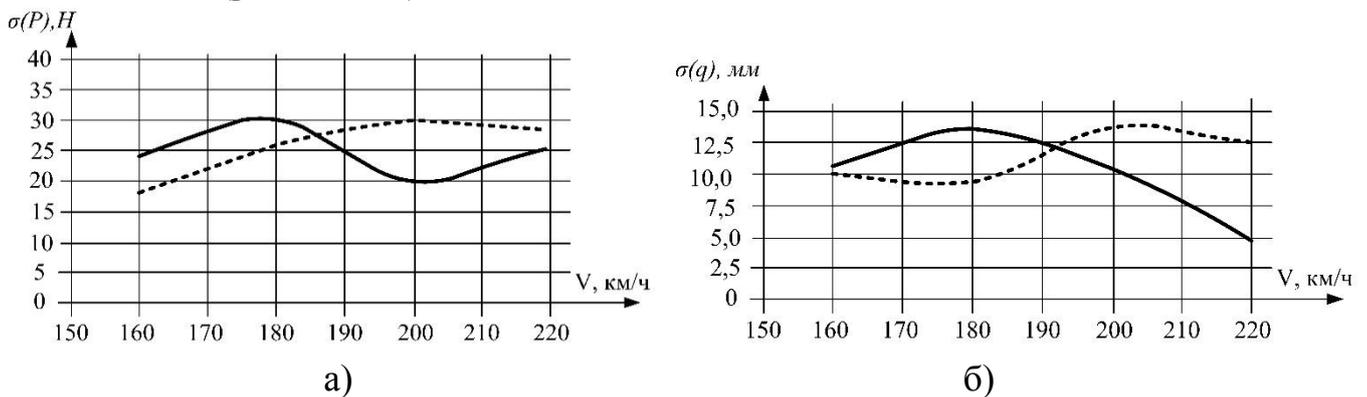


**Рис. 11.**  
Разработанная динамическая модель КС

$$(g_1 + g_2)l \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} + c_k q(t) = P(t), \quad (18)$$

где  $g_1, g_2$  – погонный вес провода и троса,  $q(t)$  – отклонение точки контакта,  $P(t)$  – сила нажатия провода,  $c_k$  – жесткость КП.

На основе этой математической модели с помощью программы Maple построены зависимости стандартного разброса контактного нажатия  $\sigma(P)$  и стандартного разброса вертикального перемещения ТК  $\sigma(q)$  от скорости движения (рис 12, а, б).



**Рис. 12. Стандартный разброс контактного нажатия  $\sigma(P)$  (а) и вертикального перемещения точки контакта провода и ТК  $\sigma(q)$  (б) в пролете при различных скоростях движения ЭПС и натяжениях несущего троса**

Из графиков можно сделать вывод о нецелесообразности повышения натяжение несущего троса при скорости более 180-190 км/час.

Показано, что при высокоскоростном движении электрического транспорта с несколькими ТК можно представить динамику токосъема как колебательную систему с распределенными параметрами. При этом для изучения взаимодействия нескольких ТК с КП можно использовать метод суперпозиции и свести решение задачи о колебаниях нескольких ТК к решению задач с одним ТК.

Разработан алгоритм в среде Excel и определены нормальные колебания КП, состоящей из н.т. ПБСМ натяжением  $T = 15$  кН и к.п. БрФ натяжением  $K = 20$  кН. Осуществлено математическое моделирование возникновения колебаний в проводах КП при прохождении ТК со скоростью  $V = 180$  км/ч.

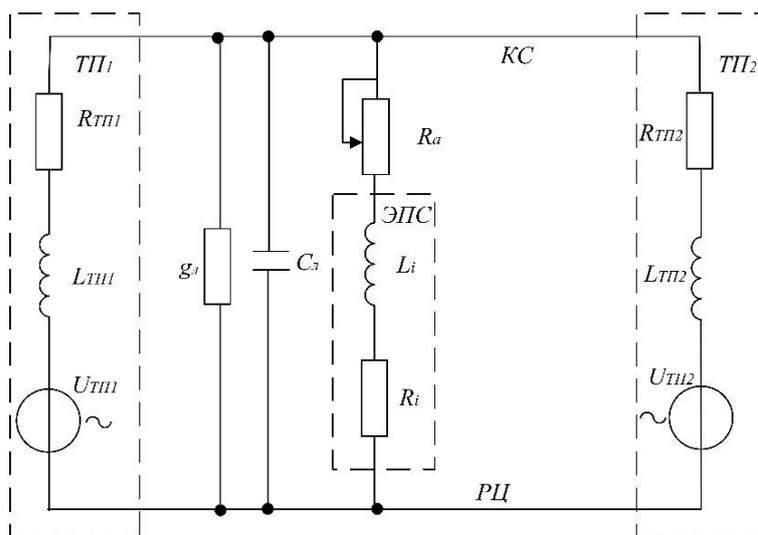
Выявлено, что частоты начинаются с единиц герц ( $\nu_1=1,07$  Гц,  $\nu_2=2,067$  Гц), что характерно для колебаний кузова ЭПС. Установлено, что когда частота колебаний ТК совпадает с одной из частот нормальных КП, то возникнут резонансные явления. Области резонанса возникают друг от друга на расстоянии  $\Delta\nu \approx 8$  Гц.

