

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

RADJIBAYEV DAVRAN OKTAMBAYEVICH

**TRANSPORT MASHINASOZLIGI UCHUN LOKOMOTIVLARNING
MURAKKAB KONFIGURATSIYALI RAMA KONSTRUKSIYALARINI
DINAMIK MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH USULLARINI
ISHLAB CHIQISH**

**05.08.05 – Temir yo‘llarning harakatlanuvchi tarkibi, poyezdlarni tortish
va elektrlashtirish**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Doktorlik (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Content of the abstract Doctoral (DSc) dissertation

Radjibayev Davran Oktambayevich

Transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash usullarini ishlab chiqish..... 3

Раджибаев Давран Октамбаевич

Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения..... 29

Radjibaev Davran Oktambayevich

Development of methods for calculating the dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering..... 57

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 61

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.15/31.08.2022.T.73.07 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

RADJIBAYEV DAVRAN OKTAMBAYEVICH

**TRANSPORT MASHINASOZLIGI UCHUN LOKOMOTIVLARNING
MURAKKAB KONFIGURATSIYALI RAMA KONSTRUKSIYALARINI
DINAMIK MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH USULLARINI
ISHLAB CHIQISH**

**05.08.05 – Temir yo‘llarning harakatlanuvchi tarkibi, poyezdlarni tortish
va elektrlashtirish**

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar Vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida №B2023.3.DSc/T683 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tstu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Xromova Galina Alekseyevna
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Tretyakov Aleksandr Vladimirovich
texnika fanlari doktori, professor

Pecherskiy Vladimir Nikolayevich
texnika fanlari doktori, professor

Adilova Ziyoda Gafurdjanovna
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Jizzax politexnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.15/31.08.2022.T.73.07 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil _ 27. _yanvar soat 10⁰⁰ da majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo‘lchilar ko‘chasi 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (_____ raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100167, Toshkent, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil « _____ » _____ kun tarqatildi.
(2024-yil « _____ » _____ daqi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).



R.V. Raximov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi, t.f.d., professor

Y.O. Ruzmetov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., professor

R.M. Mirsaatov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
t.f.d., professor

KIRISH (doktorlik dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda harakat tarkibining yangi avlodini yaratishda, shuningdek mavjudlarini modernizatsiya qilishda harakat tezliklarining oshib borishini hisobga olgan holda lokomotivlarning dinamik sifatlarini yaxshilash va ularning xizmat muddatini uzaytirish uchun mustahkam va ishonchli rama konstruksiyalarini ta'minlash muhim ahamiyatga ega. Joriy ta'mirlashlar davrida aniqlangan lokomotivlar aravacha ramalari va bosh ramasidagi yoriqlar tahlil qilinganda, hajmi oshib va rivojlanib boruvchi charchoq yoriqlarining katta miqdori aniqlanib, ular xavfli kesimlarni zaiflashtirishi ma'lum bo'ldi. Amaldagi me'yorlarda (masalan, ST-336 yo'riqnomasi¹) murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotivlarning rama konstruksiyalariga tushadigan tortish kuchlarining murakkab yuklanganligi dinamik ta'siri e'tiborga olinmagan. Bunda kuzovning bosh ramasi va lokomotiv aravachalari ramalarining umumiy kuchlanganlik holati murakkab konfiguratsiyali rama karkaslarida yuzaga keluvchi kuchlarning bo'ylama, ko'ndalang va burovchi dinamik tashkil etuvchilari hamda modernizatsiyalashda kuchaytiruvchi qoplagichlarni o'rnatishning maqbul konstruksiyasi va haroratning keskin o'zgarishidan kelib chiqadigan kontaktli kuchlanishlarga sezilarli darajada bog'liq.

Jahonda lokomotivlarning murakkab fazoviy konfiguratsiyaga ega kuzovlari bosh ramasi va aravachalar ramasi, kontaktli dinamik hamda tortish kuchining bo'ylama, ko'ndalang va burovchi tashkil etuvchilarini hisobga olgan holda ishonchligi va tebranishlari nazariyasi masalalari, shuningdek ularni maqbul loyihalashtirish va modernizatsiyalash usullari yetarli darajada rivojlanmagan. Bu yo'nalishda ustuvor hisoblangan bir qator tadqiqotlarni o'tkazish, jumladan dinamik yuklanishlar ta'sirini aniqlashning mavjud usullarini takomillashtirish, shuningdek rama konstruksiyalarini modernizatsiya qilish imkonini beradigan yangi usullarni yaratish zarur. Konstruksiyalarni modernizatsiyalash jarayonida kontaktli harorat deformatsiyalarini qayd etish, shuningdek dinamik jarayonlarni modellashtirishda hisoblarning aniqligini oshirishga mo'ljallangan zamonaviy dasturiy algoritmlarni ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasida transport tizimini, jumladan temir yo'l transportini rivojlantirish, xususan infratuzilmani rivojlantirish, poyezdlar harakati tezligini oshirish, harakatlanuvchi tarkibni yangilash va mavjudlarining xizmat muddatini uzaytirish bo'yicha muhim choralar amalga oshirilmoqda. 2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasida "Barcha transport turlarini uzviy bog'lagan holda yagona transport tizimini rivojlantirish ..., transport va logistika xizmatlari bozori hamda infratuzilmasini rivojlantirish ..., transport tizimida "yashil yo'laklar" hamda tranzit imkoniyatlarini kengaytirish ..., xavfsizlik, savdo-iqtisodiy, suv, energetika, transport sohalaridagi yaqin hamkorlikni yuqori bosqichga olib chiqish"² bo'yicha muhim maqsadlar belgilab berilgan. Ushbu maqsadlarga erishish, jumladan elektrovozlar mavjud parkining xizmat muddatini uzaytirgan holda uning kapital tiklovchi ta'mirini o'tkazish, shuningdek undagi uzellarni takomillashtirish bo'yicha yangi texnik yechimlarni joriy etish bilan birga

¹ <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293728/4293728149.pdf>

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli Farmoni

texnologik jarayonlarni yangilash va ishlab chiqish, elektrovozlarning ishonchligi va mustahkamligini oshirish maqsadida kuchaytiruvchi qoplagichlarni o'rnatish orqali elektrovozlar kuzovlari bosh ramalarining to'g'ri hisoblangan modernizatsiya jarayonini amalga oshirish dolzarb vazifalardan biri sanaladi.

Mazkur dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasining 2021-yil 9-avgustdagi "Transport to'g'risida"gi 706-sonli hamda 1999-yil 15-apreldagi "Temir yo'l transporti to'g'risida"gi 766-sonli Qonunlari, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "2022-2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli, 2019-yil 1-fevraldagi "Transport sohasida davlat boshqaruvi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-5647-sonli, 2017-yil 23-avgustdagi "Zamonaviy energiya samarador va energiya tejaydigan texnologiyalarni yanada joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PF-3238-sonli Farmonlari, 2017-yil 2-dekabrda "2018-2022-yillarda transport infratuzilmasini takomillashtirish va yuk tashishning tashqi savdo yo'nalishlarini diversifikatsiyalash chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-3422-sonli, 2020-yil 4-maydagi "Transport sohasida kadrlar tayyorlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-4703-sonli Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II. "Energetika, energiya va resurs tejamkorlik", ITD-3 – "Energetika, energiya, resurs tejamkorlik, transport, mashina va asbobsozlik" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi³. Transport vositalari konstruksiyalarining zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini tahlil qilish sohasidagi tadqiqotlar dunyoning rivojlangan mamlakatlaridagi ilmiy markazlarda, universitetlarda va ilmiy-tadqiqot institutlarida olib borilmoqda, jumladan Wessex Institute of Technology (Buyuk Britaniya), University of Naples di Napoli (Italiya), Reson University (Kanada), University of La Coruna (Ispaniya), Saga University (Yaponiya). Qo'yilgan vazifalar bo'yicha MDH mamlakatlaridagi nufuzli ilmiy maktablar va Rossiya transport universiteti (MIIT) (Rossiya), Peterburg davlat temir yo'l universiteti, Moskva aviatsiya instituti, Butun Rossiya temir yo'l transportining ilmiy-tadqiqot instituti, "ВНИКТИ" OAJ, "Rossiya temir yo'llari" OAJ, Omsk davlat temir yo'l universiteti, Rostov davlat temir yo'l universiteti (Rossiya), Olmaota energetika va aloqa universiteti (Qozog'iston), Raqamli iqtisodiyot va huquq instituti (Qozog'iston), Toshkent davlat transport universiteti (O'zbekiston) hamda temir yo'l transporti muhandislarining boshqa ta'lim va ilmiy markazlari yirik olimlari tomonidan tadqiqotlar olib borilgan. Aravachalar ramalari va harakatlanuvchi tarkib kuzovlaridagi bosh ramalarning mustahkamligi va ishonchligini o'rganish bilan bog'liq murakkab vazifalarni hal qilishda Rossiya temir yo'l transporti ilmiy-tadqiqot instituti (TSNII

³ Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi <https://www.sciencedirect.com/>, <https://www.elsevier.com/search-results?labels=journals>, <https://wsu.edu/>, <http://en.njtu.edu.cn/>, <http://www.iitkgp.ac.in/>, <https://rut-miit.ru>, <https://www.tu-braunschweig.de/>, <https://www.ncl.ac.uk/newrail/people/tsg/>, <http://www.pgups.ru/>, <https://tstu.uz> va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

MPS) va Rossiya vagonsozlik ilmiy-tadqiqot instituti olimlari o'z hissasini qo'shib, ular tomonidan mazkur muammo bo'yicha nazariy-eksperimental tadqiqotlar olib borilgan.

Jahonda transport mashinasozligi uchun harakatlanuvchi tarkib ramalarining zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini hisoblash usullarini takomillashtirish hamda ularni funksional diagnostika qilish texnik vositalarini ishlab chiqish uchun nazariy tadqiqot usullaridan foydalangan holda natijalarni EHMda raqamli qayta ishlash bilan birga dinamik mustahkamlikka hisoblash asosida konstruksiyalarning zo'riqqan-deformatsiyalangan holati bo'yicha o'tkazilgan tajriba ma'lumotlarini bir vaqtning o'zida qo'llash ko'zda tutilgan. Bunda raqamli texnologiyalardan keng foydalaniladi, jumladan lokomotivlarning mexanik qismlarini hisoblashda MATHCAD dasturlash muhiti hamda lokomotivlar mexanik qismlaridagi uzellar va detallarning maqbul parametrlarini tanlashda chegaraviy elementlar usuli (the Boundary Element Technology) qo'llaniladi.

Yuqorida keltirilgan barcha ishlarda silindrsimon konstruksiyalarda issiqlik o'tkazuvchanlik jarayoni o'rganiladi, biroq payvandlashda elektrovoz ramalarining metallida yuzaga keladigan ichki kuchlanish va deformatsiyalar, shuningdek statik va dinamik yuklanishlarning tashqi yuklanganligi hisobga olinmaydi. Shu bois kuchaytiruvchi qoplagichlarni o'rnatish lokomotiv ramalarini modernizatsiya qilishning to'g'ri hisoblangan jarayonini amalga oshirish, ularning ishonchligi va chidamliligini oshirish, shuningdek xizmat muddatini uzaytirish imkonini beradi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Transport vositalaridagi modernizatsiya qilingan rama konstruksiyalarining tebranishlari jarayonini o'rganish bo'yicha nazariy va amaliy asoslarni ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari N.P. Petrov, I.Ye. Jukovskiy, I.M. Babakov, S.P. Timoshenko, Y.G. Panovkolar tomonidan olib borilgan bo'lib, keyinchalik A.M. Goditskiy-Svirko, M.V. Vinokurov, M.F. Verigo, S.V. Vershinskiy, V.A. Lazaryan, V. B. Medellar tadqiqotlarida takomillashtirilgan. I.P. Kiselev, E.S. Oganyan, I.S. Biryukov, A.N. Savoskin, A.V. Gorskiy, V.A. Chetvergov, V.I. Kiselev, M.A. Ibragimov va boshqalar tadqiqotlarida katta e'tibor qaratilgan.

O'zbekiston Respublikasida harakatlanuvchi tarkib ramalarining mustahkamligini dinamik hisoblash muammolari bilan A.D. Glushenko, professorlar SH.S. Fayzibayev, G.A. Xromova, A.A. Shermuxamedov, R.V. Raximov, Z.G. Muxamedova hamda ularning shogirdlari shug'ullangan.

Shuningdek, dunyodagi silindrsimon yuzalar ko'rinishidagi lokomotiv ramalarining kuchlanganlik-deformatsion holatiga harorat maydonlarining ta'siri ostida kontaktli tadqiqotlar ham muhim bo'lib, I.M. Babakov, S.P. Timoshenko, D.H. Young, W. Weaver, A.S. Volmira, E.I. Grigolyuka, S.M. Wahid, C.V. Madhusudana, L. Wang, Q. Zhang, J. Wang, M.M. Yovanovich va boshqalarning asarlari taalluqlidir, ular ikki guruhga bo'linadi, bunda birinchi guruh asosan nazariyani rivojlantirishga bag'ishlangan va asosan fundamental masalalarga bag'ishlangan, ikkinchi guruh esa eksperimental tadqiqotlarga asoslangan va amaliy tadqiqotlar sifatida tasniflanadi.

Shu bilan birga, tashqi tebranishlarning kompleks ta'sirini hisobga olgan holda murakkab konfiguratsiyadagi lokomotivlar tayanch ramalarining dinamikasini modellashtirish va foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida tebranish jarayonlarini optimallashtirish usullarini takomillashtirishga va diagnostikaning takomillashtirilgan usulini ishlab chiqishga yetarlicha e'tibor berilmagan. Kuzovlar, ularning tayanch

ramalari, resor osmasi va yurgizuvchi qismdagi egiluvchi va burovchi tebranishlar charchoqqa chidamlilik va ishonchlilikning keskin pasayishiga olib keladi. Shunga bog‘liq holda harakatlanuvchi tarkibni modernizatsiya qilish jarayonida “O‘zbekiston temir yo‘llari” aksiyadorlik jamiyati tarkibiy bo‘linmalarida yaqin 8-10 yil ichida ularning ishonchli ishlashini ta‘minlash uchun mustahkamlangan mexanik uzellar va detallarning yetarli darajada qattiqligi ta‘minlanishi lozim.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya ishi Toshkent davlat transport universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rajasiga kiritilgan “Transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash” (2018-2020) mavzusidagi BV-Atex-2018-19-sonli amaliy granti, ““O‘ztemiryo‘lmashta‘mir” UKda VL80 elektrovozlarini kapital tiklovchi ta‘mirlash texnologik jarayonini ishlab chiqish” (2020-2022) mavzusidagi 22-sonli xo‘jalik shartnomasiga kiritilgan loyihalar doirasida amalga oshirilgan.

Tadqiqotning maqsadi transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash usullarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

lokomotivlarning tayanch ekvivalent karkasi tebranishlari nazariyasining zamonaviy holati hamda qoldiq resursni aniqlash va modernizatsiya qilish bo‘yicha dunyoda amalga oshirilgan ilmiy tadqiqotlarni tizimli tahlil qilish;

kuzovlar bosh ramalari va lokomotivlar aravachalari ramalarini mustahkamlikka va charchoqqa dinamik sinash uchun mo‘ljallangan stendlarning istiqbolli konstruksiyalari bo‘yicha patentli adabiyotlar sharhini amalga oshirish;

“O‘zbekiston” lokomotiv deposida amalga oshirilgan tekshiruv natijalari asosida VL80 elektrovozlarining ishdan chiqishiga oid ekspluatatsion ma‘lumotlarni ehtimoliy-statistik qayta ishlash metodikasini ishlab chiqish;

oshirilgan harakat tezliklarida bo‘ylama, ko‘ndalang va burovchi kuchlarning ta‘sirini hisobga olgan holda fazoviy tizim sifatidagi murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotivlar aravachalarining rama konstruksiyasi tebranishlarini matematik modellashtirish;

transport mashinasozligi uchun ekspluatatsiyada mavjud hisob rejimlarini e‘tiborga olgan holda oshirilgan tezliklarda murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotiv kuzovining bosh ramasi konstruksiyasi tebranishlarini matematik modellashtirish;

aravachalar ramalari va kuzovlar bosh ramalari kesimlarining zo‘riqqan-deformatsiyalangan holatini modellashtirish bo‘yicha raqamli tadqiqotlarni olib borishga mo‘ljallangan algoritmlar va dasturlarni ishlab chiqish;

VL80s elektrovozlarini modernizatsiya qilishda ishlab chiqilgan dinamik modellar va raqamli algoritmlar hamda dasturlarni amaliy sinovdan o‘tkazish va joriy etish;

kapital tiklovchi ta‘mir jarayonida lokomotivlarni modernizatsiya qilishda qo‘llaniladigan “VL80s elektrovozlaridan foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida ularni ekspert texnik diagnostikalash metodikasi”ni ishlab chiqish.

Tadqiqotning obyekti sifatida “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJda foydalaniladigan, aynan VL80 va VL80s elektrovozlarining modernizatsiya qilinayotgan aravacha ramasi va kuzovining bosh ramasi olingan.

Tadqiqotning predmeti sifatida oshirilgan harakat tezliklarida yuklanishning bo‘ylama, ko‘ndalang va burovchi tashkil etuvchilarini hamda kapital tiklovchi ta‘mir jarayonida kontakt dinamik va issiqlik ta‘sirini hisobga olgan holda aravachalar ramalari va elektrovozlar kuzovlarining bosh ramalari tebranishlarini matematik modellashtirish usullari olingan.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida matritsali tahlil va imitatsion modellashtirish, matematik statistika, shuningdek raqamli usullar, jumladan Fyurje usuli, bo‘lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli, iteratsiya usuli va chegaraviy elementlar usuli (the Boundary Element Technology)dan foydalanilgan. Raqamli tadqiqotlar C# tilida va MATHCAD 14 (15) dasturida amalga oshirilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

yuklanishning turli rejimlarida harakatlanish jarayonida elektrovozlar ramalarini tabiiy dinamik sinovdan o‘tkazishda ularning ishdan chiqishiga oid ekspluatatsion ma‘lumotlarni ehtimoliy-statistik qayta ishlash metodikasi Puasson normal taqsimot qonuniyatini qo‘llash asosida takomillashtirilgan;

transport mashinasozligi uchun bo‘ylama, ko‘ndalang va aylantiruvchi kuchlarning ta‘sirini hisobga olgan holda fazoviy tizim sifatidagi murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotivlar aravachasi ramasining dinamik mustahkamlikka raqamli hisoblash usuli uning kuchlangan-deformatsiyalangan holatini baholash asosida ishlab chiqilgan;

oshirilgan harakat tezliklarida murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotivlar kuzovi bosh ramasi tebranishlarining matematik modeli ishlab chiqilib, uning asosida modernizatsiya qilingan VL80 seriyali elektrovoz bosh ramasining hisob rejimlardagi maksimal kuchlanish chegaralari bo‘lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli yordamida asoslangan;

modernizatsiya qilingan lokomotiv kuzovi bosh ramasining yon devoriga payvandlangan silindrsimon detal ko‘rinishidagi kuchaytiruvchi po‘lat qoplagich o‘rnatilgan joyda kontakt harorat maydonlarining o‘zgarish jarayonini uch o‘lchamli modellashtirish uchun umumlashtirilgan chekli elementlar nazariyasiga asoslangan matematik modeli va raqamli usuli ishlab chiqilgan;

hisob rejimlarida VL80 elektrovozi bosh ramasining siqilish va cho‘zilishida avtotirkama o‘qi bo‘ylab ta‘sir etuvchi ko‘ndalang kuchlar ta‘sirini hisobga olgan holda elektrovoz kuzovi bosh ramasini hisoblashga mo‘ljallangan chekli element modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

raqamli hisob uchun mo‘ljallangan dasturlar asosida kuzovning bosh ramasi va lokomotivlar aravachalari ramalarining zo‘riqqan-deformatsiyalangan holatini kvazistatik va dinamik modellashtirish imkonini beradigan hisoblash usuli asosida elektrovozlarning xizmat muddatini uzaytirish maqsadida kapital tiklovchi ta‘mirda ularni modernizatsiya qilishning yangi uslubi taklif etildi;

lokomotivlarni ta‘mirlash zavodlarida amalga oshiriladigan ta‘mir turlarida aravachalarni stend sinovlaridan o‘tkazish maqsadida quvvatni g‘ildirak juftliklariga elektr uzatish orqali lokomotivlar aravachalari ramalarini dinamik mustahkamlikka

sinashga mo'ljallangan stendning yangi konstruksiyasi ishlab chiqildi (O'zbekiston Respublikasining ixtirolar uchun beriladigan IAP 06795-sonli patenti, 2022-yil 5-fevralda e'lon qilingan, 3-sonli byul.);

kapital tiklovchi ta'mir jarayonida lokomotivlarni modernizatsiya qilishda qo'llanadigan yangi "VL80s elektrovozlaridan foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida ularni ekspert texnik diagnostikalash metodikasi" ishlab chiqildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi materiallar qarshiligining zamonaviy standart usullari, mashinalarning dinamikasi va mustahkamligi, shuningdek raqamli usullar, jumladan Furye usuli, bo'lak-chizikli approksimatsiyalash usuli, iteratsiya usuli, chegaraviy elementlar usuli (the Boundary Element Technology)ning qo'llanilganligi, shuningdek nazariy hamda amaliy tadqiqotlar natijalari va ularning o'zaro muvofiqligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqotning ilmiy ahamiyati oshirilgan harakat tezliklarida kontakt dinamik va issiqlik yuklanishlari ta'siri, shuningdek yuklanishning bo'ylama, ko'ndalang va aylantiruvchi tashkil etuvchilarini hisobga olgan holda murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotiv kuzovi bosh ramasi va aravachalarning rama konstruksiyalari tebranishlari, aynan VL80s seriyali elektrovozlar uchun dinamik modellarining ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarning amaliy ahamiyati "VL80s elektrovozlaridan foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida ularni ekspert texnik diagnostikalash metodikasi"ning ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi. Ishlab chiqilgan dinamik modellar va algoritmlar lokomotivlarning xizmat muddatini uzaytirish maqsadida kapital tiklovchi ta'mir jarayonida ularni modernizatsiya qilishda keng qo'llanilishi mumkin. Elektrovozlar rama konstruksiyalarining dinamik parametrlarini hisoblash bo'yicha yaratilgan usullar va vositalardan elektrovozlar va teplovozlarning yangi konstruksiyalarini loyihalashda hamda modernizatsiya qilishda foydalanish mumkin.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Transport mashinasozligi uchun murakkab konfiguratsiyaga ega lokomotivlarning rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash usullarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

yangi "VL80 seriyali elektrovozlar aravachalari ramalarini kapital tiklovchi ta'mir jarayonida kuchaytirish va "O'ztemiryo'lmashta'mir" UK sharoitida ularning xizmat muddatini uzaytirish bo'yicha yo'riqnoma" hamda "VL80 seriyali elektrovozlar kuzovlarining bosh ramasini kuchaytirish bo'yicha yo'riqnoma" kapital tiklovchi ta'mir jarayonida ularning xizmat muddatini uzaytirish uchun "O'ztemiryo'lmashta'mir" UKga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligining 2023-yil 16-iyundagi 4/4113-sonli ma'lumotnomasi). Ushbu Yo'riqnomalarni joriy qilish natijasida aravachalar ramalari va VL80 seriyali elektrovozlar kuzovlari bosh ramalari detallarining avariya buzilishi ehtimolini kamaytirish hamda ularning xizmat muddatini 8-10 yilga uzaytirish imkoniyati yaratilgan;

takomillashtirilgan "VL80s elektrovozlaridan foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida ularni ekspert texnik diagnostikalash metodikasi" "O'zbekiston temir yo'llari" AJga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligining

2023-yil 16-iyundagi 4/4113-sonli ma'lumotnomasi). Ushbu metodikani joriy qilish natijasida elektrovozlarning dinamik tavsiflarini yaxshilash, kapital tiklovchi ta'mir jarayonida lokomotivlarni modernizatsiya qilishda elektrovozlarning ramalarining tayanch konstruksiyalari chidamliligi va ishonchligini oshirish imkoni paydo bo'lgan;

kapital tiklovchi ta'mir jarayonida elektrovozlarning xizmat muddatini uzaytirish maqsadida ularni modernizatsiya qilishning yangi usuli "O'ztemiryo'lmashta'mir" UKga joriy qilingan (O'zbekiston Respublikasi Transport vazirligining 2023-yil 16-iyundagi 4/4113-sonli ma'lumotnomasi). Ushbu usul asosida 3VL80s elektrovozlarning 9 ta seksiyasini modernizatsiya qilish natijasida rama konstruksiyalari xizmat muddatining uzaytirilganligi hisobiga 2022-yilda 678 mln. so'mlik iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 24 ta ilmiy-texnik anjumanda, jumladan 20 ta xalqaro (shulardan 8 tasi Scopus bazasida indeksatsiyalangan) va 4 ta respublika anjumanida muhokama qilingan hamda aprobatsiyadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 42 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan 1 ta monografiya, Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 10 ta maqola, jumladan 4 ta respublika va 6 ta xorijiy ilmiy jurnallarida nashr etilgan, shuningdek O'zbekiston Respublikasining Intellektual mulk agentligining ixtirolar uchun beriladigan 2 ta Patenti hamda EHM dasturi uchun 2 ta Guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 148 betni tashkil etadi.

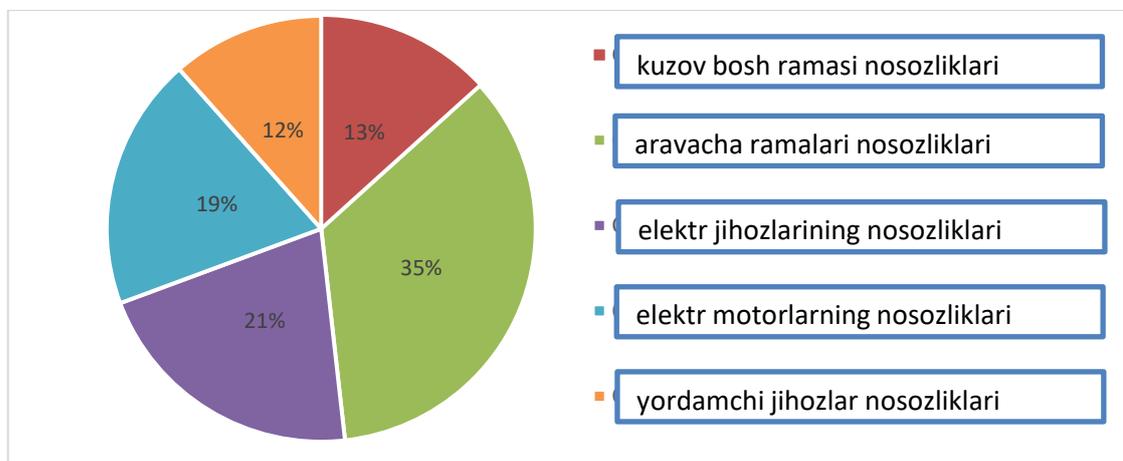
DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqotning dolzarbligi, maqsad va vazifalari, obyekt va predmeti keltirilgan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yoʻnalishlariga muvofiqligi koʻrsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarining amaliyotga tatbiq etilishi, nashr etilgan ishlar, dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi toʻgʻrisidagi maʼlumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Lokomotivlar tayanch ekvivalent karkasining tebranishlari nazariyasi rivojlanishining hozirgi holatini tizimli tahlil qilish va VL80s elektrovozlarining nosozliklari boʻyicha ekspluatatsion maʼlumotlarni ehtimoliy-statistik qayta ishlash”** deb nomlangan birinchi bobida aravachalar ramalari va lokomotiv kuzovlarining bosh ramalari tarkibiy qismlarining mustahkamligi va ishonchliligini oshirish maqsadida qoldiq resursini aniqlash va modernizatsiya qilish boʻyicha jahon ilmiy tadqiqotlari tahlil qilingan, VL80s elektrovozlarining nosozliklari boʻyicha ekspluatatsion maʼlumotlarni ehtimoliy-statistik qayta ishlash amalga oshirilgan, lokomotiv aravachalari va kuzovlari ramalarini mustahkamlikka va charchoq boʻyicha dinamik sinashlar uchun stendlarning istiqbolli loyihalari boʻyicha patent adabiyotlari sharhi keltirilgan.

Mavjud lokomotiv parkining ishga yaroqlilik holatini saqlash maqsadida “Oʻzbekiston temir yoʻllari” AJ “Oʻzbekiston” lokomotiv deposining VL80 va 3VL80s elektrovozlarining aravacha ramalari va kuzovi bosh ramasi nosozliklari boʻyicha ekspluatatsion maʼlumotlar ehtimoliy-statistik tahlil qilindi (1-rasm).

Umumiy holda VL80 va 3VL80s elektrovozlarining 2017-2022-yy. nosozliklari quyidagicha taqsimlangan (% larda):



1-rasm.. “Oʻzbekiston temir yoʻllari” AJ “Oʻzbekiston” lokomotiv deposi maʼlumotlariga asosan 2017-2022-yillar davrida VL80 va 3VL80s elektrovozlarining nosozliklari taqsimoti

Tadqiqotlar natijalariga asosan quyidagi umumiy xulosalar olindi:

1. 2.02.2017-yildan 11.10.2022-yilgacha boʻlgan davrda 3VL80s va VL80 turidagi elektrovozlar mexanik qismi boʻyicha jami 153 ta nosozlik (100 %) qayd etilgan boʻlib, ular charchoq yoriqlari sababli yuzaga kelgan:

a) kuzov bosh ramasida – 20,747% (jumladan, kuzov shkvoren balkalarida – 9,43 %; kuzov boʻylama balkalarida – 7,547%; kuzov ramasi markaziy balkasida – 3,77 %);

b) aravacha ramalarida – 54,71 % (aravacha ramasi shkvoren balkasidagi darzlar

– 18,86 %; aravacha ramasi bo‘ylama balkasida – 24,53 %; aravacha ramasi konturi bo‘yicha darzlar – 11,32 %);

c) aravachaning shkvoren bruslarida (11,32 %).

2. Foydalanish jarayonida yuzaga keluvchi sezilarli dinamik va harorat ta’sirlari charchoq yoriqlarining hosil bo‘lishiga olib keladi. Shu bois hatto modernizatsiya jarayonida yoriqlar payvandlanganidan so‘ng ham yangilari hosil bo‘ladi. Shu tariqa elektrovoz aravachasi va kuzovi ramalarining ishonchliligi va xavfli kesimlardagi mustahkamligini oshirish maqsadida maxsus shakldagi kuchaytiruvchi qoplagichlarni o‘rnatish yo‘li bilan modernizatsiyalashning dolzarbligi asoslangan.

“Transport mashinasozligi uchun yuqori tezliklarda lokomotiv aravachalarining murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalari matematik modelini ishlab chiqish” deb nomlangan ikkinchi bobda foydalanishdagi lokomotiv aravachasi ramasining hisoblash sxemasi va hisobiy yuklanish rejimlari asoslangan.

Lokomotivning real foydalanish sharoitlariga asosan aravacha ramasi tayanch ekvivalent balkasining uzunligi bo‘yicha kesimi, massasi va egilish bikrligi o‘zgaruvchanligi hisobga olingan, bu esa taklif etilayotgan modelning mavjudlaridan farqli jihatlarni ifodalaydi. Raqamli hisoblar uchun O‘zbekistonda foydalanishda bo‘lgan VL80s elektrovozi aravachasi ramasi olingan.

VL80s elektrovozining modernizatsiya qilingan aravacha ramasining kuchaytiruvchi qoplagichlar o‘rnatilgan hisobiy kesimlari va umumiy ko‘rinishi mos ravishda 2-rasmda keltirilgan, ularning chizmalari foydali xizmat muddatini oshirish bilan kapital tiklovchi ta’mirni o‘tkazishda modernizatsiya qilish uchun taklif etilgan.

Mazkur model uchun elektrovoz aravachasi ramasi yon balkasining ko‘taruvchi karkasi parametrlari 8-darajali polinomlar ko‘rinishida ifodalangan:

- elektrovoz aravachasi ramasi yon balkasining massasi (kg/m):

$$m_T(X) = m_0 (a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_n X^n), \quad (1)$$

bunda elektrovoz aravachasi ramasi yon balkasining uzunligi 4658 mm, X koordinatasi esa $0 \leq X \leq 4,658$ m chegaralarda o‘zgaradi;

- aravacha ramasi yon balkasi kesimlarini X o‘qi bo‘ylab keltirilgan inersiya momentlari - $I_X(sm^4)$:

$$I_X(X) = I_0 (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_n X^n); \quad (2)$$

- keltirilgan egilish bikrligi:

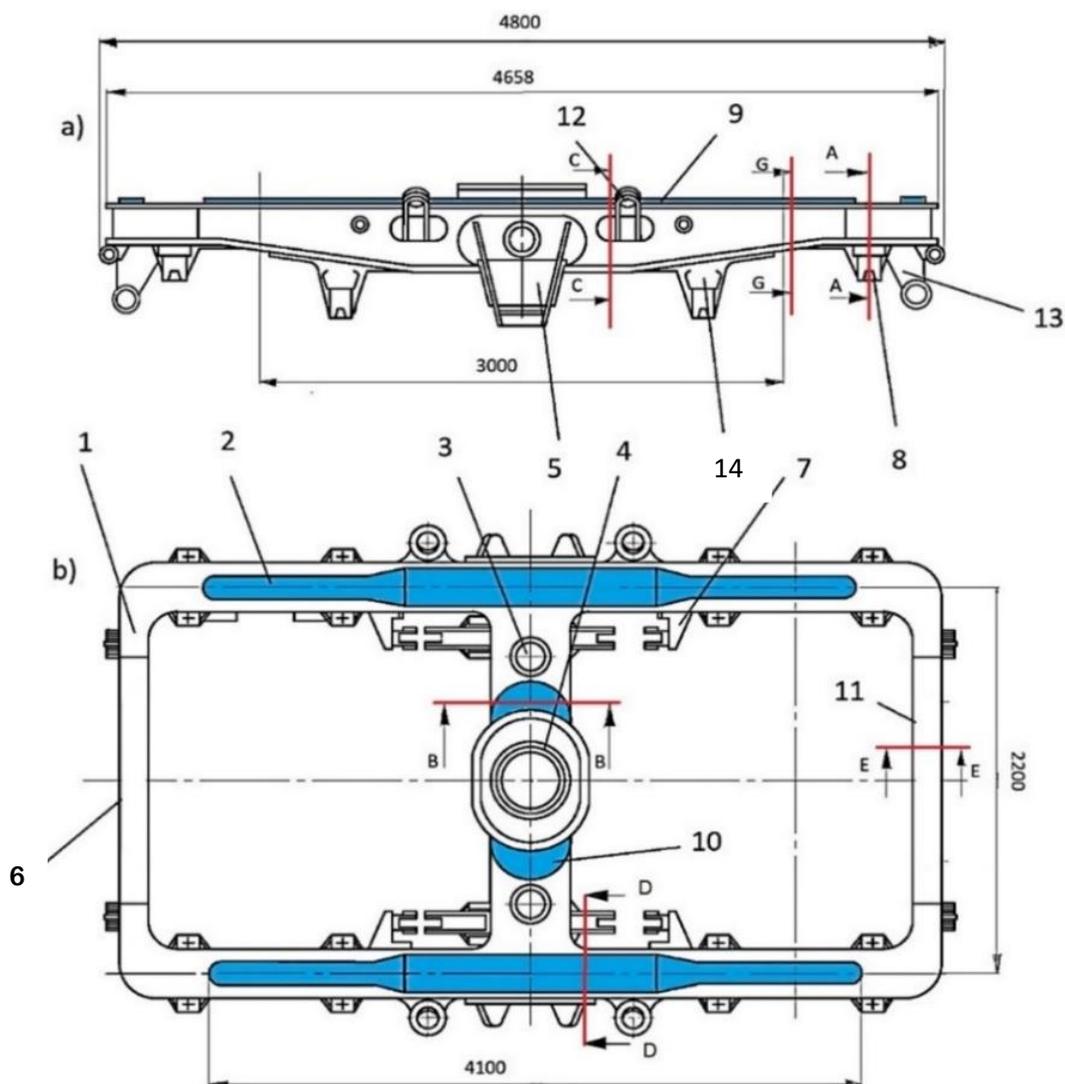
$$\mathcal{H}_H(X) = E I_0 (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_n X^n), \quad (3)$$

n (polinomlar darajasi) ning maqbul qiymati EHM yordamida bo‘lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli orqali elektrovoz aravachasi ramasi yon balkasining real o‘lchamlari asosida tanlanadi. VL80s elektrovozi uchun raqamli hisoblarda $n = 8$ qiymati qabul qilingan (bunda xatolik $\delta = 0,001$ ga teng).

Elektrovoz aravachasi ramasi yon balkasi ekvivalent karkasining zo‘riqqan-deformatsiyalangan holati tahlili uchun o‘zgaruvchan kesimli to‘g‘ri sterjenlarning egilish tebranishlari differensial tenglamalaridan foydalanilgan (bo‘ylama va burama tebranishlarning boshqa tashkil etuvchilarga nisbatan kichikligi sharoitida):

$$m_T(X) \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial t^2} + EI_X(X) \frac{\partial^4 W(X,t)}{\partial X^4} + E \frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} \cdot \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial X^2} = \eta_H(X,t) + P_D(X,t), \quad (4)$$

bu yerda $W(X,t)$ – aravacha ramasi yon balkasi kesimlarining egilish tebranishlari; $P_D(X,t)$ – vertikal dinamik kuch;



2-rasm. Modernizatsiya qilingan VL80s elektrovozining kuchaytiruvchi qoplagichlar va hisoblash kesimlari ko'rsatilgan aravacha ramasi:

- a) ko'ndalang kesimi; b) rejadagi ko'rinishi 1 - ramaning chekka brusi; 2 - rama yon balkasidagi 50x12 o'lchamli kuchaytiruvchi qoplagich; 3 - shkvoren brusi; 4 - shkvorenning sharsimon bog'lanish qutisi; 5 - shkvoren; 6 - yuksizlantirishga qarshi qurilma roligi ostiga qo'yiladigan kuchaytiruvchi qoplagich; 7 - richagli tormoz uzatmasi osmasi kronshteyni; 8 - buksa kichik kronshteyni; 9 - rama yon balkasidagi 50x12 o'lchamli kuchaytiruvchi qoplagich; 10 - shkvorenning sharsimon bog'lanish qutisidagi kuchaytiruvchi qoplagich; 11 - rama yon balkasidagi 50x12 o'lchamli kuchaytiruvchi qoplagich; 12 - kuzov lyulkali osmasi sterjeni kronshteyni; tormoz silindrini mahkamlash kronshteyni; 13 - gidravlik so'ndirgichlarni mahkamlash kronshteyni; 14 - buksa katta kronshteyni.

$\eta_H(X, t)$ – rels yo'li notekisligining o'zgarish funksiyasi:

$$\eta_H(X, t) = \sin \frac{\pi X}{L_H} (C \cdot \eta_0(1 - \cos \omega t) + \eta_0 \beta \omega \sin \omega t). \quad (5)$$

So'ng, hisoblashlar EHMda bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash va iteratsiyalar usullari orqali *MATHCAD 14* dasturiy muhitida bajarilgan. Masalani yechish uchun VL80s elektrovozi aravachasi ramasining yon balkasi, $0 \leq X \leq 4,658$ o'zgarish shartiga asosan 20 ta nuqtaga bo'lingan. Har bir uchastka uchun *CONST* o'zgarimas kattalik bo'lgan R_{iK} koeffitsiyentlari kiritilgan, bunda $k = 1, 2 \dots 20, n = 8$:

$$R_{1K} = 2 \cdot E \cdot I_0 \cdot (b_2 + 3b_3 + \dots + 28b_8 \cdot X^8); \quad (6)$$

$$R_{2K} = I_0 \cdot (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_8 X^8); \quad (7)$$

$$R_{3K} = m_T(X) = m_0(a_0 + a_1X + a_2X^2 + \dots + a_8X^8). \quad (8)$$

Natijada har bir k -uchastka uchun o'zgarmas koeffitsiyentli tenglamalar olingan:

$$R_{1K} \cdot \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial X^2} + R_{2K} \cdot \frac{\partial^4 W(X,t)}{\partial X^4} + R_{3K} \cdot \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial t^2} = \eta_H(X,t) + P_{DK}(X,t). \quad (9)$$

Bir jinsli differensial tenglamaning (9) yechimi EHMdan foydalangan holda bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli bo'yicha linearizatsiyalash orqali olingan, raqamli tadqiqotlar uchun Gaussning matritsa usuli, iteratsiyalar usuli va chegaraviy elementlar usulidan (the Boundary Element Technology) foydalanilgan. Raqamli tadqiqotlar C# dasturlash tili va *MATHCAD 14 (15)* dasturlash muhitlarida bajarilgan.

O'tkazilgan nazariy raqamli tadqiqotlar natijasida ikkinchi bob bo'yicha quyidagi umumlashgan xulosalarni chiqarish mumkin:

1. VL80s elektrovozi ramasing kvazistatik hisobi V – V, D – D, E – E kesimlar eng ko'p yuklanganligini ko'rsatdi (3-rasm). Ushbu kesimlar dinamik charchoq mustahkamligi bo'yicha hisobiy rejimlarga dosh bera olmaydi, shuning uchun ularni St3 po'latidan tayyorlangan maxsus shaklli kuchaytiruvchi qoplagichlar o'rnatish yo'li bilan modernizatsiya qilish zarur.

2. VL80s elektrovozi aravacha ramasi bo'ylama balkasining D – D xavfli kesimidagi mustahkamligini aniqlash uchun bo'ylama va ko'ndalang balkalarning ulanish joyida superpozitsiya mezoni bo'yicha yuklamalarning eng nomaqbul birgalikdagi ta'sirida statika va dinamikada yuzaga keluvchi barcha kuchlanishlar umumlashtirilgan. Raqamli hisoblashlar natijalari 1-jadvalda keltirilgan (VL80s elektrovozining konstruktiv tezligi uchun - $V_{EK} = 110$ km/soat).

1-jadval

VL80s elektrovozi aravacha ramasi bo'ylama balkasi D – D xavfli (eng ko'p yuklangan) kesimidagi umumiy kuchlanishlar

№	Yuklama turi	Qo'zg'alish ($V_E = 0$ km/soatda)	Qiyaliksiz burilishda harakatlanish	Qiyalikka ega burilishda harakatlanish	Konstruktiv tezlik bilan harakatlanish
1.	Og'irlik yuklamasi	48,425	48,425	48,425	48,425
2.	Burilishda harakatlanishda	0	13,984	41,292	55,276
3.	Tortuv rejimida ta'sir etuvchi	8,76	6,168	6,54	5,626
4.	Egri-simmetrik yuklama	3,464	3,464	3,464	3,464
5.	Vertikal dinamik yuklama	0	7,958	9,131	10,921
6.	Umumiy yuklama, MPa	60,654	80,376	108,48	123,71

3. VL80s elektrovozi aravacha ramasi bo'ylama balkasining modernizatsiya qilingan D – D kesimi uchun raqamli hisoblashlar natijalariga asosan $V_{EK} = 110$ km/soat konstruktiv tezlikda eng yuklangan kesimdagi umumiy kuchlanishlar mustahkamlik chegarasidan ortmasligi aniqlandi va $\sigma_{sum} = 123,71$ MPa ga teng, bunda mazkur kesim uchun mustahkamlik chegarasi:

$$n = \frac{[\sigma_{доп}]}{\sigma_{сум}} = \frac{240}{123,71} = 1,94. \quad (10)$$

Hisoblash asosida mustahkamlik zaxirasi koeffitsiyenti 1,6 dan katta, mazkur kesim mustahkamlik zaxirasi bo'yicha shartni qanoatlantiradi.

Bunda aravacha ramasi yon balkasi materiali eskirishini hisobga olganda, yuzaga keluvchi umumiy kuchlanishlar quyidagicha bo'lishi lozim

$$(\sigma_y + \sigma_{CT}) \leq [\sigma] = 218,18 \text{ MPa}, \quad (11)$$

Mustahkamlik zaxirasi ko'effitsiyenti material eskirishini hisobga olgan holda quyidagiga teng bo'ladi

$$n_{\text{trap}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{сум}}} = \frac{218,18}{123,71} \approx 1,764. \quad (12)$$

4. Charchoq mustahkamligini tekshirishda o'zgaruvchan asimmetrik kuchlanish ta'siridagi aravacha ramasi elementlari kuchlanish konsentratorlari mavjudligi va boshqa qator sabablarga ko'ra qo'shimcha mustahkamlik zaxirasiga ega bo'lishi kerak. Bunda chidamlilik chegarasi ruxsat etilgan kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi k_σ marta kamayishi hisobiga pasayadi.

Detalning charchoq mustahkamligi pasayishi ko'effitsiyenti namuna bilan taqqoslanganda $k_\sigma = 2,4$.

Materialning sikl asimmetrikligiga sezgirligi ko'effitsiyenti

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_0} = 0,6, \quad (13)$$

bu yerda $\sigma_T = 200 \text{ MPa}$, $\sigma_0 = 250 \text{ MPa}$, $\sigma_m = 69,778 \text{ MPa}$.

Bunda chidamlilik chegarasi:

$$\sigma_{\text{ББИH}} = \frac{\sigma_T}{k_\sigma} + \left(1 - \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_T k_\sigma}\right) \sigma_m, \quad (14)$$

bu yerda raqamli hisoblarga muvofiq $\sigma_{\text{ББИH}} = 131,36 \text{ MPa}$.

Maksimal kuchlanishni hisobga olgan holda charchoq mustahkamligi zaxirasi

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{\text{ББИH}}}{\sigma_m + \sigma_{\text{aПП}}} = 1,427, \quad (15)$$

bu yerda $\sigma_{\text{aПП}} = 22,216 \text{ MPa}$ – keltirilgan amplituda kuchlanishi, u quyidagi tenglamaga asosan hisoblanadi:

$$\sigma_{\text{aПП}} = 2,17 \sqrt[6]{(\sum_i R_i)}, \quad (16)$$

bu yerda R_i – rama detallari dinamik yuklanishi hisobiy asimmetrik siklining keltirilgan amplituda kuchlanishi, *MATHCAD 15* dasturlash muhiti uchun tuzilgan raqamli hisoblashlar dasturi asosida hisoblanadi.