Рассмотрены электродуговые процессы при различных режимах токосяема (рис. 13).

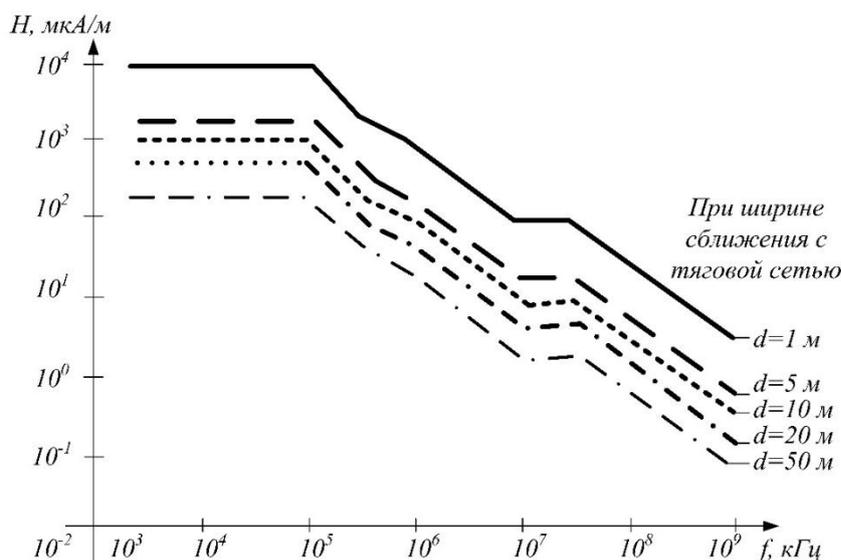
Получено выражение тока дуги  $i_a(t)$ :

$$i_a(t) = j(t) - \int_0^t y_N(t - \tau) \left[ \left( \frac{l_a(\tau)}{G_a(\tau)} + R_i \right) i_a(\tau) + L_i \frac{di_a}{dt} \Big|_{i=\tau} \right] dt, \quad (19)$$

где  $R_i$  и  $L_i$  – эквивалентные сопротивление и индуктивность ЭПС;  $l_a(\tau)$  – расстояние между ползком и к.п. Для того, чтобы численно решить данную интегрально – дифференциальную систему использовали метод Рунге – Кутты [59, с.95] для величин  $i_a$ ,  $G_a$  и  $di_a/dt$  при изначальных условиях. На рис. 14 представлена амплитудно-частотная диаграмма напряженности магнитного поля при различной ширине сближения с тяговой сетью. Эта диаграмма может быть применена для количественной оценки уровня радиопомех при различных величинах влияющих факторов.



**Рис. 13. Схема замещения высокоскоростной линии с электроподвижным составом при появлении дуги между контактирующими элементами: ТП-тяговая подстанция; РЦ-рельсовая цепь**



**Рис. 14. Диаграмма «Напряжённость-частота»**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предоставлены следующие заключения на основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Исследование взаимодействия токоприемника и контактной сети при высокоскоростном движении электроподвижного состава»:

1. Установлено, что при взаимодействии к.п. с перемещающимся ТК, в КП возникает группа бегущих волн различной частоты, имеющих разную скорость распространения. В результате выведена формула для вычисления частот главных колебаний механической системы «токоприемник – контактная подвеска»;

2. Показано, что при математическом моделировании колебательных процессов в проводах КП, на которую воздействуют перемещающийся ТК, следует применять уравнение движения с учетом сил тяжести проводов. В результате получены уравнение параболы, величина провеса провода (стрела провеса свободного от нажатия провода) и длина параболы с провесом для проводов КС с конкретной массой;

3. Установлено, что при воздействии ТК на к.п. натяжение последнего в зоне контакта уменьшается пропорционально статическому нажатию ТК. В результате получены выражения изменения горизонтального усилия и провеса нити с конкретной массой, имитирующей контактный провод, которые образовались после приложения местной силы со стороны полоза.

4. Выявлено на основе математической модели, что изменение жесткости КП, связанное конструктивными особенностями КС, влияет на надежность токосъема и увеличение натяжения н.т. при скоростях более 180 км/ч приводит к ухудшению передачи тока. В результате получили эффективное значение натяжения несущих тросов на основе данных математической модели.