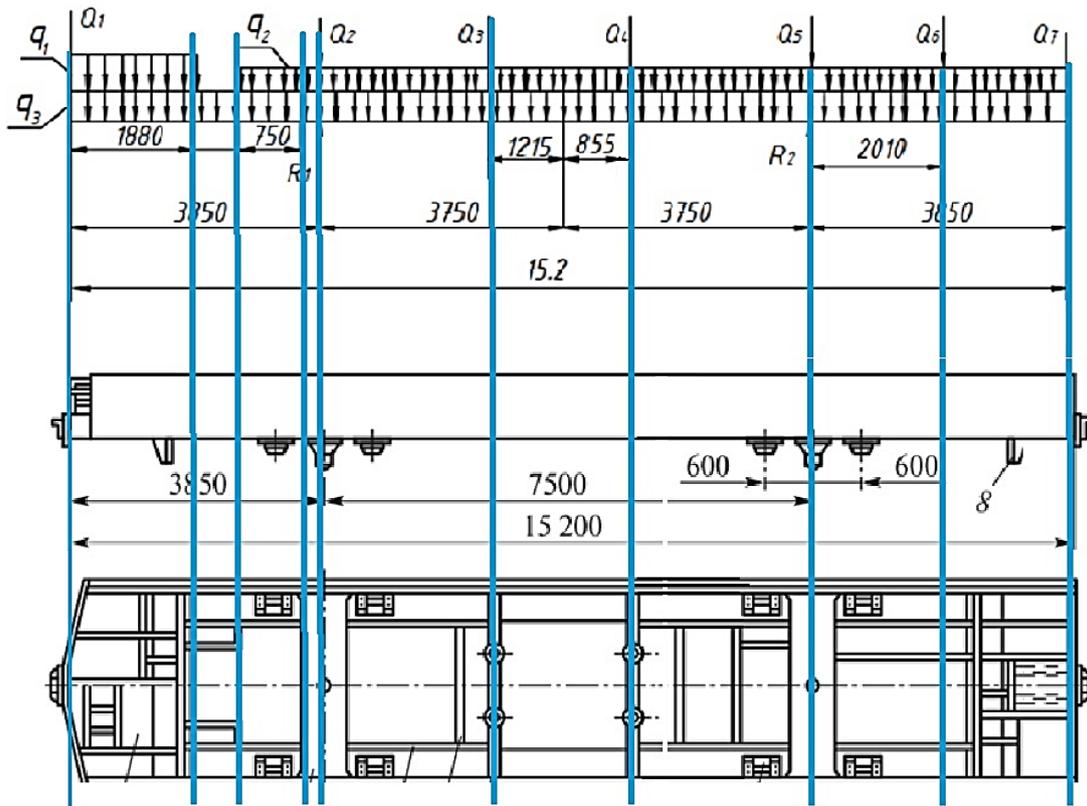
5. VL80s elektrovozi aravacha ramasi kesimlari bo'yicha bajarilgan raqamli tadqiqotlar natijasida kuchaytiruvchi qoplagichlarni o'rnatish yo'li bilan amalga oshirilgan modernizatsiyani hisobga olgan holda charchoq mustahkamlik yetarli ekanligi aniqlandi, chunki u 1,4 minimal qiymatdan katta.

Natijada iterasiyalar va bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash usullari asosida uyg'unlashgan tahliliy-raqamli usul ishlab chiqilgan. Ushbu amaliy muhandislik usuli elektrovoz aravachalari yon balkalarining garmonik yuklanishlarda yuzaga keluvchi zo'riqqan-deformatsiyalangan holati bo'yicha dinamik hisoblarni bajarish imkonini beradi.

“VL80 elektrovozi kuzovi bosh ramasing po'lat qoplagichlar bilan payvandlash orqali kuchaytirilgandan keyingi zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini hisoblash” deb nomlangan uchinchi bobda VL80 elektrovozining modernizatsiya qilinayotgan bosh ramasi maksimal kuchlanishlari va charchoq mustahkamligi zaxirasi ko'effitsiyentlarining raqamli hisoblari amalga oshirilgan, VL80 elektrovozining modernizatsiya qilinayotgan bosh ramasiga bo'ylama kuchlar ta'siri, og'irlik va inersiya momentlari o'zgaruvchanligida dinamik mustahkamlikka hisoblash usuli ishlab chiqilgan.

Lokomotiv kuzovi murakkab konfiguratsiyali ekvivalent bosh ramasing zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini tahlil qilishda o'zgaruvchan kesimli to'g'ri

sterjenlardagi egilish va bo'ylama tebranishlarining differensial tenglamalaridan foydalanilgan (3-rasm):



3-rasm. Elektrovoz kuzovi ramasing hisobiy kesimlari

$$m_K(X) \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial t^2} - E \frac{\partial F(X)}{\partial X} \cdot \frac{\partial U(X, t)}{\partial X} - EF(X) \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} =$$

$$= N_{\Delta}(X, t) + E \frac{\partial I_X(X)}{\partial X} \cdot \frac{1}{R^2} + 2EI_X(X) \frac{1}{R} \frac{\partial^3 W(X, t)}{\partial X^3}, \quad (17)$$

$$m_K(X) \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial t^2} + EI_X(X) \frac{\partial^4 W(X, t)}{\partial X^4} + E \frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial X^2} =$$

$$= P_{\Delta}(X, t) + \frac{E}{R} \left[\frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} + 2I_X(X) \cdot \frac{\partial^3 U(X, t)}{\partial X^3} \right]. \quad (18)$$

(17) – (18) tenglamalar tizimini yechishda Simpson usuli bo'yicha linearizatsiyalash, shuningdek Furrye usuli va Laplasning vaqt bo'yicha operatsion o'zgartirish usuli qo'llanilgan, raqamli tadqiqotlar bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash va chegaraviy elementlar usullari orqali MATHCAD 15 dasturiy muhitida bajarilgan. Boshlang'ich shartlar nolga teng, chegaraviy shartlar esa chekka qismlari qayishqoq mahkamlangan ko'rinishda qabul qilingan.

Elektrovoz ramasing har bir k – uchastkasi uchun $X = X_K$ da quyidagi ko'rinishdagi tenglamalar tizimini tuzamiz

$$\frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial t^2} - A_{K1} \cdot \frac{\partial U(X, t)}{\partial X} - B_{K1} \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} = C_{K1} \cdot \sin n \omega t +$$

$$+ D_{K1} + E_{K1} \cdot \frac{\partial^3 W(X, t)}{\partial X^3}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial t^2} + A_{K2} \cdot \frac{\partial^4 W(X, t)}{\partial X^4} + B_{K2} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial X^2} =$$

$$= C_{K2} \cdot \cos n \omega t + D_{K2} + E_{K2} \cdot \frac{\partial^3 U(X, t)}{\partial X^3}. \quad (20)$$

Shu tariqa, Furye usuli va Laplasning vaqt bo'yicha operatsion o'zgartirish usulini qo'llash natijasida elektrovoz kuzovi ramasi yon balkasining (19) va (20) ko'rinishidagi umumiy yechimi aniqlangan

$$W(X, t) = \sum_{k=1}^{\infty} W(X) * \left\{ \frac{C_{K2}}{W(X)} \cdot \frac{\cos n \omega t - \cos \lambda_{2n} t}{\lambda_{2n}^2 - (n\omega)^2} + W_0 \cdot \cos \lambda_{2n} t + \left[\frac{D_{K2}}{W(X)} + V_{0\Pi} \right] * \frac{1}{\lambda_{2n}} \cdot \sin \lambda_{2n} t \right\}, \quad (21)$$

$$U(X, t) = \sum_{k=1}^{\infty} U(X) * \left[\frac{C_{K1}}{U(X)} \cdot \frac{n\omega \sin \lambda_{1n} t - \lambda_{1n} \sin n\omega t}{n\omega \cdot \lambda_{1n} \cdot (\lambda_{1n}^2 - (n\omega)^2)} + U_0 \cdot \cos \lambda_{1n} t + \left[\frac{D_{K1}}{U(X)} + V_0 \right] * \frac{1}{\lambda_{1n}} \cdot \sin \lambda_{1n} t \right], \quad (22)$$

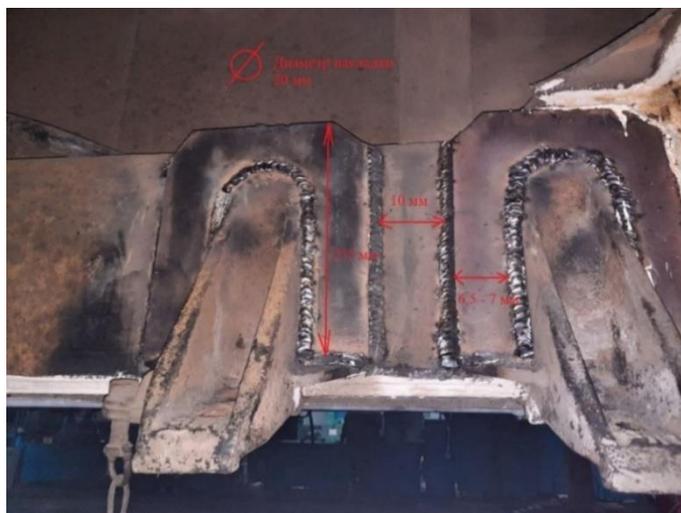
bu yerda $W(X)$ va $U(X)$ – xususiy funksiyalar, ularni quyidagi tenglamalar bo'yicha hisoblash mumkin:

$$W(X) = \frac{\aleph_1 \cdot (1 + \omega_k^2 / \omega_B^2) + \omega_B^2}{\omega_k^3} \cdot \text{sh} \omega_k X + \text{ch} \omega X + \sin \omega_B X + \omega_k^2 / \omega_B^2 \cos \omega_B X, \quad (23)$$

$$U_n(x) = A_n \cos a_n x + B_n \sin a_n x. \quad (24)$$

Natijada elektrovoz kuzovining murakkab konfiguratsiyali bosh ramasi yon balkasining kesimi, massasi, egilish va bo'ylama bikrlilari o'zgaruvchanligini hisobga olgan holda birgalikdagi egilish-bo'ylama tebranishlarini tadqiq qilish uchun tahliliy-raqamli yechim olindi.

VL80 elektrovozi kuzovi bosh ramasi kesimlari bo'ylab kuchaytiruvchi qoplagichlar o'rnatilgandan (payvandlangandan) so'ng (4-rasm), raqamli hisoblash dasturidan foydalangan holda hisobiy rejimlar uchun maksimal kuchlanishlar va charchoq mustahkamligi zaxirasi koeffitsiyentlari aniqlandi.

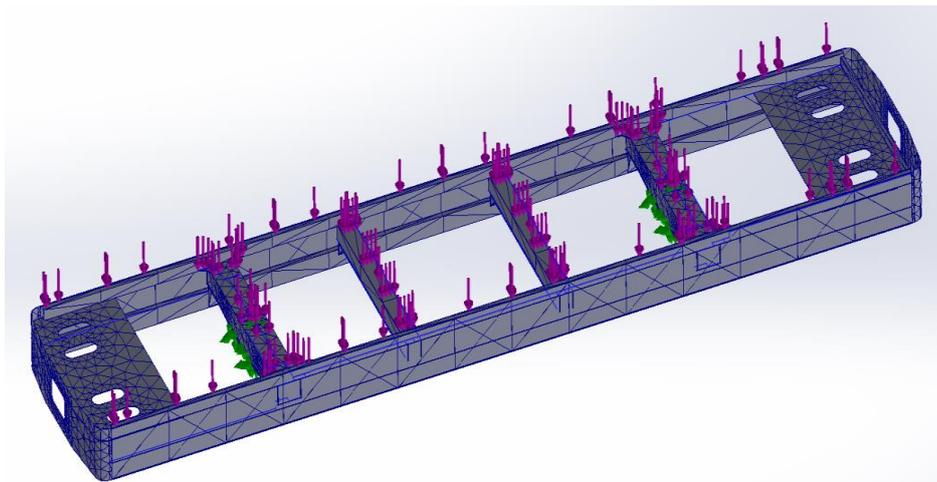


4-rasm. VL80 elektrovozi kuzovi ramasi kronshteynlarini kuchaytirish uzeli 15TN.121.032 va 8TN.121.044 (figurali profilga ega kuchaytiruvchi qoplagichlarni o'rnatish)

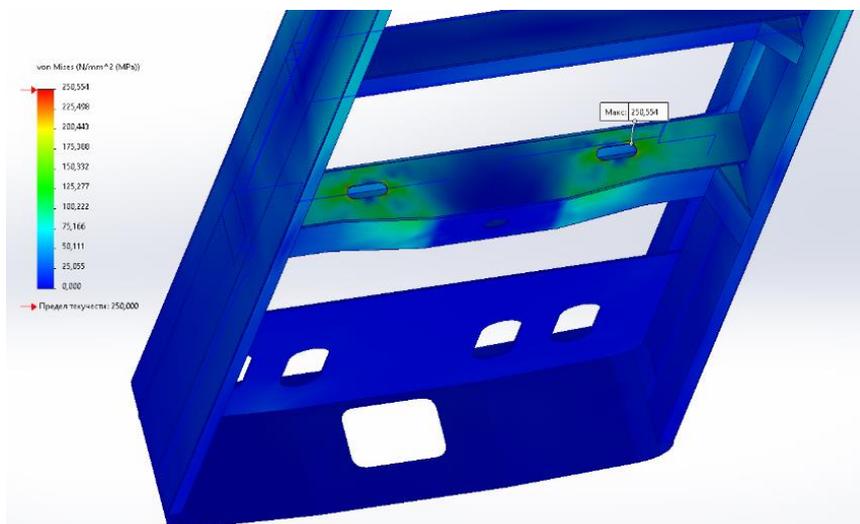
Shuningdek, VL80 elektrovozi bosh ramasi kuchaytirish yo'li bilan modernizatsiya qilingandan so'ng, hisobiy rejimlarda maksimal kuchlanishlari bo'yicha umumlashtirilgan xulosalar keltirilgan.

Olingan natijalarni bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli yordamida tekshirish uchun Solid Works kompyuterda modellashtirish dasturiy muhitidan

foydalangan holda chegaraviy elementlar usuli orqali hisoblashlar bajarilgan (5-rasm).



5-rasm. VL80 elektrovozi ramasining chekli elementli modeli



6-rasm. VL80 elektrovozi ramasida D-D kesimga mos keluvchi kuchlangan zona

2-jadval

Chegaraviy elementlar usuli bilan modellashtirish natijasida va ishlab chiqilgan bo'lak-chiziqli approksimatsiyalashga asoslangan usulda olingan qiymatlar farqi

№ t/r	Rejim nomi		Maksimal kuchlanish, MKLA bo'yicha aniqlangan, MPa	Maksimal kuchlanish, MKE bo'yicha aniqlangan, MPa	Farq, %
1.	Avtotirkama o'qi bo'ylab 250 t (2.5 MN) kuch bilan siqilish	Qo'shimcha kuchlanishlar	-198,5	-215,35	7.2
		Og'irliklari bilan jami yig'indisi	-211,8	-218,2	3
2.	Avtotirkama o'qi bo'ylab 250 t (2.5 MN) kuch bilan cho'zilish	Qo'shimcha kuchlanishlar	+198,5	+216,3	8
		Og'irliklari bilan jami yig'indisi	+215,3	+238,3	10

Ikki usul bo'yicha olingan natijalar taqqoslanganda, bosh ramaning eng yuklangan kesimlaridagi umumiy kuchlanishlar qiymatlari deyarli bir xilligi aniqlandi (6-rasm). Natijalar 2-jadvalda keltirilgan bo'lib, tanlab olingan kesimlardagi farq 7-9% dan oshmaydi.

“Transport mashinasozligi uchun kontaktli dinamik yuklanishlarni hisobga olgan holda murakkab konfiguratsiyali lokomotivlarning rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash usuli” deb nomlangan to'rtinchi bobda transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalari, kontaktli dinamik va issiqlik yuklamalari, shuningdek tortuv kuchlarining bo'ylama, ko'ndalang va burovchi tashkil etuvchilari ta'sirini hisobga olgan holda, aynan VL80s elektrovozining bosh va aravacha ramalari uchun dinamik mustahkamlikka hisoblashning umumlashgan usullari ishlab chiqilgan.

Taklif etilayotgan muhandislik usuli lokomotivlarning modernizatsiya qilingan kuchaytirilgan tayanch karkasli aravacha ramasi va kuzov bosh ramasining zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini raqamli hisoblash dasturi asosida kvazistatik va dinamik modellashtirish imkonini beradi.

Taklif etilayotgan model uchun lokomotiv kuzovining murakkab konfiguratsiyali modernizatsiya qilingan ramasining ekvivalent tayanch karkasi parametrlari o'zgaruvchan funksiyalar ko'rinishida qabul qilinadi:

- lokomotivning modernizatsiya qilingan murakkab konfiguratsiyali kuzovi ramasi kesimlari bo'yicha o'zgaruvchan massa (kg/m) $m_{kl}(x)$, (25) tenglamaga asosan aniqlanadi, bunda yig'iq Q_i va tarqoq q_i yuklamalarning kvazistatik taqsimlanishida amalga oshirilgan hisoblashlar asosida olingan murakkab xarakterli hisobga olinadi (hisoblash namunasi sifatida VL80s elektrovozi ko'rib chiqilgan):

$$m_{kl}(x) = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & \dots & q_{1i} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} & \dots & q_{2i} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} & \dots & q_{3i} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} & \dots & q_{4i} \\ q_{51} & q_{52} & q_{53} & q_{54} & \dots & q_{5i} \\ q_{61} & q_{62} & q_{63} & q_{64} & \dots & q_{6i} \\ q_{71} & q_{72} & q_{73} & q_{74} & \dots & q_{7i} \\ q_{81} & q_{82} & q_{83} & q_{84} & \dots & q_{8i} \end{vmatrix}; \quad (25)$$

- ko'ndalang kesimning o'zgaruvchan maydoni $F_{kl}(x)$, (26) tenglama bo'yicha aniqlanadi, bunda, masalan, VL80s elektrovozi bosh ramasining uzunligi 15,2 m, x koordinatasi esa $0 \leq x \leq 15,2$ m oraliqda o'zgaradi:

$$F_{kl}(x) = \begin{vmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} & \dots & f_{1i} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} & \dots & f_{2i} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} & \dots & f_{3i} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} & \dots & f_{4i} \\ f_{51} & f_{52} & f_{53} & f_{54} & \dots & f_{5i} \\ f_{61} & f_{62} & f_{63} & f_{64} & \dots & f_{6i} \\ f_{71} & f_{72} & f_{73} & f_{74} & \dots & f_{7i} \\ f_{81} & f_{82} & f_{83} & f_{84} & \dots & f_{8i} \end{vmatrix}; \quad (26)$$

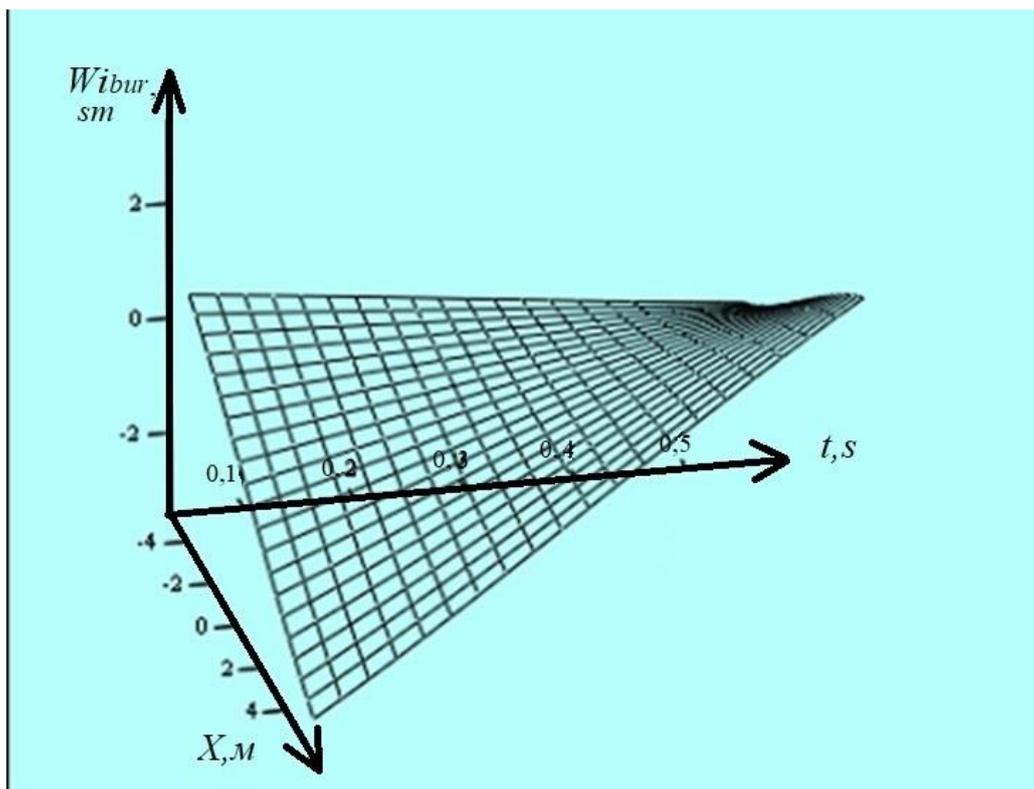
- modernizatsiya qilingan rama kesimlarining Ox o'qi bo'yicha o'zgaruvchan inersiya momenti - $I_x(x)$ (sm^4):

$$I_x(x) = \begin{pmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} & j_{14} & \dots & j_{1i} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} & j_{24} & \dots & j_{2i} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} & j_{34} & \dots & j_{3i} \\ j_{41} & j_{42} & j_{43} & j_{44} & \dots & j_{4i} \\ j_{51} & j_{52} & j_{53} & j_{54} & \dots & j_{5i} \\ j_{61} & j_{62} & j_{63} & j_{64} & \dots & j_{6i} \\ j_{71} & j_{72} & j_{73} & j_{74} & \dots & j_{7i} \\ j_{81} & j_{82} & j_{83} & j_{84} & \dots & j_{8i} \end{pmatrix}; \quad (27)$$

- modernizatsiya qilingan rama kesimlari bo'yicha o'zgaruvchan egilish bikrligi $\mathcal{K}_{bur}(x)$, quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

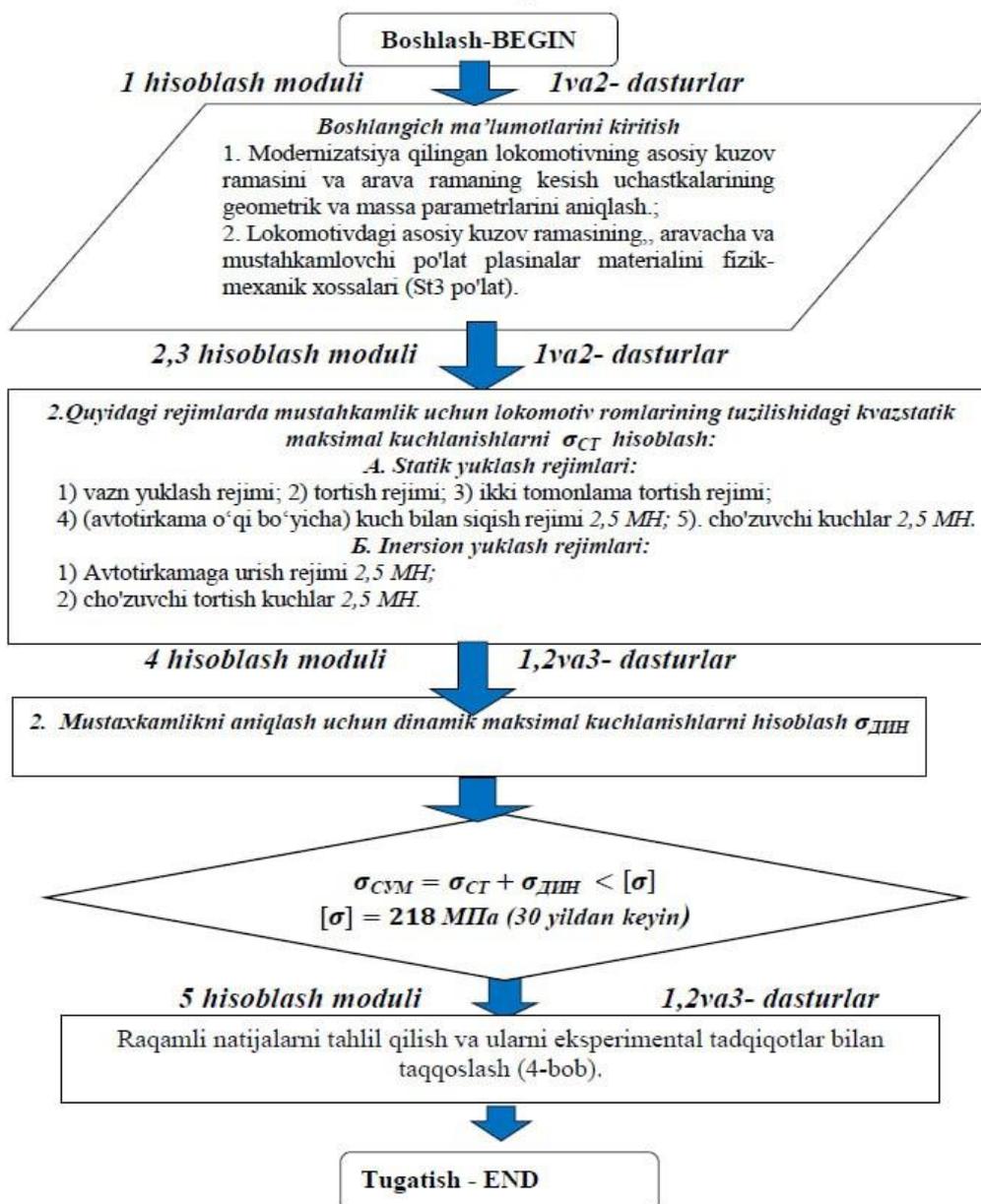
$$\mathcal{K}_{bur}(x) = E I_x(x). \quad (28)$$

Bunda n (polinomlar darajasi) ning maqbul qiymati EHMda elektrovozlar ramasi yon balkasining real o'lchamlari bo'yicha bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli orqali tanlanadi. VL80s elektrovozi uchun raqamli hisoblashlarda $n = 8$ qiymati olingan, (bunda xatolik $\delta = 0,001$ ni tashkil etdi). Standart konstruksiyali VL80 elektrovozi kuzov ramasi kesimlarining vaqt davomida egilish tebranishlaridagi dinamik siljishlari o'zgarishi grafigi 7-rasmda keltirilgan.



7-rasm. VL80 elektrovozi standart konstruksiyali kuzov ramasi kesimlarida vaqt bo'yicha egiluvchi tebranishlardagi dinamik siljishlar grafigi (o'rta qismida)

Usulning barcha bosqichlarini ta'riflash uchun yuqori harakat tezliklarida lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali modernizatsiya qilingan aravacha ramalari va kuzov bosh ramasi dinamik modeli bo'yicha raqamli tadqiqotlar uchun blok-sxema 8-rasmda keltirilgan.



Rasm. 8. Transport mashinasozligi uchun yuqori harakat tezliklarida lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali modernizatsiya qilingan aravacha ramalari va kuzov bosh ramasi modeli bo'yicha raqamli tadqiqotlar uchun blok-sxema

“Bir maromdagi harorat maydonida lokomotivning modernizatsiya qilingan ramasiga payvandlangan kuchaytiruvchi qoplagichning kontaktli harorat deformatsiyalari” nomli beshinchi bobda lokomotiv kuzovi bosh ramasining modernizatsiya qilingan yon balkasiga payvandlangan silindrik detal ko‘rinishidagi po‘lat kuchaytiruvchi qoplagich o‘rnatilgan joydagi kontaktli harorat maydonlarining o‘zgarish jarayonini uch o‘lchamli modellashtirish uchun umumlashgan matematik model va tahliliy-raqamli usul ishlab chiqilgan. VL80s elektrovozlarining rels yo‘li bo‘ylab harakatlanishida turli yuklanish rejimlarida aravacha ramalari va kuzov bosh ramasining tabiiy dinamik sinovlaridagi eksperimental tadqiqotlar natijalari keltirilgan.

Mazkur usul chegaraviy elementlar texnologiyasiga asoslangan bo‘lib, r , z va φ silindrik koordinatalarda issiqlik o‘tkazuvchanligining uch o‘lchamli tenglamasidan foydalangan holda bo‘lak-chiziqli approksimatsiyalash qo‘llanilgan:

$$\nabla^2 T - F(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = F_1(T) \cdot \Phi(r, t), \quad (29)$$

bu yerda

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}, \quad (30)$$

boshlang'ich shartlar quyidagicha:

$$T(r, \varphi, Z, 0) = T_{cpH}; \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_{max}; \quad 0 \leq r \leq \frac{D}{2}. \quad (31)$$

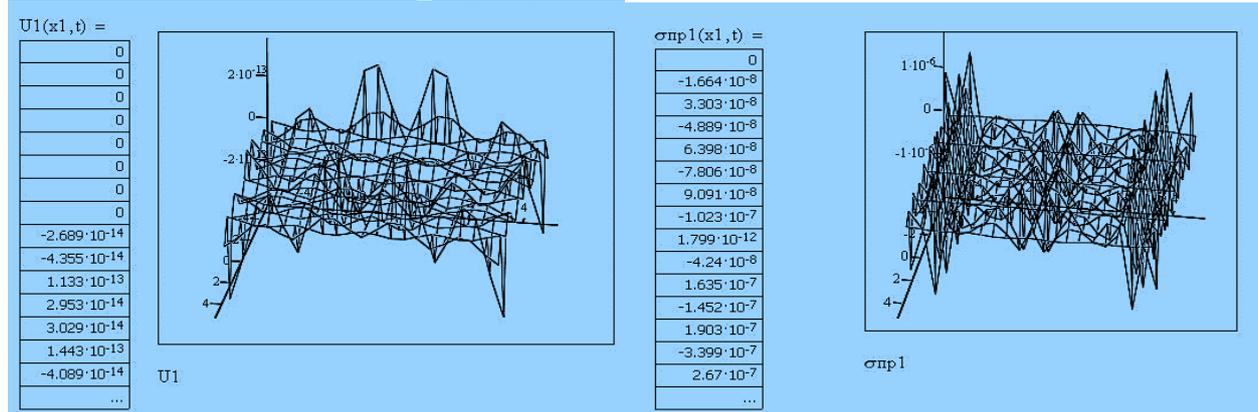
Xususiy funksiyalar (29) tenglamadan, Furrye usulidan foydalanib aniqlangan:

$$T = U(\varphi) \cdot V(Z) \cdot W(r) \quad (32)$$

silindrik garmonikalar ko'rinishida

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = e^{\pm KZ} Z_m(K_r) \cdot (\alpha \cdot \cos(m\varphi) + \beta \sin(m\varphi)), \quad (33)$$

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = e^{\pm KZ} \cdot (K_r) \cdot (\alpha + \beta \cdot \varphi), \quad (34)$$



9-rasm. Lokomotiv kuzovining modernizatsiya qilingan bosh ramasiga payvandlangan kuchaytiruvchi qoplagichda (St3 po'lati) yuzaga keluvchi kuchlanishlar va kontaktli harorat deformatsiyalarining hajmli grafik bog'lanishi

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = (a + b \cdot Z) \cdot \left((A \cdot r^m + \frac{B}{r^m}) (\alpha \cdot \cos(m\varphi) + \beta \cdot \sin(m\varphi)) \right), \quad (35)$$

$$T_{00}(r, \varphi, Z) = (a + b \cdot Z) \cdot (A + B \cdot \ln \cdot r) \cdot (\alpha + \beta \cdot \varphi), \quad (36)$$

bunda $Z_m(\xi)$ – silindrik funksiya; $r=0$ da T yechim cheklangan, $Z_m(\xi)$ – birinchi turdagi Bessel funksiyasi - $I_m(\xi)$.

Raqamli yechimlar natijasida uchta noxiziq tenglamalar tizimi tahlili amalga oshiriladi:

$$\frac{d^2 U(\varphi)}{d\varphi^2} + m^2 \cdot U(\varphi) = 0; \quad (37)$$

$$\frac{d^2 V(Z)}{dZ^2} - K^2 \cdot V(Z) = 0; \quad (38)$$

$$\frac{d^2 W(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} W(r) + \left(k^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) \cdot W(r) = 0. \quad (39)$$

(29) noxiziq tenglamadagi $F(T)$ va $F_1(T)$ funksiyalar eksperimental ma'lumotlar asosida olinadi va quyidagi ko'rinishga ega:

$$F(T) = \frac{C_H(T) \cdot \rho_H(T)}{K_T(T)}, \quad F_1(T) = \frac{\alpha}{C_H(T) \cdot \rho_H(T)}, \quad (40)$$

bu yerda $C_H(T)$, $K_H(T)$, $\rho_H(T)$ – issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti va haroratga bog'liq kuchaytiruvchi qoplagich zichligining o'zgaruvchan qiymatlari. Hisoblar *MATHCAD 15* dasturiy muhitida amalga oshirilgan va 9-rasmda keltirilgan.

Hajmli grafik bog'lanish tahlili (9-rasm) lokomotiv (VL80s elektrovozi) kuzovi bosh ramasidagi modernizatsiya qilingan yon balkasining payvandlangan

kuchaytiruvchi qoplagich oʻrnatilgan joyida hosil boʻluvchi kuchlanishlar va kontaktli harorat deformatsiyalari qiymati, uning oʻrta qismi bilan birga mahkamlash joylarida ham ortishini koʻrsatdi, bu amaliy kuzatishlarga ham mos keladi, chunki payvandlangan kuchaytiruvchi qoplagich oʻrnatilgan joylarda metall yuzasining buzilishi va erozion rakovinalar toʻplanishi roʻy beradi. Biroq lokomotiv kuzovi bosh ramasining yon balkasida ham, payvandlangan kuchaytiruvchi qoplagichda ham yuzaga keluvchi kontaktli harorat deformatsiyalari kichik, bu biz tomonimizdan amalga oshirilgan kapital tiklovchi taʼmirdagi lokomotivning mustahkamligini oshirish va xizmat muddatini uzaytirish uchun kuchaytiruvchi qoplagichni payvandlash texnologiyasini tasdiqlaydi.

Natijada muhandislik hisoblari uchun raqamli-tahliliy amaliy usul ishlab chiqilgan, unda foydalanishdagi eksperimental maʼlumotlar hisobga olinadi. Mazkur usul issiqlik oʻtkazuvchanligining uch oʻlchamli tenglamasidan foydalanib, boʻlak-chiziqli approksimatsiyalash usuli qoʻllanilgan chegaraviy elementlar texnologiyasiga asoslangan. Eksperimental tadqiqotlar Toshkent viloyatida joylashgan temir yoʻl uchastkalarida aravacha va kuzov ramalari modernizatsiya qilingan VL80 turidagi elektrovozlarda oʻtkazilgan

Sinash uchun elektrovozlar aravachalari ramalari vibrodatchiklar (10-rasm) bilan jihozlangan hamda kuzov va aravacha ramalariga tenzodatchiklar oʻrnatilgan (11-rasm).

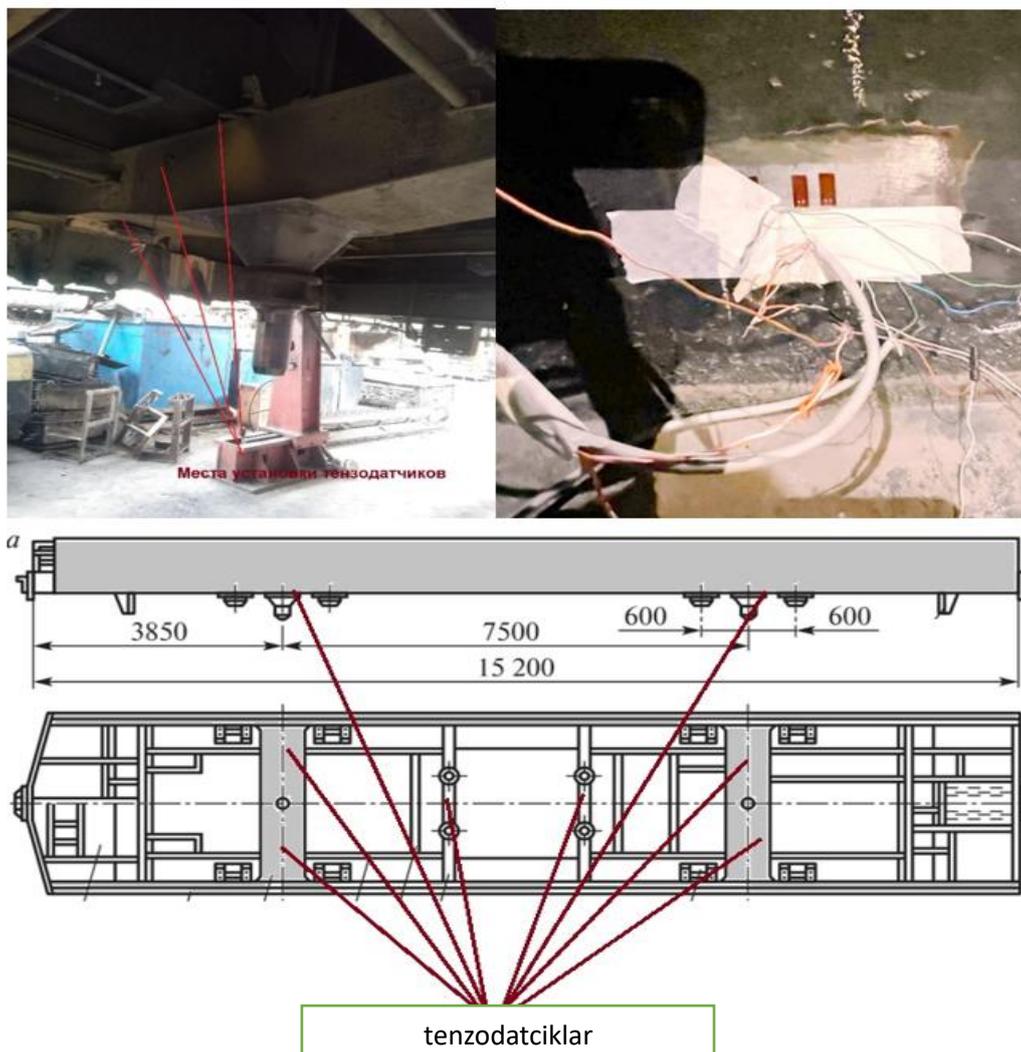


10-rasm. VL80 elektrovozi aravacha ramasida vibrodatchiklar oʻrnatilgan joylar

Gʻildirak juftliklariga quvvatni elektr uzatish tizimiga ega lokomotivlar uchun aravacha ramalarini dinamik mustahkamlikka sinash stendining yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan boʻlib, u lokomotivlarni taʼmirlash zavodlarida xizmat muddatini uzaytirish bilan bajariladigan taʼmirlarda lokomotiv aravachalarini dinamik mustahkamlikka sinash stendining yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan (12-rasm), uning texnik yechimi yangiligi Oʻzbekiston Respublikasining ixtiro uchun Patenti bilan himoyalangan (№ IAP 06795, 05.02.2022-y., Byul. № 3).

Taklif etilayotgan ixtironing vazifalari sinash sharoitlarini real sharoitlarga yaqinlashtirish, shuningdek charchoq boʻyicha sinovlarni amplituda, oʻrtacha daraja va chastotani maʼlum dasturga muvofiq yoki yuklanishning ekspluatatsion siklini tatbiq

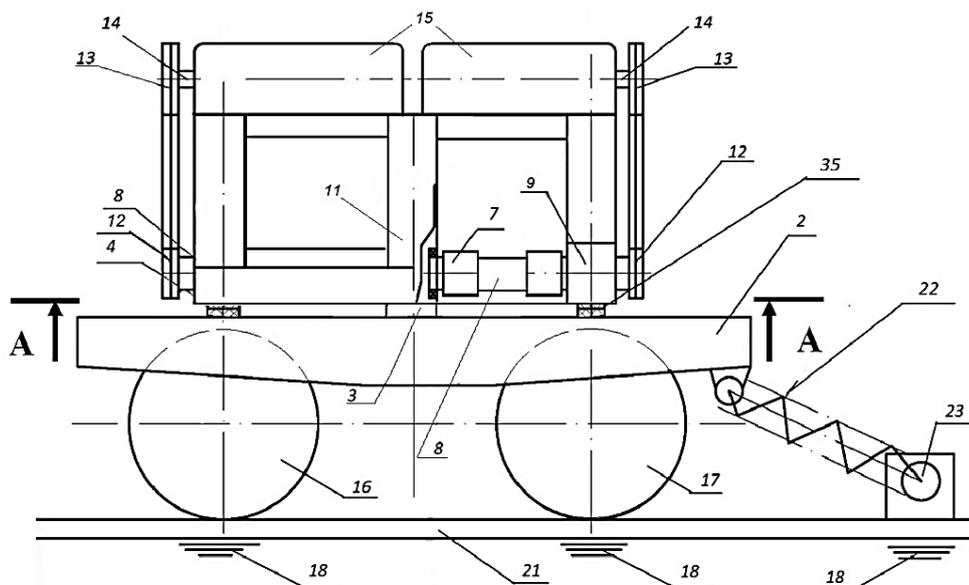
etgan holda dinamik yuklanish kuchi bo'yicha aks aloqa mavjudligi sababli tasodifiy qonuniyatga asosan modellash tirish imkoniyatidan iborat.



11-rasm. Kuzov ramasida tenzodatchiklar o'rnatilgan joylar

G'ildirak juftliklariga quvvatni elektr uzatish tizimiga ega lokomotivlar uchun aravacha ramalarini dinamik mustahkamlikka sinash stendining prinsipial sxemasi 12-rasmda keltirilgan bo'lib, yon tomondan ko'rinishi (rels yo'li bo'yicha) aks ettirilgan. Aravacha ramasining 2 yuklanish sharoitlarini hosil qilish uchun stendning fazoviy karkasida 1 ikkita idish 19,20 o'rnatilgan, ularga, masalan, cho'yan va qum solinishi mumkin. "O'zbekiston temir yo'llari" AJ temir yo'llarining magistral uchastkalarida foydalanilayotgan VL80s elektrovozlari uchun idishlardagi 19,20 umumiy statik yuklama 64-68 t ni tashkil etishi mumkin, bunda asosiy tayanchlarga 3 tushuvchi umumiy yuklama 20-25 t, rezina-metall plastinalarga ega qo'shimcha qayishqoq tayanchlarga 4 tushuvchi umumiy yuklama 3-3,5 t gacha yetishi mumkin.

Yuklama kattaligini rostlash uchun yon tayanchlar 4 uchun rezina-metall elementlar soni tanlanadi, bunda yon tayanchlardagi 4 rezina-metall elementlari to'liq komplektning siqilish deformatsiyasi, shuningdek asosiy tayanlardagi 3 konussimon rezina korpusining siqilish deformatsiyalari, signallarni EHMga va unga o'rnatilgan dasturga uzatuvchi mos siqilish datchiklari 35 yordamida nazorat qilinadi.



12-rasm. G'ildirak juftliklariga quvvatni elektr uzatish tizimiga ega lokomotivlar uchun aravacha ramalarini dinamik mustahkamlikka sinash uchun standning taklif etilayotgan yangi istiqbolli konstruksiyasi, yon tomondan ko'rinishi (rels yo'li bo'yicha), (o'zbekiston respublikasining ixtiro uchun berilgan № iap 06795 patenti, 05.02.2022-y., byul. № 3)

Mazkur siqilish datchiklari 35 tayanchlar 3,4 o'rnatilgan joyda stand karkasidagi 1 nuqtalarning aravacha ramasiga 2 nisbatan nisbiy siljishlaridan yuzaga keluvchi deformatsiyalarni qayd etadi. Idishlarga 19,20 suyuqlik uzatiladi, uning miqdori ham EHM da boshqaruv dasturi orqali nazorat qilinadi. G'ildirak juftliklaridagi 16,17 ramaning 2 rels yuzasiga nisbatan impulsli siljishini ta'minlash uchun silindrik vintsimon prujinalar bloki ko'rinishidagi qayishqoq bog'lanish 22 va relslar 21 bilan qattiq bog'langan tayanch kronshteyni 23 o'rnatilgan.

Taklif etilayotgan stand ma'lum standlarga nisbatan qator afzalliklarga ega: sinash sharoitlarining real sharoitlarga yaqinligi, charchoq bo'yicha sinovlar amplituda, o'rtacha daraja va chastotani ma'lum dasturga muvofiq yoki yuklanishning ekspluatatsion siklini tatbiq etgan holda dinamik yuklanish kuchi bo'yicha aks aloqa mavjudligi sababli tasodifiy qonuniyatga asosan modellashtirish imkoniyati. Taklif etilayotgan standdan tadqiqot ishlarini o'tkazish bilan bir qatorda lokomotivlarni ta'mirlash korxonalarida xizmat muddatini uzaytirish bilan bajariladigan ta'mirlarda dinamik mustahkamlikka resurs sinovlarini o'tkazishda ham foydalanish maqsadga muvofiq.

Ishlab chiqilgan usul bo'yicha 2022-yilda 3 ta lokomotiv (9 ta seksiya) modernizatsiya qilingan. Birinchi lokomotiv lokomotivlar bosh ramasi va aravacha ramalari uzellarining dinamik vibratsiyalari bo'yicha tabiiy eksperimental tadqiqotlardan o'tdi. Tadqiqot natijalari ramalarning modernizatsiya qilingan uzellarida ruxsat etilgan qiymatlardan oshish holatlari kuzatilmadi. VL80s elektrovozlari kuzovlari bosh ramasi va aravacha ramalarining rels yo'li bo'ylab turli yuklanish rejimlarida harakatlanishida tabiiy dinamik sinovlardagi eksperimental tadqiqotlar natijalarini hisobga olgan holda kapital tiklovchi ta'mir davrida mazkur turdagi lokomotivlar kuzovlarining bosh ramalari va aravacha ramalarini modernizatsiya qilish usuli ilmiy asoslandi.

O'tkazilgan tahliliy, raqamli va eksperimental tadqiqotlar natijasida lokomotivlarning dinamik tavsiflarini yaxshilash, mustahkamligi, ishonchligini oshirish va foydali xizmat muddatini uzaytirish maqsadidagi kapital tiklovchi ta'mirda modernizatsiya qilishning yangi usuli ishlab chiqildi.

XULOSA

“Transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini dinamik mustahkamlikka hisoblash usullarini ishlab chiqish” mavzusidagi doktorlik dissertatsiyasi bo'yicha o'tkazilgan tahliliy, raqamli va eksperimental tadqiqotlar natijasida quyidagi asosiy ilmiy va amaliy natijalar olindi:

1. Ma'lumotlar tahliliga ko'ra, 2.02.2017-yildan 11.10.2022-yilgacha bo'lgan davrda aniqlangan nosozliklarning 75% kuzov va aravacha ramalaridagi nosozliklarni tashkil etadi. Shundan kelib chiqib, foydalanish jarayonida yuzaga keliuvchi sezilarli dinamik va harorat ta'sirlari charchoq yoriqlarining vujudga kelishiga sabab bo'lishi, yoriqlarni standart payvandlash jarayoni zaruriy ishonchlilikni bermasligi, shu bois kuchaytirish talab etilishi aniqlandi.

2. Transport mashinasozligi uchun lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini, kontaktli dinamik yuklamalarni, shuningdek yuqori harakat tezliklarida tortuv kuchlarining bo'ylama, ko'ndalang va burovchi tashkil etuvchilari ta'sirini hisobga olgan holda mustahkamlikka kvazistatik va dinamik hisoblashning matematik modeli ishlab chiqildi. Natijada lokomotiv aravachasi ramasining zo'riqqan-deformatsiyalangan holati va charchoq mustahkamligi zaxirasi koeffitsiyentini hisoblashning asosiy qoidalari keltirildi.