5. Установлено, что при колебаниях н.т. в нем возможны только стоячие волны и выполнено математическое моделирование колебательных процессов в программе MathCAD. В результате реализованы мероприятия по гашению широких полос резонансов, разделенных полосой частот шириной около 8 Гц.

6. Проведено моделирование динамических параметров КП путем изменения натяжения проводов КП. В результате выполнены мероприятия по гашению отраженных волн и повышено качество токосъема.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON ADMISSION OF ACADEMIC  
DEGREES PhD.28.06.2018.T.73.01 AT TASHKENT INSTITUTE  
OF RAILWAY ENGINEERING**

---

**TASHKENT INSTITUTE OF RAILWAY ENGINEERING**

**BAYANOV ILDAR NAZIPOVICH**

**RESEARCH OF INTERACTION OF THE CURRENT COLLECTOR AND  
THE CONTACT LINES AT THE HIGH-SPEED MOVEMENT OF THE  
ELECTRIC ROLLING STOCK OF VEHICLES**

**05.08.05 – Rolling stock, draft of trains and electrification**

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF PHILOSOPHY DOCTOR (PhD) ON  
TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent-2019**

**The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2019.1.PhD/T1030.**

The dissertation has been prepared at the Tashkent Institute of Railway Engineers.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tashiit.uz](http://www.tashiit.uz)) and on the website of "ZiyoNet" Information and Educational Portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervizer:**

**Amirov Sulton Fayzullaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Gayibnazarov Tulkin Shernazarovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Valiev Mukhammad Shermatovich**  
Candidate of Technical Sciences, Docent

**Leading organization:**

**OOO «Scientific and Technical Center»  
JSC "Uzbekenergo"**

The defense will be take place " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2019 in \_\_\_\_\_ at the meeting of the Scientific Council PhD.28.06.2018.T.73.01 at the Tashkent Institute of Railway Engineers. (Address: 100167, Tashkent, Adilkhodjayev str., 1. Phone: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-57; e-mail: tashiit\_rektorat@mail.ru.

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of the Tashkent Institute of Railway Engineering (registration number - \_\_\_\_). (Address: 100167, Tashkent, Adilkhodjayev str., 1. Phone: (99871) 299-05-66/

Dissertation abstract was distributed on " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2019.  
(mailing record № " \_\_\_\_ " from " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_, 2019).

**A.I. Adilkhodjaev**  
Chairman of the Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**Y.O. Ruzmetov**  
Scientific secretary of the Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Candidate of technical sciences

**Sh.S. Fayzibaev**  
Chairman of the Scientific Seminar  
on awarding of scientists degrees,  
DTS, Professor, Academician of the  
Doctor of technical sciences, professor

## **INTRODUCTION (abstract of the thesis of the Doctor of Philosophy (PhD))**

**The aim of the research** – the study of the problems of improving the quality and reliability of the current collection from the contact lines during high-speed movement and the development of recommendations for technical solutions.

**The objectives of the research:**

-identification of ways to improve the trouble-free and safety of current collection during high-speed movement of electric vehicles;

-realization of reliable contact current collector electric rolling stock with contact wire due to the optimization of pressing force during high-speed movement of electric vehicles;

-creation of a mathematical model of normal vibrations of the contact suspension;

-creation of a methodology for calculating the dynamic interaction of the current collector and contact suspension, corresponding to modern requirements and increasing accuracy due to a decrease in the number of assumptions and the use of new information technologies.

**The object of the research** - current collectors and contact suspension for high-speed movement.

**The subject of the research** is the interaction of the high-speed rail contact lines.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

-the influence of the voltage values of the contact suspension wires on the criteria for high-quality current collection at speeds from 160 to 250 km/h is determined;

-developed methods for calculating wave processes in the wires of the contact lines and identified the causes of resonance in the system "current collector-contact suspension";

-analysis of the contact wire oscillations, an estimate of the propagation velocity of the aggregate of vertical waves;

-expressions were obtained to determine the characteristics of the set of waves propagating in the contact suspension;

- Theoretical and experimental studies have been carried out, allowing you to create new and diagnose existing elements of the contact lines and current collector, current collection and hardware for the implementation of non-destructive testing.

**The structure and scope of the thesis.** The thesis consists of introduction, four chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of the thesis is 111 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Bayanov I.N., Badretdinov T.N. Calculation of lengths of spans of the contact network without taking into account the impact of wind// International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology, India.– №.6, Issue 4, April 2019 – pp. 8950-8953. (05.00.00 №8).

2. Баянов И.Н. Анализ расчета дуговых процессов при взаимодействии токоприемника и контактного провода // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2011. – №3, – с.69-72. (05.00.00 №11).

3. Баянов И.Н. Методика расчета электрического поля скользящей пары токоприемник-контактный провод // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2018. – №4, – с.118-123. (05.00.00 №11).