3. Transport mashinasozligi uchun yuqori harakat tezliklarida, kuchaytirish yo'li bilan modernizatsiya qilingan VL80s elektrovozi bosh ramasi hisobiy rejimlaridagi maksimal kuchlanishlar bo'yicha tahlili asosida, lokomotiv kuzovining murakkab konfiguratsiyali bosh ramasini kvazistatik hisoblashga mo'ljallangan matematik model ishlab chiqildi. VL80s elektrovozining modernizatsiya qilingan bosh ramasi yuklanishining hisobiy rejimlarida yuklamalarning eng nomaqbul birgalikdagi ta'siri uchun hisoblangan umumiy kuchlanishlarning maksimal qiymatlari ruxsat etilgan qiymatlardan oshmasligi (bo'ylama yuklanishda 218 MPa) asoslandi, shuningdek kuzov bosh ramasini kuchaytiruvchi qoplagich o'rnatish orqali kuchaytirish yuklanish rejimiga bog'liq holda maksimal kuchlanishlarning mavjud konstruksiyalarga nisbatan 10÷15 % ga kamaytirish imkonini berishi aniqlandi.

4. Lokomotivlarning murakkab konfiguratsiyali rama konstruksiyalarini, kontaktli dinamik va issiqlik yuklamalarini, shuningdek tortuv kuchlarining bo'ylama, ko'ndalang va burovchi tashkil etuvchilari ta'sirini hisobga olgan holda aynan VL80s elektrovozining bosh va aravacha ramalari uchun yuqori harakat tezliklarida dinamik mustahkamlikka hisoblashning yangi umumlashgan usuli ishlab chiqildi.

5. Lokomotiv kuzovi bosh ramasining modernizatsiya qilingan yon balkasiga payvandlangan silindrik detal ko'rinishidagi po'lat kuchaytiruvchi qoplagich o'rnatilgan joydagi kontaktli harorat maydonlarining o'zgarish jarayonini uch o'lchamli modellashtirish uchun umumlashgan matematik model va tahliliy-raqamli usul ishlab chiqildi. Taklif etilayotgan tahliliy-raqamli usul ilmiy yangilikka ega bo'lib, bo'lak-chiziqli approksimatsiyalash usuli va iteratsiyalar usulidan foydalangan holda

eksperimental tadqiqotlar va foydalanishdagi ma'lumotlarning hisobga olinganligi bilan asoslanadi.

6. VL80s elektrovozlari kuzovlari bosh ramasi va aravacha ramalarining rels yo'lida turli yuklanish rejimlarida harakatlanishida tabiiy dinamik sinovlardagi eksperimental tadqiqotlar natijalarini hisobga olgan holda mazkur turdagi lokomotivlar kuzovlarining bosh ramalari va aravacha ramalarini kapital tiklovchi ta'mir davrida modernizatsiya qilish usuli ilmiy asoslandi.

7. Tahliliy-raqamli hisoblashning muhandislik usuli taklif etildi, u lokomotivlarning modernizatsiya qilingan kuchaytirilgan tayanch karkasli aravacha ramasi va kuzov bosh ramasining zo'riqqan-deformatsiyalangan holatini raqamli hisoblash dasturi asosida kvazistatik va dinamik modellashtirish imkonini beradi. Ushbu dasturlar uchun O'zbekiston Respublikasining EHM uchun 2 ta Guvohnomasi olingan.

8. G'ildirak juftliklariga quvvatni elektr uzatish tizimiga ega lokomotivlar uchun aravacha ramalarini dinamik mustahkamlikka sinash stendining yangi konstruksiyasi ishlab chiqilgan bo'lib, u lokomotivlarni ta'mirlash zavodlarida xizmat muddatini uzaytirish bilan bajariladigan ta'mirlarda lokomotiv aravachalarini dinamik mustahkamlikka stend sinovlarini o'tkazishda qo'llanilishi mumkin, uning texnik yechimi yangiligi O'zbekiston Respublikasining ixtiro uchun Patenti bilan himoyalangan (№ IAP 06795, 05.02.2022-y., Byul. № 3).

9. VL80 turidagi elektrovozlarning "O'ztemiryo'lta'mir" UK sharoitida xizmat muddati uzaytirilgan holda kapital tiklovchi ta'mir jarayonida aravacha ramalari va kuzov bosh ramasini kuchaytirish bo'yicha yangi Yo'riqnomalar ishlab chiqildi. Mazkur Yo'riqnomalarning tatbiq etilishi VL80 turidagi elektrovozlari kuzovlari bosh ramasi detallari va aravacha ramalarining avariyaaviy buzilishi ehtimolini kamaytirish va ularning foydali xizmat muddatini 8-10 yilga uzaytirish imkonini beradi.

10. Foydalanish xavfsizligini oshirish maqsadida takomillashtirilgan "VL80s elektrovozlardan foydalanish muddatini uzaytirish maqsadida ekspert texnik diagnostikalash metodikasi" ishlab chiqildi, uning qo'llanilishi lokomotivlarni modernizatsiya qilish bilan kapital tiklovchi ta'mir jarayonida elektrovozlarning dinamik tavsiflarini yaxshilash, ramalarning tayanch konstruksiyalari mustahkamligi va ishonchligini oshirish imkonini beradi. Metodika "O'zbekiston temir yo'llari" AJ "O'ztemiryo'lta'mir" UK va Lokomotivlardan foydalanish boshqarmasiga tatbiq etildi.

11. Lokomotivlarning dinamik tavsiflarini yaxshilash, mustahkamligi, ishonchligini oshirish va foydali xizmat muddatini uzaytirish maqsadidagi kapital tiklovchi ta'mir jarayonida modernizatsiya qilishning yangi usuli ishlab chiqildi. Taklif etilgan usulni 3VL80s elektrovozlarning 9 ta seksiyasiga tatbiq etish natijasida 2022-yil davomida 678 million so'm miqdorida iqtisodiy samaraga erishildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.15/31.08.2022.Т.73.07 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

РАДЖИБАЕВ ДАВРАН ОКТАМБАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ
ПРОЧНОСТЬ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛОКОМОТИВОВ
СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ
ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Ташкент – 2024

Тема докторской диссертации (DSc) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2023.3.DSc/T683.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.tstu.uz) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант: **Хромова Галина Алексеевна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Третьяков Александр Владимирович**
доктор технических наук, профессор

Печерский Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор

Адилова Зиёда Гафурджановна
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Джизакский политехнический институт**

Защита диссертации состоится « 27 » января 2024 г. в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.15/31.08.2022.T.73.07 при Ташкентском государственном транспортном университете по адресу: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрировано №__). Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2024 г.
(реестр протокола рассылки №__ от _____ 2024 г.)



Р.В. Рахимов
Председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Я.О. Рузметов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Р.М. Мирсаатов
Председатель Научного семинара при
научном совете по присуждению учёных
степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире при создании подвижного состава нового поколения, а также модернизации существующего, с учетом повышенных скоростей движения, является важным создание прочных и надежных рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации. При анализе трещин рам тележек и рам кузовов локомотивов (электровозов, тепловозов), выявляемых при текущих ремонтах, было установлено значительное число усталостных трещин, которые продолжают развиваться и увеличиваться в размере, ослабляя наиболее опасные сечения. Действующие нормы (инструкция ЦТ-336¹) не учитывают динамического воздействия сложной нагруженности тяговых усилий передающихся на рамные конструкции локомотивов сложной конфигурации. При этом, напряженно-деформированное состояние модернизированной главной рамы кузова и рам тележек локомотивов будет существенным образом зависеть от продольных, поперечных и крутильных динамических составляющих нагрузок, возникающих в рамных каркасах сложной конфигурации, а также от рациональной конструкции установки усиливающих накладок при модернизации и контактных напряжений, возникающих при резких перепадах температур.

В мире в существующих современных научных исследованиях недостаточно развиты вопросы теории колебаний и надежности главных рам кузовов и рам тележек локомотивов, имеющих сложную пространственную конфигурацию, с учетом влияния контактных динамических нагрузок, а также методы их рационального конструирования и модернизации. В этом направлении необходимо проводить ряд исследований, которые считаются приоритетными, в том числе необходимо совершенствовать существующие методы определения воздействий динамических нагрузок, а также содавать новые методы позволяющие модернизировать рамные конструкции. При этом одной из актуальных задач является учет контактных температурных деформаций в процессе модернизации конструкций, а также разработке современных программных алгоритмов для увеличения точности расчетов при моделировании динамических процессов.

В Республике Узбекистан активно осуществляется кардинальные меры по развитию транспортной системы, в том числе и железнодорожного транспорта, а именно развитие инфраструктуры, увеличению скорости движения поездов, обновлению подвижного состава и продление сроков существующего. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены важные цели, такие как, «Развитие единой транспортной системы во взаимосвязи со всеми видами транспорта ..., развитие рынка транспортных и логистических услуг и инфраструктуры ..., расширение «зеленых коридоров» и транзитных возможностей в транспортной системе ..., ... поднятие на высокий уровень тесного сотрудничества в области безопасности, торгово-экономической, водной, энергетики, транспорта ...»². Для реализации этих целей, в том числе проведение

¹ <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293728/4293728149.pdf>

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

капитально восстановительного ремонта существующего парка электровозов с продлением сроков полезной эксплуатации, а также обновление и разработка технологических процессов с внедрением новых технических решений по совершенствованию его узлов, которая имеет свои особенности, осуществление правильно рассчитанного процесса модернизации главных рам кузовов электровозов с установкой усиливающих накладок для повышения надежности и долговечности, считается одной из необходимых задач

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит решению задач, предусмотренных Законами Республики Узбекистан №ЗРУ-706 от 9 августа 2021 года «О транспорте» и №766-I от 15 апреля 1999 года «О железнодорожном транспорте», Указами Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», №УП-5647 от 1 февраля 2019 года «О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления в сфере транспорта» и №УП-3338 от 23 августа 2017 г. «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий», Постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-3422 от 2 декабря 2017 года «О мерах по совершенствованию транспортной инфраструктуры и диверсификации внешнеторговых маршрутов перевозки грузов на 2018-2022 годы» и №ПП-4703 от 4 мая 2020 года «О мерах по кардинальному совершенствованию системы подготовки кадров в сфере транспорта», а также другими нормативно-правовыми документами, относящимися к данному виду деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение», ППИ-3 – «Энергетика, энергия, ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³. В мире исследования в области анализа напряженно-деформированного состояния конструкций транспортных средств проводятся в научных центрах, университетах и научно-исследовательских институтах ведущих стран мира, в том числе: Wessex Institute of Technology (Великобритания), University of Naples di Napoli (Италия), Ryerson University (Канада), University of La Coruna (Испания), Saga University, (Япония). В странах СНГ над поставленными вопросами работали авторитетные научные школы и крупные ученые Российского университета транспорта (МИИТ) (Россия), Петербургского государственного университета путей сообщения (Россия), Московского авиационного института, Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта «ВНИИЖТ», ОАО «ВНИКТИ», ОАО «Российские железные дороги», Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС), Ростовского

³ Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основании <https://www.sciencedirect.com/>, <https://www.elsevier.com/search-results?labels=journals>, <https://wsu.edu/>, <http://en.njtu.edu.cn/>, <http://www.iitkgp.ac.in/>, <https://rut-miit.ru>, <https://www.tu-braunschweig.de/>, <https://www.ncl.ac.uk/newrail/people/tsg/>, <http://www.pgups.ru/>, <https://tstu.uz> и других источников.

государственном университете путей сообщения (Россия), Алматинского университета энергетики и связи (АУЕС) (Казахстан), в Институте цифровой экономики и права (ИЦЕиП) (Казахстан), Ташкентского государственного транспортного университета (Узбекистан) и других образовательных и научных центрах инженеров железнодорожного транспорта. В решении сложных задач, связанных

с изучением прочности и надежности рам тележек и главных рам кузовов подвижного состава, внесли Российский Научно-исследовательский Институт железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС) и Российский Научно-исследовательский Институт Вагоностроения (НИИВ), которые проводили теоретико-экспериментальные исследования по данной проблеме.

В мире для усовершенствования методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики характерно одновременное использование методов теоретических исследований с численной обработкой результатов на ЭВМ и данных эксперимента по напряженно-деформированному состоянию конструкций с выполнением расчетов на динамическую прочность. При этом широко используются численные технологии, в том числе применение среды программирования MATHCAD при расчетах механической части локомотивов и метода граничных элементов (the Boundary Element Technology) при подборе рациональных параметров узлов и деталей механической части локомотивов.

Во всех выше представленных работах изучается процесс теплопроводности в цилиндрических конструкциях, но не делается учет внутренних напряжений и деформаций, возникающих в металле рам электровазозов при сварке, а также не учитывается внешнее нагружение статическими и динамическими нагрузками. Поэтому проведение правильно рассчитанного процесса модернизации рам локомотивов с установкой усиливающих накладок позволяет повысить их надежность и долговечность, а также продлить срок их эксплуатации.

Степень изученности проблемы. Научно-исследовательские работы по разработке основ теории и практики по изучению процессов колебаний модернизированных рамных конструкций транспортных средств были заложены Н.П. Петровым, И.Е. Жуковским, И.М. Бабаковым, С.П. Тимошенко, Я.Г. Пановко, а затем усовершенствованы А.М. Годицким - Цвирко, М.В. Винокуровым, М.Ф. Вериго, С.В. Вершинским, С.М. Куценко, В.А. Лазарян, В.Б. Медель. Существенный вклад в решение этих проблем внесли И.П. Киселев, Э.С. Оганьян, И.С. Бирюков, А.Н. Савоськин, А.В. Горский, В.А. Четвергов, В.И. Киселев, М.А. Ибрагимов и другие.

В Республике Узбекистан проблемами динамического расчета на прочность рам подвижного состава занимались академик АН РУз, профессор, д.т.н. А.Д. Глущенко, профессора Ш.С. Файзибаев, Г.А. Хромова, А.А. Шермухамедов, Р.В. Рахимов, З.Г. Мухамедова, а также их ученики.

Также важными являются мировые контактные исследования при воздействии температурных полей на напряженно-деформированное состояние рам локомотивов в виде цилиндрических поверхностей, к ним относятся работы И.М. Бабакова, S.P. Timoshenko, D.H.Young, W. Weaver, A.C. Вольмира,

Э.И. Григолюка, S.M. Wahid, C.V. Madhusudana, L.Wang, Q. Zhang, J. Wang, M. M.Yovanovich и др., которые делятся на две группы, при этом первая группа посвящена в основном развитию теории, касаясь в основном фундаментальных вопросов, а вторая группа, основана на экспериментальных исследованиях и классифицируется как прикладные исследования.

Вместе с тем, в существующих научно-исследовательских работах не уделено достаточного внимания усовершенствованию методов расчета напряженно-деформированного состояния рам подвижного состава для транспортного машиностроения и разработке технических средств их функциональной диагностики с целью продления срока полезной эксплуатации. Наличие изгибных и крутильных колебаний кузовов, их несущих рам, рессорного подвешивания и ходовой части приводит к резкому снижению показателей усталостной прочности и надежности конструкций. В связи с этим при проводимой модернизации подвижного состава должна быть обеспечена достаточная жесткость усиливаемых механических узлов и деталей, чтобы обеспечить их надежную эксплуатацию в последующие 8-10 лет в подразделениях АО «Узбекистон темир йуллари».

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов, включенных в план научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета согласно государственному прикладному гранту №БВ-Атех-2018-19 на тему «Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения» (2018-2020) и хозяйственного договора №22 на тему «Разработка технологического процесса капитально-восстановительного ремонта электровозов ВЛ80с на УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир»» (2020-2022).

Целью исследования является разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения.

Задачи исследования:

системный анализ современного состояния развития теории колебаний несущего эквивалентного каркаса локомотивов и мировых научных исследований по определению остаточного ресурса и модернизации;

обзор патентной литературы по перспективным конструкциям стенов для динамических испытаний на прочность и усталость главных рам кузовов и рам тележек локомотивов;

разработка методики по вероятностно-статистической обработке эксплуатационных данных по отказам электровозов ВЛ-80 на основе результатов обследований, проведенных в локомотивном депо Узбекистан;

математическое моделирование колебаний рамной конструкции тележек локомотивов сложной конфигурации как пространственной системы с учетом влияния продольных, поперечных и крутильных усилий при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения;

математическое моделирование колебаний главной рамы кузова локомотива сложной конфигурации при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения с учетом расчетных режимов, имеющихся в эксплуатации;

разработка алгоритмов и программ для проведения численных исследований по моделированию напряженно-деформированного состояния сечений рам тележек и главных рам кузовов;

практическая апробация и внедрение разработанных динамических моделей и численных алгоритмов и программ при проведении модернизации электровозов ВЛ80с;

разработка «Методики на экспертное техническое диагностирование электровозов ВЛ-80с с целью продления срока их полезной эксплуатации», которая применяется при модернизации локомотивов в процессе капитально-восстановительного ремонта.

Объектом исследования являются модернизируемая рама тележки и главная рама кузова электровозов, эксплуатируемых на АО «Ўзбекистон темир йўллари», конкретно для электровозов ВЛ80 и ВЛ80с.

Предметом исследования являются методы математического моделирования колебаний рам тележек и главных рам кузовов электровозов с учетом воздействия продольных, поперечных и крутильных составляющих нагрузок при повышенных скоростях движения, а также влияния контактных динамических и тепловых воздействий в процессе капитально-восстановительного ремонта.

Методы исследований. В диссертации использованы методы матричного анализа и имитационного моделирования, математической статистики, а также применены численные методы: метод Фурье, метод кусочно-линейной аппроксимации, метод итераций и метод граничных элементов (the Boundary Element Technology). Численные исследования выполнены на языке C# и в среде программирования MATHCAD 14 (15).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована методика вероятностно-статистической обработки эксплуатационных данных по результатам экспериментальных исследований отказов электровозов при натуральных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов при движении в различных режимах нагружения на основе использования закона нормального распределения Пуассона;

на основе численных методов для расчета напряженно-деформированного состояния разработан метод расчета на динамическую прочность рамной конструкции тележек локомотивов сложной конфигурации как пространственной системы с учетом влияния продольных, поперечных и крутильных усилий для транспортного машиностроения;

разработана математическая модель колебаний главной рамы кузова локомотива сложной конфигурации при повышенных скоростях движения, на основе которой проведена оценка методом кусочно-линейной аппроксимации по максимальным напряжениям в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ80 после проведения модернизации;

на основе теории конечных элементов разработаны обобщённая математическая модель и аналитико-численный метод для трехмерного моделирования процесса изменения контактных температурных полей в месте установки стальной усиливающей накладки в виде цилиндрической детали, приваренной к модернизированной боковине главной рамы кузова локомотива;

разработана конечно-элементная модель для расчета главной рамы кузова электровоза с учетом воздействия продольных сил, действующих по оси автосцепки при сжатии и растяжении в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ80.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

предложен новый способ модернизации электровозов при капитально-восстановительном ремонте с целью продления срока полезного использования на основе метода расчета, позволяющего проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов на базе программ для численного расчета;

разработана новая конструкция стенда для испытаний на динамическую прочность рам тележек локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары с целью проведения стендовых испытаний тележек в заводских видах ремонта на локомотиворемонтных заводах (патент Республики Узбекистан на изобретение № IAP 06795, опубликован. 05.02.2022 г., Бюл. № 3);

разработана новая «Методика на экспертное техническое диагностирование электровозов ВЛ-80с с целью продления срока их полезной эксплуатации», которая применяется при модернизации локомотивов в процессе капитально-восстановительного ремонта с целью продления срока полезного использования.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается применением современных стандартных методов сопротивления материалов, динамики и прочности машин, а также использованием численных методов: метода Фурье, метода кусочно-линейной аппроксимации, метода итераций и метода граничных элементов (the Boundary Element Technology), полученными результатами теоретических и экспериментальных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке динамических моделей колебаний рамных конструкций тележек и главной рамы кузова локомотива сложной конфигурации при повышенных скоростях движения с учетом влияния контактных динамических и тепловых нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих усилий, конкретно, для электровоза серии ВЛ-80с.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке новой «Методики на экспертное техническое диагностирование электровозов ВЛ-80с с целью продления срока их полезной эксплуатации». Разработанные динамические модели и алгоритмы могут найти широкое применение при модернизации локомотивов в процессе проведения капитально-восстановительного ремонта с целью продления срока их полезного использования. Созданные средства и методы расчета динамических параметров

рамных конструкций электровоза можно широко использовать при проектировании новых конструкций электровозов и тепловозов, а также при их модернизации.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения:

новые «Инструкция по усилению рам тележек электровозов серии ВЛ- 80 при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы в условиях УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир»» и «Инструкция по усилению главной рамы кузовов электровозов серии ВЛ-80» внедрены на УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы (Справка Министрства Транспорта Республики Узбекистан от 16 июня 2023 года №4/4113). В результате внедрения данных Инструкций создана возможность уменьшить вероятность аварийных разрушений рам тележек и деталей главных рам кузовов электровозов серии ВЛ-80 и увеличить срок их полезной эксплуатации на 8-10 лет;

усовершенствованная «Методика на экспертное техническое диагностирование электровозов ВЛ-80с с целью продления срока их полезной эксплуатации» внедрена на АО «Ўзбекистон темир йўллари». В результате внедрения данной методики появилась возможность улучшить их динамические характеристики, повысить прочность и надежность несущих конструкций рам электровозов при модернизации локомотивов в процессе капитально-восстановительного ремонта;

новый способ модернизации электровозов при капитально-восстановительном ремонте с целью продления срока полезного использования внедрен в УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» (Справка Министрства Транспорта Республики Узбекистан от 16 июня 2023 года №4/4113). При этом в результате внедрения предлагаемого способа модернизации для 9-ти секций электровозов 3ВЛ80с получен экономический эффект в размере 678 миллионов сум в течение 2022 года за счет продления срока службы рамных конструкций.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертации докладывались и обсуждались на 24 научно-технических конференциях, в том числе, на 20 международных (из них 8 проиндексированы в базах Scopus) и 4 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 42 научных работ, в том числе 1 монография, 10 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 4 республиканских и 6 зарубежных научных журналах, получено 2 Патента Республики Узбекистан на изобретения и 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем основной части диссертации составляет 148 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приводится актуальность, цель и задачи исследования, объект и предмет, представлено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, приводится научная новизна и практические результаты исследования, научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации «**Системный анализ современного состояния развития теории колебаний несущего эквивалентного каркаса локомотивов и вероятностно-статистическая обработка эксплуатационных данных по отказам электровозов ВЛ-80с**» сделан анализ мировых научных исследований по определению остаточного ресурса и модернизации с целью повышения прочности и надежности узлов и деталей рам тележек и главных рам кузовов локомотивов, выполнена вероятностно-статистическая обработка эксплуатационных данных по отказам электровозов ВЛ-80с, составлен обзор патентной литературы по перспективным конструкциям стенов для динамических испытаний на прочность и усталость главных рам кузовов и рам тележек локомотивов.

С целью поддержания работоспособности существующего парка локомотивов, проведена вероятностно-статистическая обработка эксплуатационных данных по отказам главных рам кузовов и рам тележек электровозов ВЛ80 и 3ВЛ80с по данным локомотивного депо «Узбекистан» АО «Узбекистон темир йуллари» (рис.1).