4. Амиров С.Ф., Баянов И.Н., Турдибеков К.Х. Токоъем на высокоскоростных магистральных электрифицированных железных дорогах // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2019. – №1, – с.124-129. (05.00.00 №11).

**II бўлим (II часть; II part)**

5. Амиров С.Ф., Баянов И.Н., Турдибеков К.Х. Модернизация цепных контактных подвесок для скоростного железнодорожного транспорта // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2019. – №2, – с.49–56. (05.00.00 №5).

6. Амиров С.Ф., Сулайманов М.М., Баянов И.Н. Вопросы взаимодействия контактной сети и токоприемника при высокоскоростном движении // Юбилейная научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 15 декабря 2011, Ташкент-2011. – с.121-122.

7. Bayanov I., Turdibekov Kh. Calculation of the electric field of the gliding pair pantograph-cable and its usage at the high-speed electric train movement // Seventh World Conference in Intelligent Systems for Industrial Automation. XI-2012. – Ташкент, 2012, pp.98-101.

8. Баянов И.Н., Северин Д.Ю. Схема замещения системы «изолирующий стык рельсов – дроссель-трансформатор» // Научно-техническая конференция по проблемам наземных транспортных систем для аспирантов, стажеров и магистрантов, 12-15 мая 2004, Ташкент – 2004. – с.78-80.

9. Баянов И.Н. Качество изолирующих стыков рельсов при проектировании железных дорог // Сборник докладов республиканской научно-технической конференций с участием зарубежных ученых, 7-8 октября 2004, Ташкент-2004. – с.79-83.

10. Баянов И.Н. Оценка дуговых процессов при взаимодействии токоприемника электровоза и контактного провода // Научно-техническая конференция по проблемам наземных транспортных систем для аспирантов, стажеров и магистрантов, 11-20 мая 2005, Ташкент–2005. – с.63-66.

11. Баянов И.Н. Дуговые процессы при взаимодействии токоприемника и контактного провода // Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 6-7 декабря 2005, Ташкент-2005. – с.653-655.

12. Баянов И.Н., Турдыбеков К.Х., Мустафакулов Р.М. Технологические потери электрической энергии на железнодорожном транспорте Республики Узбекистан // Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 14-15 декабря 2006, Ташкент-2006. – с.205-208.

13. Баянов И.Н., Хамидов А.Н. Расчет электрического поля в зоне стыка лыжи пантографа электровоза с проводом контактной сети // Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 2-3 декабря 2009, часть 2, Ташкент – 2009. – с.89-91.

14. Баянов И.Н., Турдыбеков К.Х. Технология монтажа и ремонта контактной сети // Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 2-3 декабря 2010, Ташкент-2010. – с.113-116.

15. Баянов И.Н., Турдыбеков К.Х. Обеспечение устойчивости токоприемников при высокоскоростном движении // Юбилейная научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 15 декабря 2011, Ташкент-2011. – с.125-127.

16. Баянов И.Н. Механические характеристики скользящей пары токоприемник-контактный провод // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, 5-6 декабря 2012, Ташкент– 2012. – с. 181–184.

17. Баянов И.Н., Турдыбеков К.Х., Бадретдинов Т.Н. Методика расчета электрического поля скользящей пары высокоскоростного электроподвижного состава с учетом образования электрической дуги // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта. Материалы 3-ей международной научно-практической конференции с международным участием. 6 декабря 2018, Россия, Омск: ОмГУПС. – 2018. –с.231–235.

18. Баянов И. Н., Бадретдинов Т. Н. Продольное электроснабжение для насосных установок // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса». 28 ноября 2018.–Ташкент: ТИИИМСХ, 2018. – с. 442-446.

19. Баянов И.Н., Каримов И.А. Высокочастотные заградители для телефонной связи с полевым станом // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса». 28 ноября 2018, ТИИИМСХ. – Ташкент, 2018. – с. 364-367.

20. Bayanov I.N., Karimov I.A. Kontakt osmasini elastikligini aniqlash // Temir yo'l transportida resurs tejamkor texnologiyalar. Xorijiyb olimlari ishtirokidagi respublika ilmiy-texnika anjumani maqolalari to'plami.18-19 dekabr 2018, ToshTUMI. – Toshkent, 2018. – 228-232 b.

Автореферат «ТошТЙМИ хабарномаси» илмий-амалий журнали  
тахририятида таҳрирдан ўтказилди ва матнларни мослиги текширилди

---

Қоғоз бичими 84×60-1/16. Ризограф босма усули. Times гарнитураси  
Шартли босма табоғи: 2,6 б.т. Адади: 100 нусха.  
Буюртма № 19-2/2019 Нашрга рухсат этилди: 15.01. 2019 й.

Тошкент темир йул муҳандислари институти босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100167, Тошкент шаҳар, Одилхўжаев кўчаси, 1-уй.