В целом отказы электровозов ВЛ80 и 3ВЛ80с (в %) за 2017-2022 гг. распределяются следующим образом:

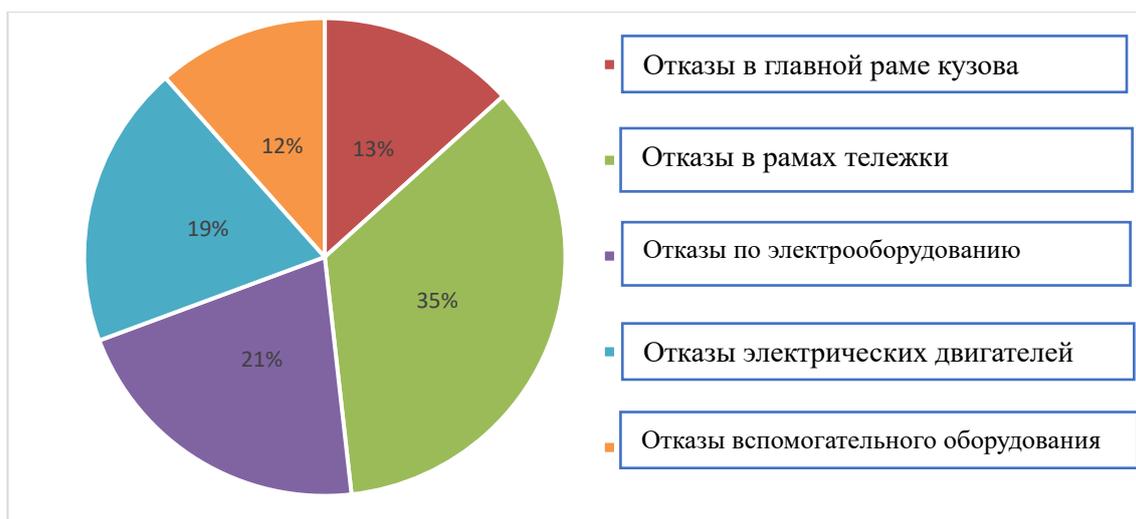


Рис. 1. Распределение отказов электровозов ВЛ80 и 3ВЛ80с за период 2017-2022 гг. по данным локомотивного депо «Узбекистан» АО «Узбекистон темир йуллари»

По результатам исследования в целом получены следующие обобщающие выводы:

1. За период с 2.02.2017 года по 11.10.2022 года было зафиксировано

153 отказа механической части (100 %) у электровозов типа ЗВЛ80с и ВЛ80, которые возникали из-за появления усталостных трещин, возникающих:

а) в главной раме кузова – 20,747 % (в том числе, шворневые балки кузова – 9,43 %), продольные балки кузова – 7,547 %, центральная балка рамы кузова – 3,77 %);

б) в рамах тележек – 54,71 % (трещины на шкворневой балке рамы тележки – 18,86 %; продольные балки рамы тележки – 24,53 %; трещины по контуру рамы тележки – 11,32 %);

в) в шкворневых брусках тележки (11,32 %).

2. К возникновению усталостных трещин приводит значительные динамические и температурные воздействия, возникающие в процессе эксплуатации. Поэтому даже после их заварки трещин при модернизации, на их месте появляются новые. Таким образом обоснована актуальность модернизации рамы тележки и рамы кузова электровоза путем установки фигурных усиливающих накладок с целью повышения надежности и прочности опасных сечений.

Во второй главе «Разработка математической модели рамной конструкции тележек локомотивов сложной конфигурации при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения» проведено обоснование расчетной схемы рамы тележки локомотива и расчетных режимов нагружения, имеющих в эксплуатации.

По реальным условиям эксплуатации локомотива проведен учет переменности сечения, массы и изгибной жесткости по длине эквивалентной несущей балки рамы тележки, что является отличием предлагаемой модели от существующих. Для конкретного численного расчета взята рама тележки электровоза ВЛ-80с, эксплуатирующегося в Узбекистане.

На рис. 2 представлены соответственно поперечный разрез модернизированной рамы тележки электровоза ВЛ-80с с расчетными сечениями с усиливающими накладками и её вид в плане, чертежи которой предлагаются для модернизации при проведении капитально-восстановительного ремонта с продлением срока полезного использования.

Для данной модели параметры несущего каркаса боковины рамы тележки электровоза взяты в виде полиномов 8 – степени:

- погонной массы боковины рамы тележки электровоза (кг/м):

$$m_T(X) = m_0 (a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_n X^n), \quad (1)$$

при этом длина боковина рамы тележки электровоза равна 4658 мм, а координата X изменяется в пределах $0 \leq X \leq 4,658$ м;

- приведенного момента инерции сечений боковины рамы тележки по оси X - I_X (см⁴):

$$I_X(X) = I_0 (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_n X^n); \quad (2)$$

- приведенной изгибной жесткости:

$$J_{II}(X) = E I_0 (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_n X^n). \quad (3)$$

Рациональное значение n (степени полиномов) подбирается с помощью ЭВМ методом кусочно-линейной аппроксимации на основе реальных размеров боковин рам тележек электровозов. В численном расчете было принято значение $n = 8$ для электровоза ВЛ-80с (при этом погрешность

составила $\delta = 0,001$).

С целью анализа напряженно-деформированного состояния эквивалентного каркаса боковины рамы тележки электровоза использованы дифференциальные уравнения изгибных колебаний прямых стержней переменного сечения, (считая продольные и крутильные колебания малыми по сравнению с остальными составляющими):

$$m_T(X) \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial t^2} + EI_X(X) \frac{\partial^4 W(X,t)}{\partial X^4} + E \frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} \cdot \frac{\partial^2 W(X,t)}{\partial X^2} = \eta_H(X,t) + P_D(X,t), \quad (4)$$

где $W(X,t)$ – изгибные колебания сечений боковины рамы тележки;
 $P_D(X,t)$ – вертикальная динамическая сила;

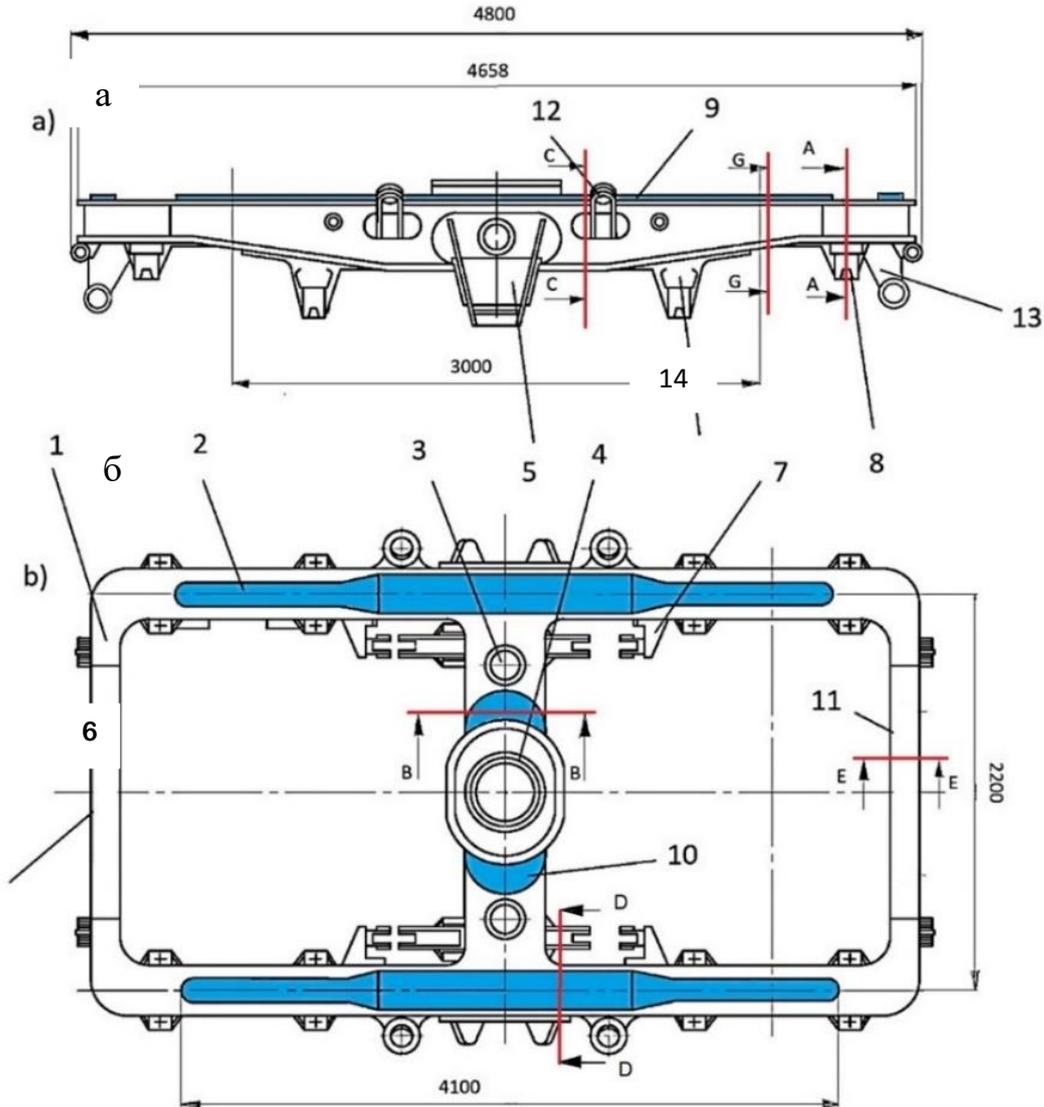


Рис. 2. Модернизированная рама тележки электровоза ВЛ-80с с расчетными сечениями с усиливающими накладками:

а- поперечный разрез; б- вид в плане:

- 1 – концевой брус рамы; 2 – усиливающая накладка на боковине рамы 50x12;
- 3 – шкворневой брус; 4 – коробка шаровой связи шкворня; 5 – шкворень; 6 – усиливающая накладка под ролик противоразгрузочного устройства; 7 – кронштейн для подвески тормозной рычажной передачи; 8 – малый буксовый кронштейн; 9 – усиливающая накладка на боковине рамы 50x12; 10 – усиливающая накладка на коробке шаровой связи шкворня; 11 – усиливающая накладка на боковине рамы 50x12; 12 – кронштейн под стержень люлечного подвешивания кузова; 13 – кронштейн для крепления гидравлических гасителей; 14 – большой буксовый кронштейн.

$\eta_H(X, t)$ – функция изменения неровности рельсового пути:

$$\eta_H(X, t) = \sin \frac{\pi X}{L_H} (C \cdot \eta_0(1 - \cos \omega t) + \eta_0 \beta \omega \sin \omega t). \quad (5)$$

Далее выполнены решения на ЭВМ методом кусочно-линейной аппроксимации и методом итераций в среде программирования *MATHCAD 14*. С целью решения задачи вся боковина рамы тележки электровоза ВЛ-80с разбита на 20 точек, при условии, что $0 \leq X \leq 4,658$. Для каждого из этих участков введены коэффициенты R_{iK} , которые являются *CONST* (постоянными величинами), где $k = 1, 2 \dots 20, n = 8$:

$$R_{1K} = 2 \cdot E \cdot I_0 \cdot (b_2 + 3b_3 + \dots + 28b_8 \cdot X^8); \quad (6)$$

$$R_{2K} = I_0 \cdot (b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + \dots + b_8 X^8); \quad (7)$$

$$R_{3K} = m_T(X) = m_0(a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_8 X^8). \quad (8)$$

В результате для каждого k -го участка получено уравнение вида (9), с фиксированными (постоянными) коэффициентами:

$$R_{1K} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial X^2} + R_{2K} \cdot \frac{\partial^4 W(X, t)}{\partial X^4} + R_{3K} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial t^2} = \eta_H(X, t) + P_{DK}(X, t). \quad (9)$$

Решение однородного дифференциального уравнения (9) выполняется линеаризацией по методу кусочно-линейной аппроксимации, для численных исследований использованы матричный метод Гаусса, метод итераций и метод граничных элементов (the Boundary Element Technology). Численные исследования выполнены на языке *C#* и в среде программирования *MATHCAD 14* (15).

В результате проведенных теоретико-численных исследований сформулированы следующие обобщающие выводы:

1. По квазистатическому расчету рамы электровоза ВЛ-80с установлено, что наиболее нагруженным являются сечения В – В, D – D, E – E (рис. 3). Данные сечения не смогут выдержать расчетные режимы по динамической усталостной прочности, поэтому их необходимо модернизировать путем установки усиливающих фигурных накладок из стальных листов марки Ст3;

Таблица 1

Суммарные напряжения в опасном (наиболее нагруженном) сечении D – D продольной балки рамы тележки электровоза ВЛ-80с

№	Вид нагрузки (Мпа)	Трогание (при $V_{\text{э}}=0$ км/час)	Движение в кривой без возвышения	Движение в кривой с возвышением	Движение с конструкторской скоростью
1.	Весовая нагрузка	48,425	48,425	48,425	48,425
2.	При движении в кривой	0	13,984	41,292	55,276
3.	Действующая в режиме тяги	8,76	6,168	6.54	5,626
4.	Кососимметрическая нагрузка	3,464	3,464	3,464	3,464
5.	Вертикальная динамическая нагрузка	0	7,958	9,131	10,921
6.	Суммарная нагрузка,	60,654	80,376	108,48	123,71

2. Для определения прочности рамы в опасном сечении D – D продольной балки рамы тележки электровоза ВЛ-80с в месте соединения продольной и поперечной балок при наиболее неблагоприятных сочетаниях нагрузок по

принципу суперпозиции было выполнено суммирование всех возникающих напряжений в статике и динамике. Результаты численного расчета сведены в таблицу 1 (при конструкционной скорости электровоза ВЛ-80с - $V_{ЭК} = 110$ км/час);

3. По результатам данных численного расчета для модернизированного сечения D – D продольной балки рамы тележки электровоза ВЛ-80с установлено, что суммарные напряжения в наиболее нагруженном сечении не превышают предела прочности и равны $\sigma_{сум} = 123,71$ МПа при конструкционной скорости $V_{ЭК} = 110$ км/час, при этом предел прочности для данного сечения равен:

$$n = \frac{[\sigma_{доп}]}{\sigma_{сум}} = \frac{240}{123,71} = 1,94. \quad (10)$$

Коэффициент запаса прочности по расчету получился больше 1,6, т.е. данное сечение проходит условие по запасу прочности. При этом, если даже учесть старение материала боковины рамы тележки, тогда возникающие суммарные напряжения должны быть

$$(\sigma_y + \sigma_{сТ}) \leq [\sigma] = 218,18 \text{ МПа}. \quad (11)$$

Коэффициент запаса прочности с учетом старения материала будет равен:

$$n_{стар} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{сум}} = \frac{218,18}{123,71} \approx 1,764. \quad (12)$$

4. При проверке усталостной прочности учтено, что элементы рамы тележки, подвергающиеся переменному асимметричному напряжению, должны иметь дополнительный запас прочности из-за наличия концентраторов напряжений и ряда других причин. При этом предел выносливости снижается за счет уменьшения в k_σ раз переменной составляющей предельно допустимого напряжения.

Коэффициент снижения усталостной прочности детали по сравнению с образцом $k_\sigma = 2,4$.

Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла:

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_0} = 0,6, \quad (13)$$

где $\sigma_T = 200$ МПа, $\sigma_0 = 250$ МПа, $\sigma_m = 69,778$ МПа.

При этом предел выносливости:

$$\sigma_{вын} = \frac{\sigma_T}{k_\sigma} + \left(1 - \frac{2\sigma_T - \sigma_0}{\sigma_T k_\sigma}\right) \sigma_m, \quad (14)$$

где согласно численного расчета : $\sigma_{вын} = 131,36$ МПа .

Запас усталостной прочности с учетом максимального напряжения

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{вын}}{\sigma_m + \sigma_{аПР}} = 1,427, \quad (15)$$

где $\sigma_{аПР} = 22,216$ МПа – приведенное амплитудное напряжение, которое вычисляется по формуле:

$$\sigma_{аПР} = 2,17^6 \sqrt{(\sum_i R_i)}, \quad (16)$$

где R_i – это приведенное амплитудное напряжение расчетного асимметричного цикла динамического нагружения деталей рамы, вычисляется согласно численного расчета в программе, разработанной для *MathCad 15*.

5. В результате проведенных численных исследований по сечениям рамы тележки электровоза ВЛ-80с установлено, что с учетом проведенной модернизации путем установки усиливающих накладок усталостная прочность достаточная, так как она превышает минимальное значение 1,4.

В результате разработан комбинированный численно-аналитический метод на базе методов итераций и кусочно-линейной аппроксимации. Данный инженерный прикладной метод позволяет производить динамический расчет по напряженно-деформированному состоянию боковины рамы тележки электровоза при гармоническом нагружении, возникающем.

В третьей главе «Расчет напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 после проведения усиления путем наварки стальных накладок» проведен численный расчёт максимальных напряжений и коэффициентов запаса усталостной прочности модернизируемой главной рамы кузова электровоза ВЛ-80, разработан метод расчета на динамическую прочность модернизируемой главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 при воздействии продольных усилий, переменности массы и моментов инерции.

Для анализа напряженно-деформированного состояния эквивалентного каркаса несущей рамы кузова локомотива сложной конфигурации использованы дифференциальные уравнения изгибных и продольных колебаний прямых стержней переменного сечения (рис. 3):

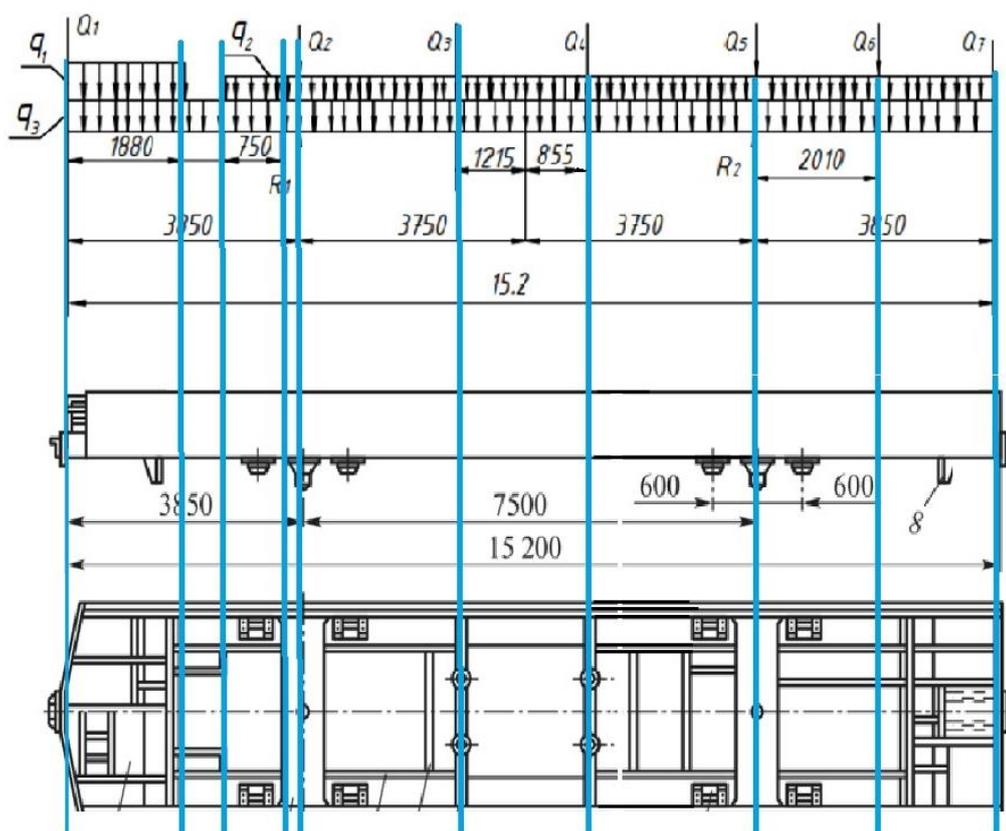


Рис. 3. Расчетные сечения рамы кузова электровоза

$$\begin{aligned}
 m_K(X) \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial t^2} - E \frac{\partial F(X)}{\partial X} \cdot \frac{\partial U(X, t)}{\partial X} - EF(X) \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} = \\
 = N_D(X, t) + E \frac{\partial I_X(X)}{\partial X} \cdot \frac{1}{R^2} + 2EI_X(X) \frac{1}{R} \frac{\partial^3 W(X, t)}{\partial X^3}, \quad (17) \\
 m_K(X) \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial t^2} + EI_X(X) \frac{\partial^4 W(X, t)}{\partial X^4} + E \frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial X^2} =
 \end{aligned}$$

$$= P_D(X, t) + \frac{E}{R} \left[\frac{\partial^2 I_X(X)}{\partial X^2} + 2I_X(X) \cdot \frac{\partial^3 U(X, t)}{\partial X^3} \right]. \quad (18)$$

Для решения уравнений (17) – (18) использована линеаризация по методу Симпсона, а также метод Фурье и операционное преобразование Лапласа по времени, численные исследования проведены методами кусочно-линейной аппроксимации и граничных элементов в программе *Mathcad 15*. Начальные условия принимаем нулевыми, а граничные условия – в виде упругого закрепления концов.

Для каждого k -го - участка рамы электровоза при $X = X_k$ получим системы уравнений вида

$$\frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial t^2} - A_{K1} \cdot \frac{\partial U(X, t)}{\partial X} - B_{K1} \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} = C_{K1} \cdot \sin n \omega t + D_{K1} + E_{K1} \cdot \frac{\partial^3 W(X, t)}{\partial X^3}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial t^2} + A_{K2} \cdot \frac{\partial^4 W(X, t)}{\partial X^4} + B_{K2} \cdot \frac{\partial^2 W(X, t)}{\partial X^2} = C_{K2} \cdot \cos n \omega t + D_{K2} + E_{K2} \cdot \frac{\partial^3 U(X, t)}{\partial X^3}. \quad (20)$$

Таким образом, в результате применения метода Фурье и преобразования Лапласа по времени найдено общее решение колебаний боковины рамы кузова электровоза в виде (21) и (22) в виде:

$$W(X, t) = \sum_{k=1}^{\infty} W(X) * \left\{ \frac{C_{K2}}{W(X)} \cdot \frac{\cos n \omega t - \cos \lambda_{2n} t}{\lambda_{2n}^2 - (n\omega)^2} + W_0 \cdot \cos \lambda_{2n} t + \left[\frac{D_{K2}}{W(X)} + V_{OP} \right] * \frac{1}{\lambda_{2n}} \cdot \sin \lambda_{2n} t \right\}, \quad (21)$$

$$U(X, t) = \sum_{k=1}^{\infty} U(X) * \left[\frac{C_{K1}}{U(X)} \cdot \frac{n\omega \sin \lambda_{1n} t - \lambda_{1n} \sin n\omega t}{n\omega \cdot \lambda_{1n} \cdot (\lambda_{1n}^2 - (n\omega)^2)} + U_0 \cdot \cos \lambda_{1n} t + \left[\frac{D_{K1}}{U(X)} + V_0 \right] * \frac{1}{\lambda_{1n}} \cdot \sin \lambda_{1n} t \right], \quad (22)$$

при этом $W(X)$ и $U(X)$ – собственные функции, которые можно вычислить по формулам:

$$W(X) = \frac{\delta_1 \cdot (1 + \omega_K^2 / \omega_B^2) + \omega_B^2}{\omega_K^3} sh \omega_K X + ch \omega X + \sin \omega_B X + \omega_K^2 / \omega_B^2 \cos \omega_B X, \quad (23)$$

$$U_n(x) = A_n \cos a_n x + B_n \sin a_n x. \quad (24)$$

В результате получено аналитико-численное решение для исследования совместных изгибно-продольных колебаний боковины главной рамы кузова электровоза сложной конфигурации с учетом переменности сечения, массы, изгибной и продольной жесткости.

Определены максимальные напряжения и коэффициенты запаса усталостной прочности по сечениям главной рамы кузова электровоза ВЛ-80 в расчетных режимах после проведения наварки (установки) усиливающих накладок (рис. 4) с использованием программы для численного расчета.

Также предложены обобщающие выводы по максимальным напряжениям в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ80с после проведения модернизации с усилением.



Рис. 4. Узел 1 усиления кронштейнов 5ТН.121.032 и 8ТН.121.044 рамы кузова электровоза ВЛ-80 (установка усиливающих накладок фигурного профиля)

Для проверки полученных результатов методом кусочнолинейной аппроксимации проведены расчеты и методом конечных элементов с использованием программных сред компьютерного моделирования Solid Works (рис 5).

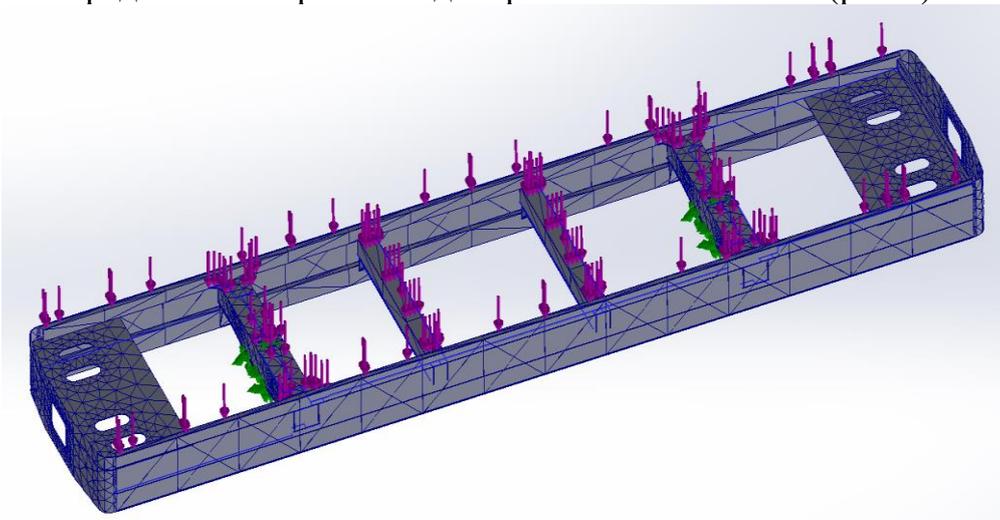


Рис. 5. Конечно-элементная модель рамы кузова ВЛ-80

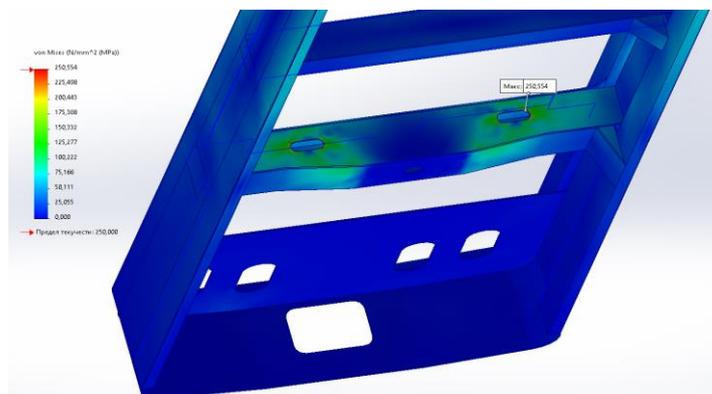


Рис.6. Напряженная зона рамы электровоза ВЛ-80с, соответствующая сечению D-D

Таблица 2.

Расхождения значений, полученных в результате моделирования методом конечных элементов и разработанным методом на основе кусочно-линейной аппроксимации.

№.№ п/п	Наименование режима		Максимальное напряжение, определенное по МКЛА, МПа	Максимальное напряжение, определенное по МКЭ, МПа	Расхожде- ния, %
1.	Сжатие силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	-198,5	-215,35	7.2
		Суммарные с весовыми	-211,8	-218,2	3
2.	Растяжение силами 250т (2.5 МН) по оси автосцепок	Дополнительные напряжения	+198,5	+216,3	8
		Суммарные с весовыми	+215,3	+238,3	10

При сопоставлении результатов двух методов было определено что значения суммарных напряжений в наиболее нагруженных сечениях главной практически идентичны (рис б). Расхождения по выбранным сечениям не превышают значения в 7-9%. Результаты приведены в таблице 2.

В четвертой главе “**Метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации с учетом влияния контактных динамических нагрузок для транспортного машиностроения**” проведена разработка обобщенных методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации с учетом влияния контактных динамических и тепловых нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих тяговых усилий при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения, конкретно, для главной рамы и рам тележек электровоза ВЛ-80с.

Предлагаемый инженерный метод расчета позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированными усиленным несущим каркасом, на базе программ, разработанных в рамках исследования для численного расчета.

Для предлагаемой модели параметры эквивалентного несущего каркаса модернизированной рамы кузова локомотива сложной конфигурации принимаются в виде переменных функций:

- переменной массы по сечениям модернизированной рамы кузова локомотива сложной конфигурации (кг/м) $m_{кл}(x)$, определяемой согласно формуле (1), при этом учитывается сложный характер нагружения, полученный при проведении расчетов при квазистатической развесовке сосредоточенных Q_i

и распределенных нагрузок q_i (в виде расчетного примера рассматривался электровоз ВЛ-80с):

$$m_{\text{кл}}(x) = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} & \dots & q_{1i} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} & \dots & q_{2i} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} & \dots & q_{3i} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} & \dots & q_{4i} \\ q_{51} & q_{52} & q_{53} & q_{54} & \dots & q_{5i} \\ q_{61} & q_{62} & q_{63} & q_{64} & \dots & q_{6i} \\ q_{71} & q_{72} & q_{73} & q_{74} & \dots & q_{7i} \\ q_{81} & q_{82} & q_{83} & q_{84} & \dots & q_{8i} \end{pmatrix}; \quad (25)$$

- переменной площади поперечного сечения $F_{\text{кл}}(x)$ (определяемой согласно формуле (26)), при этом, длина главной несущей рамы кузова электровоза ВЛ-80с равна 15,2 метра, а координата x изменяется в пределах $0 \leq x \leq 15,2$ м:

$$F_{\text{кл}}(x) = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} & \dots & f_{1i} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} & \dots & f_{2i} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} & \dots & f_{3i} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} & \dots & f_{4i} \\ f_{51} & f_{52} & f_{53} & f_{54} & \dots & f_{5i} \\ f_{61} & f_{62} & f_{63} & f_{64} & \dots & f_{6i} \\ f_{71} & f_{72} & f_{73} & f_{74} & \dots & f_{7i} \\ f_{81} & f_{82} & f_{83} & f_{84} & \dots & f_{8i} \end{pmatrix}; \quad (26)$$

- переменного момента инерции сечений модернизированной рамы по оси OX - $I_x(x)$ (см^4):

$$I_x(x) = \begin{pmatrix} j_{11} & j_{12} & j_{13} & j_{14} & \dots & j_{1i} \\ j_{21} & j_{22} & j_{23} & j_{24} & \dots & j_{2i} \\ j_{31} & j_{32} & j_{33} & j_{34} & \dots & j_{3i} \\ j_{41} & j_{42} & j_{43} & j_{44} & \dots & j_{4i} \\ j_{51} & j_{52} & j_{53} & j_{54} & \dots & j_{5i} \\ j_{61} & j_{62} & j_{63} & j_{64} & \dots & j_{6i} \\ j_{71} & j_{72} & j_{73} & j_{74} & \dots & j_{7i} \\ j_{81} & j_{82} & j_{83} & j_{84} & \dots & j_{8i} \end{pmatrix}; \quad (27)$$

- переменной по сечениям модернизированной рамы изгибной жесткости $J_{\text{изг}}(x)$, определяемой по формуле:

$$J_{\text{изг}}(x) = E I_x(x). \quad (28)$$

При этом оптимальное значение n (степени полиномов) подбирается с помощью ЭВМ кусочно-линейной аппроксимации на основе реальных размеров боковин рам электровозов. Для электровоза ВЛ-80с в численном расчете было принято значение $n = 8$, (при этом погрешность составила $\delta = 0,001$). Полученный график изменения динамических перемещений сечений рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени представлен на рис. 7.

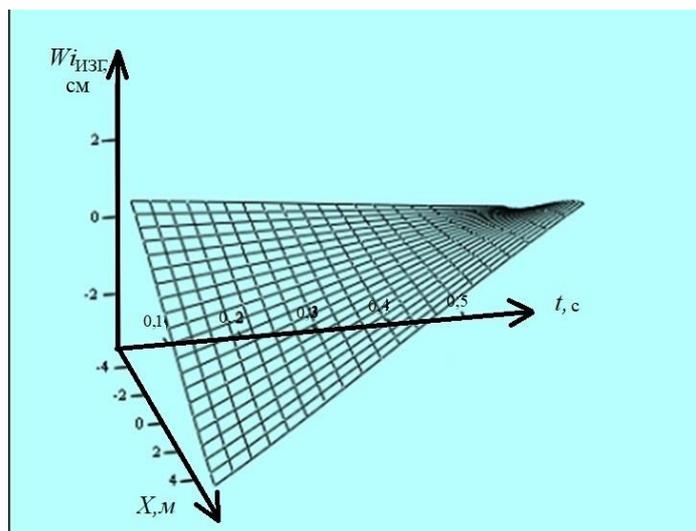


Рис.7. График изменения динамических перемещений сечений рамы кузова электровоза ВЛ-80 стандартной конструкции при изгибных колебаниях во времени (в середине пролета)

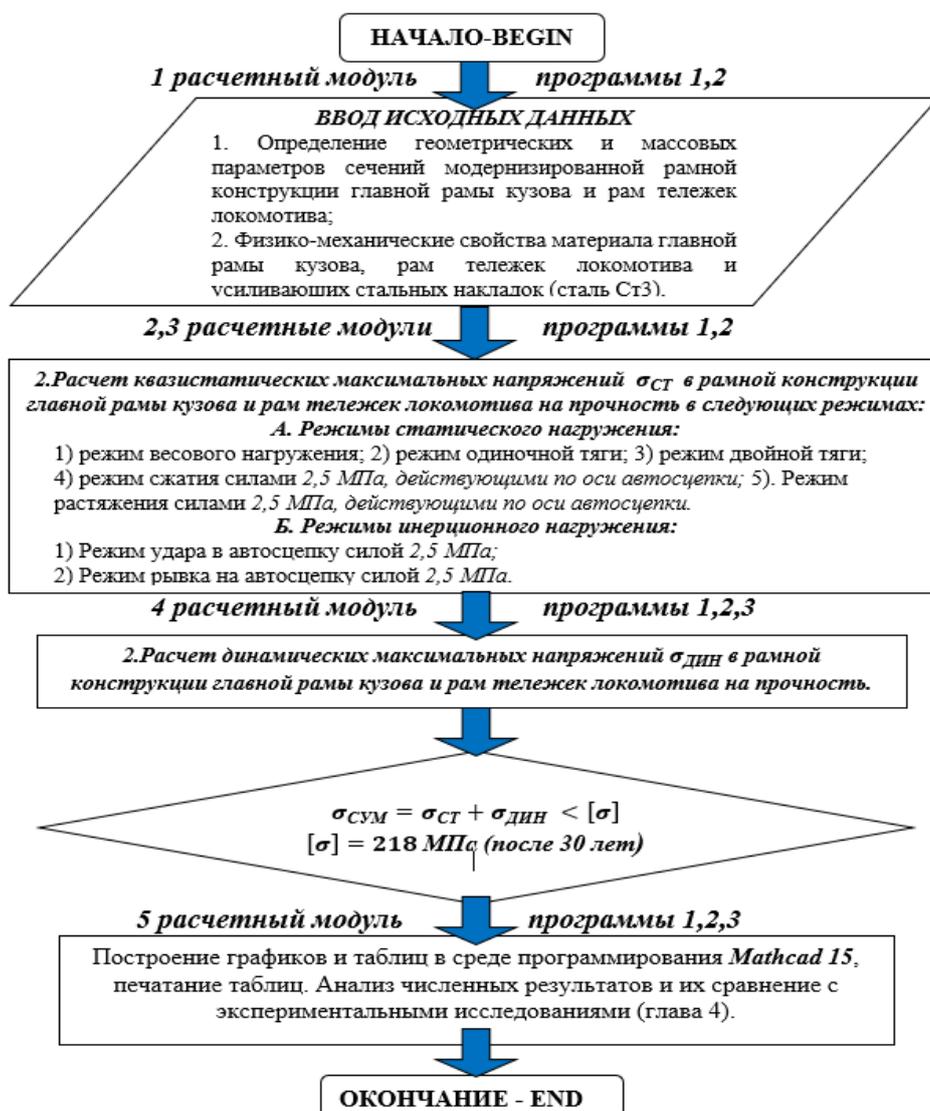


Рис. 8. Блок-схема для численных исследований по динамической модели модернизированной рамной конструкции главной рамы кузова и рам тележек локомотивов сложной конфигурации при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения.

Для полного описания всех этапов метода (рис. 8) приведена блок-схема для численных исследований по динамической модели модернизированной рамной конструкции главной рамы кузова и рам тележек локомотивов сложной конфигурации при повышенных скоростях движения.

В пятой главе **“Контактные температурные деформации усиливающей накладки, приваренной к модернизированной раме локомотива, в равномерном поле температур”** разработана обобщенная математическая модель и аналитико-численный метод для трехмерного моделирования процесса изменения контактных температурных полей в месте установки стальной усиливающей накладки в виде цилиндрической детали, приваренной к модернизированной боковине главной рамы кузова локомотива. Приведены результаты экспериментальных исследований при натуральных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов электровозов ВЛ-80с при движении их по рельсовому пути при различных режимах нагружения.

Предлагаемый метод основан на технологии граничных элементов с применением кусочно-линейной аппроксимации с использованием трехмерного уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах r , z и φ в виде:

$$\nabla^2 T - F(T) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = F_1(T) \cdot \Phi(r, t), \quad (29)$$

где обозначено:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (30)$$

с начальным условием в виде:

$$T(r, \varphi, Z, 0) = T_{срн}; \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_{max}; \quad 0 \leq r \leq \frac{D}{2}. \quad (31)$$

Собственные функции найдены из уравнения (29) с использованием метода Фурье в предположении:

$$T = U(\varphi) \cdot V(Z) \cdot W(r), \quad (32)$$

в виде цилиндрических гармоник вида

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = e^{\pm KZ} Z_m(K_r) \cdot (\alpha \cdot \cos(m\varphi) + \beta \sin(m\varphi)), \quad (33)$$

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = e^{\pm KZ} \cdot (K_r) \cdot (\alpha + \beta \cdot \varphi), \quad (34)$$

$$T_{\pm Km}(r, \varphi, Z) = (a + b \cdot Z) \cdot \left((A \cdot r^m + \frac{B}{r^m}) (\alpha \cdot \cos(m\varphi) + \beta \cdot \sin(m\varphi)), \right) \quad (35)$$

$$T_{00}(r, \varphi, Z) = (a + b \cdot Z) \cdot (A + B \cdot \ln \cdot r) \cdot (\alpha + \beta \cdot \varphi), \quad (36)$$

при этом $Z_m(\xi)$ – цилиндрическая функция; при ограниченности решения T при $r=0$, $Z_m(\xi)$ – функция Бесселя первого рода - $I_m(\xi)$.

Проводится численное решение системы трех нелинейных уравнений вида:

$$\frac{d^2 U(\varphi)}{d\varphi^2} + m^2 \cdot U(\varphi) = 0; \quad (37)$$

$$\frac{d^2 V(Z)}{dZ^2} - K^2 \cdot V(Z) = 0; \quad (38)$$

$$\frac{d^2 W(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} W(r) + \left(k^2 - \frac{m^2}{r^2} \right) \cdot W(r) = 0. \quad (39)$$

Функции $F(T)$ и $F_1(T)$ в нелинейном уравнении (29) взяты согласно экспериментальным данным и имеют вид:

$$F(T) = \frac{c_H(T) \cdot \rho_H(T)}{K_T(T)}, \quad F_1(T) = \frac{\alpha}{c_H(T) \cdot \rho_H(T)}, \quad (40)$$

где $C_H(T)$, $K_H(T)$, $\rho_H(T)$ – переменные значения теплоемкости, коэффициента теплопроводности и плотности усиливающей накладки, зависящие от температуры. Расчеты были выполнены в среде *MathCAD 15* и результаты приведены на рис.9.

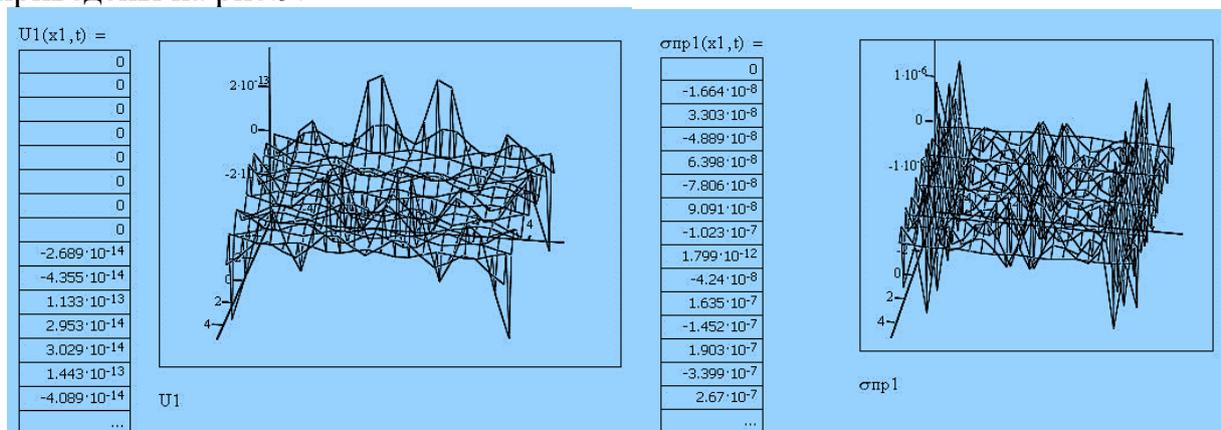


Рис. 9. Объемная графическая зависимость контактных температурных деформаций и возникающих напряжений в приваренной усиливающей накладке (марка стали Ст3) на модернизированной боковине главной рамы кузова локомотива

Из анализа объемной графической зависимости (рис.9) видно, что происходит увеличение значений контактных температурных деформаций и возникающих напряжений в боковине модернизированной главной рамы локомотива, (конкретно, электровоза ВЛ80с) в месте установки приваренной усиливающей накладки как в её центральной части, так и ближе к местам закрепления, что также соответствует практическим наблюдениям, так как в местах установки приваренной усиливающей накладки наблюдается разрушение поверхности металла и скопление эрозионных раковин. Однако в целом возникающие контактные температурные напряжения, как в главной раме боковины кузова локомотива, так и в самой приваренной усиливающей накладке малы, что подтверждает проводимую нами технологию приварки усиливающих накладок для повышения прочности и увеличения срока службы ремонтируемого локомотива при капитально-восстановительном ремонте.

В результате разработан численно - аналитический прикладной метод для инженерных расчетов, который учитывает данные полученных экспериментальных исследований и эксплуатации. Данный метод базируется на технологии граничных элементов с применением кусочно-линейной аппроксимации с использованием трехмерного уравнения теплопроводности. Экспериментальные исследования проводились на участках железной дороги, входящих в Ташкентскую область на электровозах серии ВЛ-80 прошедших модернизацию рам тележек и кузова .

Для испытаний электровозы были оборудованы вибродатчиками (рис. 10) на рамах тележек и установкой тензодатчиков на рамах кузова и тележек (рис. 11).

Разработана новая конструкция стенда для испытаний на динамическую прочность рам тележек для локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары, для проведения стендовых испытаний тележек локомотивов на динамическую прочность с целью продления срока службы при заводских

видах ремонта на локомотиворемонтных заводах, новизна технического решения которого защищена Патентом Республики Узбекистан на изобретение № IAP 06795, опубл. 05.02.2022 г., Бюл. № 3 (рис. 13).



Рис. 10. Места установки вибродатчиков на раме тележки электровоза ВЛ-80

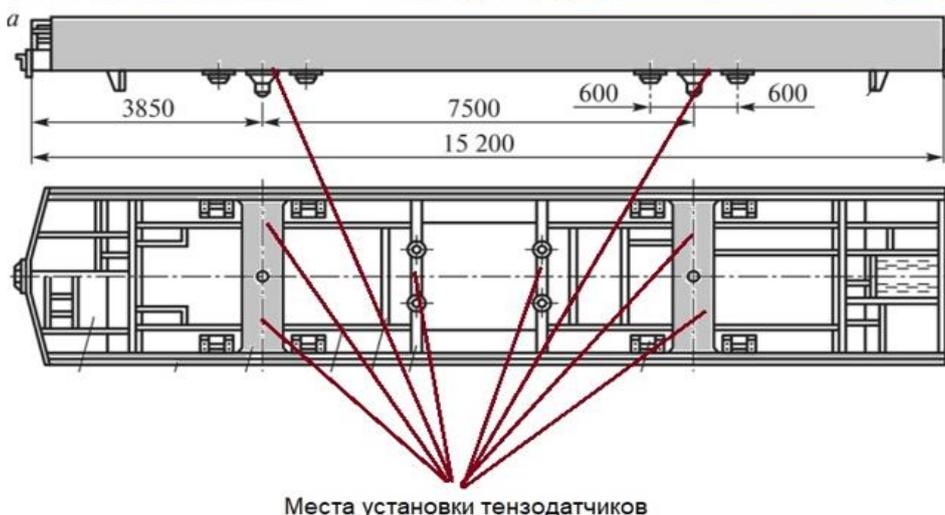


Рис. 11. Места установки тензодатчиков на раме кузова

Задачами предлагаемого изобретения являются приближение условий испытания к реальным, а также возможность моделирования усталостных

испытаний с изменением амплитуды, среднего уровня и частоты в соответствии с определенной программой или по случайному закону благодаря наличию обратной связи по силе динамического нагружения с воспроизведением эксплуатационного цикла нагружения.

На рис. 12 показана принципиальная схема стэнда для испытаний на динамическую прочность рамы тележки для локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары, вид сбоку (вдоль рельсового пути).

Для создания условий нагружения рамы тележки 2 на пространственном каркасе 1 стэнда установлены две емкости 19 и 20, в которые загружаются, например, чушки с чугуном и песок. Для электровозов ВЛ80с, эксплуатирующихся на магистральных участках железных дорог АО «Ўзбекистон темир йуллари», суммарная статическая нагрузка в ёмкостях 19 и 20 может достигать 64-68 т, при этом на основные опоры 3 суммарная нагрузки должны достигать 20-25 т, на дополнительные упругие опоры 4 с резинометаллическими пластинами – 3-3,5 т. Для регулирования величин нагрузок использован подбор числа резинометаллических элементов в боковых опорах 4 с контролем деформаций сжатия всего комплекта резинометаллических элементов в боковых опорах 4, а также контролем деформаций сжатия конического резинового корпуса в основных опорах 3 с помощью соответствующих датчиков сжатия, подающих сигналы на ЭВМ и управляющей программы, установленной на ЭВМ.

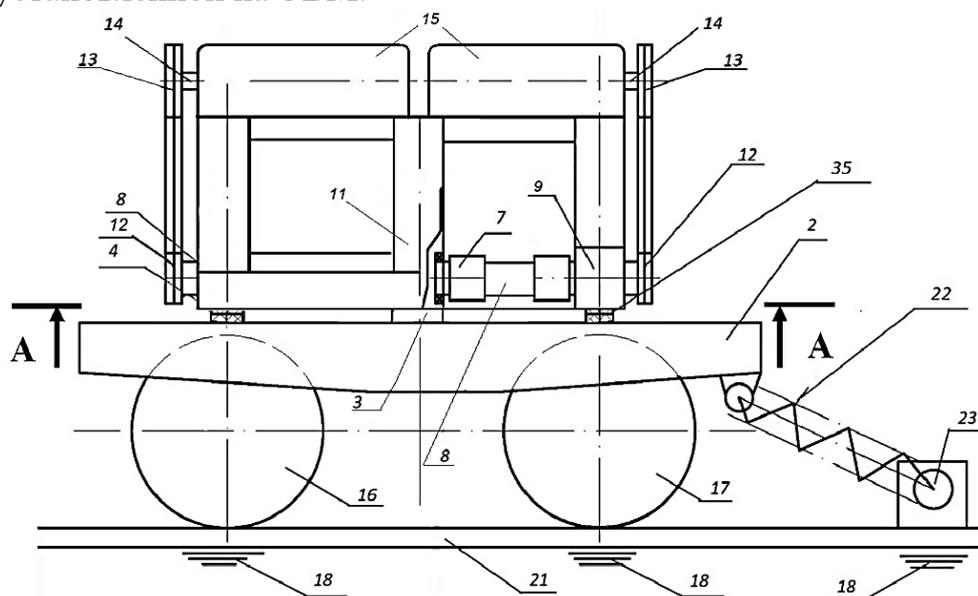


Рис.12. Предлагаемая новая перспективная конструкция стэнда для испытаний на динамическую прочность рамы тележки для локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары, вид сбоку (вдоль рельсового пути), (Патент Республики Узбекистан на изобретение № IAP 06795, опубл. 05.02.2022 г., Бюл. № 3)

Данные датчики сжатия регистрируют деформации, возникающие при относительных перемещениях точек на каркасе 1 стэнда относительно рамы 2 тележки в зонах размещения опор 3 и 4. В емкости 19 и 20 подается жидкость, причем её количество также регулируется управляющей программой на ЭВМ. Для обеспечения импульсного перекачивания рамы 2 на колесных парах 16 и 17 относительно поверхности рельсов 21

установлена упругая связь 22 в виде блока цилиндрических винтовых пружин и опорный кронштейн 23, жестко связанный с рельсами 21.

Предлагаемый стенд имеет ряд преимуществ по сравнению с известными стендами: приближение условий испытания к реальным, возможность моделирования усталостных испытаний с изменением амплитуды, среднего уровня и частоты в соответствии с определенной программой или по случайному закону благодаря наличию обратной связи по силе динамического нагружения с воспроизведением эксплуатационного цикла нагружения, создаваемого управляющей ЭВМ. Предлагаемый стенд целесообразно использовать как при проведении исследовательских работ, так и при проведении ресурсных испытаний на динамическую прочность с целью продления срока службы при заводских видах ремонта на локомотиворемонтных заводах.

По разработанному методу в 2022 году были модернизированы 3 локомотива (9 секций). Первый локомотив прошел натурные экспериментальные исследования по динамическим вибрациям узлов главной рамы локомотива и рам тележек. Данные исследования не выявили превышения допустимых значений в модернизируемых узлах рам. С учетом результатов экспериментальных исследований при натуральных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов электровозов ВЛ-80с при движении их по рельсовому пути при различных режимах нагружения проводится научное обоснование способа модернизации рам тележек и главных рам кузовов данного типа локомотивов при проведении капитально-восстановительного ремонта.

В результате проведенных аналитических, численных и экспериментальных исследований разработан новый метод модернизации локомотивов при капитально-восстановительном ремонте с целью улучшения динамических характеристик, повышения прочности, надежности и продления срока полезного использования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных аналитических, численных и экспериментальных исследований по докторской диссертации на тему «Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения» получены следующие основные научные и прикладные результаты:

2. Анализ данных показал, что за период с 2.02.2017 года по 11.10.2022 года среди выявленных неисправностей более 75% составляют неисправности в рамах кузова и тележки. В результате выявлено, что к возникновению усталостных трещин приводит значительные динамические и температурные воздействия, возникающие в процессе эксплуатации и что стандартная заварка трещин не дает требуемый уровень надежности и требуется усиление.

2. Разработана математическая модель квазистатического и динамического расчета на прочность для рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации с учетом влияния контактных динамических нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих тяговых усилий при повышенных скоростях движения для транспортного машиностроения.

В результате представлены основные положения расчёта напряженно-деформированного состояния и коэффициентов запаса усталостной прочности рамы тележки локомотива.

3. Разработана математическая модель для квазистатического расчета главной рамы кузова локомотива сложной конфигурации при повышенных скоростях движения на основе анализа по максимальным напряжениям в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ-80с после проведения модернизации с усилением. В результате обоснованы максимальные значения суммарных напряжений, вычисленные для возможных наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузки расчетных режимов нагружения модернизированной главной рамы электровоза ВЛ80с, не превышают допускаемые (218 МПа при продольной нагрузке), а также определено, что усиление главной рамы кузова путем установки усиливающих накладок приводит к снижению максимальных напряжений по сравнению с существующей конструкцией на 10÷15 % в зависимости от режима нагружения.

4. Разработан обобщенный метод расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации с учетом влияния контактных динамических и тепловых нагрузок, а также продольных, поперечных и крутильных составляющих тяговых усилий при повышенных скоростях движения, конкретно, для главной рамы и рам тележек электровоза ВЛ-80с.

5. Разработана обобщенная математическая модель и аналитико-численный метод для трехмерного моделирования процесса изменения контактных температурных полей в месте установки стальной усиливающей накладки в виде цилиндрической детали, приваренной к модернизированной боковине главной рамы кузова локомотива. Предлагаемый численно-аналитический метод обладает научной новизной, которая базируется на методе кусочно-линейной аппроксимации и методе итераций с учетом данных экспериментальных исследований и данных эксплуатации.

6. С учетом результатов экспериментальных исследований при натурных динамических испытаниях рам тележек и главных рам кузовов электровозов ВЛ-80с при движении их по рельсовому пути при различных режимах нагружения предложен научно обоснованный способ модернизации рам тележек и главных рам кузовов данного типа локомотивов при проведении капитально-восстановительного ремонта.

7. Предложен инженерный метод аналитико-численного расчета, который позволяет проводить квазистатическое и динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния главной рамы кузова и рам тележек локомотивов с модернизированным усиленным несущим каркасом, на базе программ для численного расчета, на которые получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан

8. Разработана новая конструкция стенда для испытаний на динамическую прочность рам тележек локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары, который может быть использован для проведения стендовых испытаний тележек локомотивов на динамическую прочность с целью продления срока службы при заводских видах ремонта на локомотиворемонтных заводах,

новизна технического решения которого защищена Патентом Республики Узбекистан на изобретение № IAP 06795, опубл. 05.02.2022 г., Бюл. № 3.

9. Разработаны новые Инструкции по усилению рам тележек и главной рамы кузовов электровозов серии ВЛ-80 при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы в условиях УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир». Внедрение данных Инструкций уменьшает вероятность аварийных разрушений рам тележек и деталей главных рам кузовов электровозов серии ВЛ-80 и увеличивает срок их полезной эксплуатации на 8-10 лет.

10. С целью повышения безопасности эксплуатации разработана усовершенствованная «Методика на экспертное техническое диагностирование электровозов ВЛ-80с с целью продления срока их полезной эксплуатации», применение которой при модернизации локомотивов в процессе капитально-восстановительного ремонта позволяет улучшить их динамические характеристики, повысить прочность и надежность несущих конструкций рам электровозов, которая внедрена на УП «Ўзтемирйўлмаштаъмир» и в Управление эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йўллари».

11. Разработан новый способ модернизации локомотивов при капитально-восстановительном ремонте с целью продления срока полезного использования. В результате внедрения предлагаемого способа модернизации для 9-ти секций электровозов ЗВЛ80с получен экономический эффект в размере 678 млн. сум в течение 2022 года.

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY
SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARDED
SCIENTIFIC DEGREES DSc.15/31.08.2022.T.73.07**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

RADJIBAEV DAVRAN OKTAMBAYEVICH

**DEVELOPMENT OF METHODS FOR CALCULATING THE DYNAMIC
STRENGTH OF FRAME STRUCTURES OF LOCOMOTIVES OF
COMPLEX CONFIGURATION FOR TRANSPORT ENGINEERING**

05.08.05 - Railway rolling stock, train traction and electrification

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF
DOCTOR OF SCIENCE (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent - 2024

The theme of doctoral dissertation (DSc) in technical sciences has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number №B2023.3.DSc/T683

The dissertation has prepared at Tashkent state transport university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the web-page Scientific Council (www.tstu.uz) and on the «ZiyoNET» information and educational portal (www.ziynet.uz).

Scientific consultant:

Khromova Galina Alekseevna
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Tretyakov Aleksandr Vladimirovich
doctor of technical sciences, professor

Pecherskiy Vladimir Nikolaevich
doctor of technical sciences, professor

Adilova Ziyoda Gafurdjanovna
doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Jizzakh Polytechnic Institute

The defense of dissertation will take place in « 27th » of January 2024 at 10⁰⁰ at a meeting of the Scientific Council DSc.15/31.08.2022.T.73.07 at the Tashkent state transport university (Address: 100167, Uzbekistan, Tashkent, str. Temiryo'Ichilar-1, tel.: (99871) 299-00-01; fax: (99871) 293-57-54; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-Resource center of Tashkent state transport university (registration number). Address: 100167, Tashkent, str. Temiryo'Ichilar-1, tel. : (99871) 299-05-66.

Abstract of the dissertation distributed « » 2024 year.
(mailing report № , on « » 2024 year).



R.V. Raximov
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

Ya.O. Ruzmetov
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

R.M. Mirsaatov
Chairman of the scientific seminar under scientific
council
disposable on awarding Scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research is the development of methods for calculating the dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering.

The object of the research are modernized bogie frames and main body frames of electric locomotives operating at “Uzbekistan Temir Yollari” JSC, specifically for electric locomotives VL80 and VL80s.

The scientific novelty of the research is as follows:

the methodology for probabilistic-statistical processing of operational data has been improved based on the results of experimental studies of electric locomotive failures during full-scale dynamic tests of bogie frames and main body frames when moving in various loading modes based on the use of Poisson’s normal distribution law;

based on numerical methods for calculating the stress-strain state, a method has been developed for calculating the dynamic strength of the frame structure of locomotive bogies of complex configuration as a spatial system, taking into account the influence of longitudinal, transverse and torsional forces for transport engineering;

a mathematical model of oscillations of the main frame of a locomotive body of a complex configuration at elevated speeds was developed, on the basis of which an assessment was made using the piecewise linear approximation method for maximum stresses in the design modes of the main frame of the VL80 electric locomotive after modernization;

based on finite element theory, a generalized mathematical model and analytical-numerical method have been developed for three-dimensional modeling of the process of changing contact temperature fields at the installation site of a steel reinforcing lining in the form of a cylindrical part welded to the modernized sidewall of the main frame of the locomotive body;

A finite element model has been developed to calculate the main frame of the electric locomotive body, taking into account the influence of longitudinal forces acting along the axis of the automatic coupler during compression and tension in the design modes of the main frame of the VL80 electric locomotive.

Implement of the research results. Based on the scientific results obtained on the development of methods for calculating the dynamic strength of frame structures of locomotives of complex configuration for transport engineering:

new “Instructions for strengthening the frames of bogies of electric locomotives of the VL-80 series during overhaul and service life extension in the conditions of the UE “Oztemiryulmashtamir”” and “Instructions for strengthening the main frame of the bodies of electric locomotives of the VL-80 series” were introduced at the UE “Oztemiryulmashtamir” with a complete overhaul -refurbishment with extension of service life (Certificate of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan dated June 16, 2023 No. 4/4113). As a result of the implementation of these Instructions, it has been possible to reduce the likelihood of emergency

destruction of bogie frames and parts of the main body frames of electric locomotives of the VL-80 series and increase their useful life by 8-10 years;

The improved “Methodology for expert technical diagnostics of VL-80s electric locomotives in order to extend their useful life” was introduced at Uzbekistan Temir Yollari JSC. As a result of the introduction of this technique, it became possible to improve their dynamic characteristics, increase the strength and reliability of the load-bearing structures of the frames of electric locomotives when modernizing locomotives in the process of overhaul;

a new method of modernizing electric locomotives during major overhauls in order to extend their useful life was introduced in the Unitary Enterprise “Oztemiryulmashtamir” (Certificate of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan dated June 16, 2023 No. 4/4113). At the same time, as a result of the implementation of the proposed modernization method for 9 sections of 3VL80s electric locomotives, an economic effect in the amount of 678 million soums was obtained during 2022 by extending the service life of frame structures.

Structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, list of used literature and applications. The thesis consists of 148 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Разработка методов расчета на динамическую прочность рамных конструкций локомотивов сложной конфигурации для транспортного машиностроения. Монография. – Т.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2020. – 192 с.

2. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Разработка математической модели расчета на прочность главной рамы кузова электровоза ВЛ80с для железнодорожного машиностроения. // Вестник ТашИИТ. – 2020. – №1. – С.42-48. (05.00.00; №11).

3. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Камалов И.С. Модернизация узла люлечного подвешивания электровоза ВЛ-80с // Вестник ТашИИТ. – 2020. – №3. – С.67-80 (05.00.00; №11).

4. Раджибаев Д.О., Якушев А.Я., Назирхонов Т.М., Кувондиқов Ж.О. Влияние системы безопасности высокоскоростного электропоезда «Afrosiyob» на условия эксплуатации. // Известия Петербургского университета путей сообщения, №3, том 16, 2019, С.478-479. (05.00.00; №110).

5. Khromova G., Radjibaev D. Mathematical model and algorithm for calculating the durability indicators of electric locomotive bogie elements. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2022.- Volume 9, Issue 10, Pages: 19901-19907 (05.00.00; №8).

6. Раджибаев Д.О. Анализ работы системы контроля безопасности высокоскоростного поезда Аросиаб при эксплуатации на железных дорогах Узбекистана. // Вестник ТашИИТ. – 2018. – №2. – С.68-72. (05.00.00; №11).

7. Radjibayev D., Khromova G., Sobirov N., Algorithm and methodology for evaluating realibility indicators of a large gear wheel of a traction gearbox for electric locomotive. // Eurasian Journal of Academic Research, 2023, Volume 3, Issue 2, Part 2, Februaire 2023, pp.113–118. ISSN 2881-2020. (UIF = 8.1, SJIF = 5.685).

8. Radjibaev D., Nishonov A. Algorithm for numerical studies on the speed modes of the high-speed electric train “Afrosiyob”. // Eurasian Journal of Academic Research, 2023, Volume 3, Issue 2, Part 2, Februaire 2023, pp.113–118. ISSN 2881-2020. (UIF = 8.1, SJIF = 5.685).

9. Д.Раджибаев, И. Рахмиддинов, А. Нишонов., Особенности тягового оборудования электровозов серии UZELR. // Universum: технические науки, 48-52с. 2022 г. (02.00.00; №1).

10. Д. О Раджибаев, О. К. Жалгасов, Т. М.Махмасалаев, Анализ действий бортовой системы диагностирования электровозов серии О’ZY при возникновении неисправностей. // Журнал Universum: технические науки, Номер 5-3 (86), 24-26с. 2021г. (02.00.00; №1).

11. Раджибаев Д.О., Мирякубов А.М., Мавланов А.А., Анализ выхода из строя силовых полупроводниковых модулей тяговых преобразователей современных электровозов / Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации. – Ташкент: ТашИИТ, 2023. – №4. – С. 102-111 (05.00.00; Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2020 йил 30 ноябрдаги 288/14-сонли қарори).

12. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О., «Стенд для испытаний на динамическую прочность рамы тележки для локомотивов с электрической передачей мощности на колесные пары», Патент Республики Узбекистан на изобретение № IAP 06795, 05.02.2022 г., Бюл. № 3.

13. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш. Махамдалиева М.А., Гидравлический гаситель колебаний торсионного типа. Патент Республики Узбекистан на изобретение № IAP 07118, 30.09.2022 г., Бюл. № 10.

II бўлим (II часть; II part)

14. Avdeeva A., Khromova G., Radjibaev D., Two-axle bogie vibration damping system with additional damping elements, E3S Web of Conferences 365: 2023, Conference paper. (Vol. 02003) (2023), CONMECHYDRO-2022, pp.233-240, (*Scopus*).

15. Radjibaev D., Ablyalimov O.S. Efficiency of transportation Work of diesel locomotive UzTE16M3 series at the section of Uzbek Railway, AIP Conference Proceedings (Vol 2612 (1)) (2023), (*Scopus*).

16. Nazirkhonov T.M., Radjibaev D. Research on the parameters influence of the iron donations traction network of Uzbekistan, AIP Conference Proceedings (Vol 2612 (№1), 060017) 2023y., (*Scopus*).

17. Radjibaev D., Insapov D., Kahramonov Sh., Analysis of traction performance of the Ermak electric locomotive (3ES5K) in the Angren-Pap Mountain section, AIP Conference Proceedings (Vol 2612 (1), 060033), (2023), (*Scopus*).

18. Radjibaev D., Generalized analytical-numerical method for calculating the dynamic strength of the supporting carcass of a frame of complex configuration for a locomotive, AIP Conference Proceedings (Volume 247616), May 2023 (Article number 020032), 1st International Scientific Conference on International Transport Scientific Innovation, ITSI 2021, Moscow, 29 June 2021, (*Scopus*).

19. Khromova, G., Radjibaev, D., Theoretical Substantiation for the Development of a Bench for Resource Tests for the Dynamic Strength of Locomotive Bogie Frames, AIP Conference Proceedings, (Volume 2948, Issue 19) November 2023, (Article number 200244), International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences, WFCES 2022, Almaty (17 November 2022 through 18 November 2022), (*Scopus*).

20. Radjibaev, D., Khromova, G., Israilov, U., Algorithm for the Numerical Studies on the Model of Contact Temperature Fields Arising in a Reinforcing Steel Plate Welded to a Modernized Locomotive (Volume 2948, Issue 19) November 2023, (Article number 020023), International Scientific Forum on Computer and

Energy Sciences, WFCES 2022, Almaty (17 November 2022 through 18 November 2022), (*Scopus*).

21. Nazirkhonov, T.M., Radjibaev, D.O., Evaluation of the efficiency of a 4q-S converter of an alternating current electric locomotive of the "O'Z-ELR" series using a computer simulation model, AIP Conference Proceedings, (Volume 247616) May 2023 (Article number 020055), 1st International Scientific Conference on International Transport Scientific Innovation (ITSI 2021), Moscow 29 June 2021, (*Scopus*).

22. D.O. Rajibayev, A.M. Miryakubov, A.A. Mavlanov, Study of the traction converter control system of the uzeln series of electric locomotives, E3S Web of Conferences 458, (Vol 03016 (2023)) EMMFT-2023.

23. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А. Квазистатический расчет на прочность рамы тележки электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. Свидетельство об официальной регистрации программы № *DGU 07664*, 31.04.2020 й.

24. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Валиев М.Ш., Хромов С.А., Махамадалиева М.А. Квазистатический расчет на прочность главной рамы кузова электровоза ВЛ-80с. Программа для ЭВМ. Свидетельство об официальной регистрации программы № *DGU 10286*, 24.02.2021 г.

25. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Камалов И.С. Динамический расчет модернизированного узла люлечного подвешивания электровоза ВЛ80С с использованием гидравлического демпфера. // В сборнике материалов VI Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности». Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021. – Ч. II. – С.319-325.

26. Раджибаев Д.О., Хромова Г.А., Собиров Н.К. Теоретико-экспериментальные исследования по усилению рам тележек электровозов ВЛ-80 при капитально-восстановительном ремонте с продлением срока службы в условиях УП «O'ztemiryo'lmashta'mir». // Международный научно-образовательный электронный журнал «Образование и наука в XXI веке». выпуск № 35, том 4, февраль, 2023. С. 27-34.

27. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О. Расчетное обоснование режимов работы стенда для динамических испытаний рам тележек электровозов. // В сборнике статей VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век», том 1, СПГУПС, г. Санкт-Петербург, ноябрь 2018. С. 142-145.

28. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О., Разработка модернизированной конструкции моторвагонной тележки вагона метро с обоснованием динамических и прочностных параметров, Транспорт Шёлкового Пути, №1–2, 2019, с74-81.

29. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О. Стендовые динамические испытания с определением прочности элементов подвижного состава. // Научные труды республиканской научно-технической конференции с

участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». – Т.: ТашИИТ. – 2018. – С. 69-71.

30. Назирхонов Т.М., Хромова Г.А., Раджибаев Д.О. Динамическая модель колебаний рамной конструкции тележек локомотивов сложной конфигурации с переменной массой и изгибной жесткостью. // В сборнике тезисов докладов Десятого международного симпозиума «ELTRANS 10.0» Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС), г. Санкт-Петербург, 9-11 октября 2019 г., часть вторая, с.34-35.

31. Хромова Г.А., Хромов С.А., Раджибаев Д.О., Численный расчет максимальных напряжений в расчетных режимах главной рамы электровоза ВЛ80с после проведения модернизации путем установки усиливающих накладок. // Материалы статей седьмой Международной научно-технической конференции «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век. Великие ученые и научные школы», том 1, Санкт-Петербург: СПГУПС. - 2020.- С.160-165.

32. Rajibaev D.O., Mirzokhidova I.M., Assessment of the traction quality of the track profile of the Kattakurgan - Navoi section on the Uzbek Railway. // In the collection: Intelligent energy in transport and industry. Materials of the All-Russian youth scientific-practical conference with international participation. 2018, pp. 209–215.

33. Раджибаев Д.О., Викулов И.П., Назирхонов Т.М. Анализ тягово-энергетических характеристик электровоза ВЛ80с на новом горном участке Ангрэн-Пап. // В сборнике тезисов докладов Девятого международного симпозиума «ELTRANS - 2017» Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС), г. Санкт-Петербург, 2017, № 1, часть первая, с.91-96.

34. Раджибаев Д.О., Сотволдиев А.Р. Об использовании тепловозов UZTE16M3 на участке Каттакурган - Навои узбекской железной дороги. // В сборнике материалов Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием «Интеллектуальная энергетика на транспорте и в промышленности», ОмГУПС, 2018. С. 203-209.

35. Khromova G., Radjibaev D., Khromov S., Mathematical model of vibrations of a locomotive bogie frame structure of complex configuration at increase edmotion speed in transport engineering, Railway transport: Actual Tasks and innovations, 2019 №1-2, 14-28 p

36. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Туйчиева М.Н. Численно-аналитический метод динамического расчета на прочность рам тележек локомотивов с переменной массой и изгибной жесткостью. // В сборнике статей VI Международной научно-технической конференции «Локомотивы. Электрический транспорт. XXI век», том 1, СПГУПС, г. Санкт-Петербург, ноябрь 2018 г., С.145-148.

37. Хромова Г.А., Раджибаев Д.О., Хромов С.А., Численные исследования колебаний несущего каркаса модернизированной рамы сложной конфигурации для транспортного машиностроения, «Наука и образование:

актуальные вопросы теории и практики” материалы Международной научно-методической конференции. Оренбургский институт путей сообщения. Оренбург, 2021. С-181-185.

38. Д.О Раджибаев, О.К. Жалгасов, Т.М. Махмасалаев, Особенности бортового диагностического оборудования электровозов серии О'Z-У, Журнал Молодой ученый, Том 8, Номер 350, Страницы 8-12, Издатель ООО "Издательство "Молодой учёный", 2021.

39. Д.О Раджибаев, Ш.Н., Кахрамонов Анализ тяговых показателей электровоза «Ермак» (ЗЭС5к)., Журнал Молодой ученый, Том 8, Номер 350, Страницы 16-18, Издатель: ООО "Издательство "Молодой учёный"" ,2021

40. Раджибаев Д.О., Туйчиева М.Н., Особенности системы безопасности электровозов серии О'ZEL, Сборник научных трудов заочной Международной научно-практической конференции «Техносферная безопасность». Воронежский филиал Московского государственного университета путей сообщения, 2013. С. 19-23.

41. Раджибаев Д.О., Туйчиева М.Н. Анализ тяговых режимов путем варьирования условий взаимодействия в системе «колесо-рельс». // Материалы статей второй Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век», Санкт-Петербург: СПГУПС. - 2014.- С.178-181.

42. Раджибаев Д.О., Туйчиева М.Н. Роль полупроводниковых преобразователей на электрическом транспорте. // Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». – Т.: ТашиИИТ. – 2013. – С. 138-140.

Автореферат «ТДТУ ахборотномаси» илмий-амалий журнали
тахририятида таҳрирдан ўтказилди ва матнларни ўзаро мослиги
текширилди (01.12.2023 й).

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 2,5. Адади 100 дона. Буюртма № 50/22.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.