

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

ШЕРМУХАМЕДОВ УЛУГБЕК ЗАБИХУЛЛАЕВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ШАРОИТИДА КЎП ПОҒОНАЛИ
ЛОЙИҲАЛАШНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА ТЕМИР ЙЎЛ КЎПРИК
ВА ЭСТАКАДАЛАРИНИНГ СЕЙСМИК ҲИМОЯВИЙ ТАЯНЧ
ҚИСМЛАРИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ ТАНЛАШ ВА
САМАРАДОРЛИГИНИ АСОСЛАШ**

**05.09.02 - Асослар, пойдеворлар ва ер ости иншоотлари.
Кўприклар ва транспорт тоннеллари. Йўллар, метрополитенлар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской диссертации (DSc)

Contents of the doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Шермухамедов Улугбек Забихуллаевич

Ўзбекистон Республикаси шароитида кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда темир йўл кўприк ва эстакадаларининг сеймик ҳимоявий таянч қисмлари параметрларини танлаш ва самарадорлигини асослаш.....

3

Шермухамедов Улугбек Забихуллаевич

Обоснование эффективности и подбор параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования в условиях Республики Узбекистан

31

Shermuxamedov Ulugbek Zabixullaevich

Justification of efficiency and selection of parameters of seismic supporting parts of railway bridges and overpass taking into account multi-level design in the conditions of the Republic of Uzbekistan.....

59

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....

63

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ

ШЕРМУХАМЕДОВ УЛУГБЕК ЗАБИХУЛЛАЕВИЧ

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ШАРОИТИДА КЎП ПОҒОНАЛИ
ЛОЙИҲАЛАШНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА ТЕМИР ЙЎЛ КЎПРИК
ВА ЭСТАКАДАЛАРИНИНГ СЕЙСМИК ҲИМОЯВИЙ ТАЯНЧ
ҚИСМЛАРИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ ТАНЛАШ ВА
САМАРАДОРЛИГИНИ АСОСЛАШ**

**05.09.02 - Асослар, пойдеворлар ва ер ости иншоотлари.
Кўприклар ва транспорт тоннеллари. Йўллар, метрополитенлар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tstu.uz) ва "Ziyonet" Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) Ахборот-таълим порталида жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Рашидов Турсунбай

техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Ишанходжаев Абдурахман Асимович

техника фанлари доктори, профессор

Юлдашев Шарафитдин Сайфитдинович

техника фанлари доктори, профессор

Смирнов Владимир Николаевич

техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент архитектура қурилиш институти

Диссертация химояси Тошкент давлат транспорт университети ҳузуридаги DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 рақамли илмий кенгашнинг 2021 йил "11" сентябрь соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел./факс: (99871) 299-00-01, e-mail: rektorat@tstu, tashiit@exat.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат транспорт университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (03.09 билан рўйхатга олинган).

Манзил: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01.

Диссертация автореферати 2021 йил "24" август кuni тарқатилган.
(2021 йил "2" август даги 3 рақамли реєстр баённомаси).



А.А.Рискулов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор

Р.М. Худайкулов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, PhD

И.С. Содиков

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги Илмий семинар
раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда, хусусан Франция, Германия, Испания, Италия, Англия, Венгрия, Швеция, Россия, Япония, Корея, Хитой ва бошқа ривожланган давлатларда темир йўллардаги транспорт иншоотларининг сейсмик хавфсизлиги ва сейсмик мустаҳкамлигини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга сейсмоизоляция ва сейсмосўндиришни қўллаш орқали кўприкларни антисейсмик кучайтиришга асосланган кўп поғонали лойиҳалаш усуллари ишлаб чиқиш, темир йўл кўприк ва эстакадалари таянчлар тебранишларининг динамик сўндиргичларини қўллаш усуллари такомиллаштириш муҳим масалалардан бири ҳисобланмоқда. Шу жиҳатдан ҳар бир ривожланган мамлакатнинг сейсмик ҳудудларида темир йўл кўприкларини лойиҳалаш ва қурилиши ҳамда дунё бўйича ривожланаётган шаҳарларда поездларнинг хавфсиз ҳаракатланишини таъминлашга катта эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ҳозирги кунда темир йўл транспортидаги кўприк ва эстакадаларда кўп поғонали лойиҳалаш усуллари қўллаш муаммоларини янада чуқурроқ тадқиқ этишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада темир йўл кўприкларининг ўзаро таъсир қилувчи элементларини “таянч – оралик қурилма – йўл устки қурилмаси” концептуал илмий ёндашувида ўзаро таъсир этувчи яхлит тизим сифатида кўрилиб, сейсмоизоляциялаш усуллари такомиллаштириш, темир йўл кўприкларини махсус сейсмоҳимоялаш усуллари яратиш, транспорт иншоотларининг зилзилабардошлигини баҳолаш учун сейсмоҳимоя қурилмаларининг ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш, сейсмоизоляцияни қўллаш имкониятларини асослаш ва кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда темир йўл кўприкларининг сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг оптимал параметрларини танлаш усуллари ишлаб чиқиш, назарий ва амалий тадқиқотларининг асосий зарур масалаларидан бири бўлиб ҳисобланмоқда.

Мустақиллик йилларида Ўзбекистон Республикасининг сейсмик ҳудудларида темир йўл транспорт иншоотлари қурилиши жараёнида кучли зилзилавий экстремал шароитларида кўприк ва эстакадаларнинг зилзилабардошлигини таъминлашга қаратилган кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикасини 2017–2021 йилларда янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “...йўл инфраструктурасининг келгуси қурилиши ва реконструкция қилиниши...¹” юзасидан вазифалар белгиланган. Мазкур вазифани амалга оширишда, Ўзбекистон Республикаси ҳудудларининг сейсмик хавфлилигига боғлиқ маълумотлар асосида сейсмик таъсирларни генерациялашни ҳисобга олиб, кўприкларни ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш, кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда темир йўл кўприк ва эстакадаларини сейсмоҳимоявий

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги» Фармони.

таянч қисмларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш орқали уларнинг самарадорлигини асослаш, ҳар хил кучга эга сейсмик таъсир жараёнида сейсмоизоляцияланган темир йўл кўприklarининг ҳолатини аниқлаш, реал ва синтетик зилзила ёзувлари кўринишидаги сейсмик кучлар таъсиридаги кўприк ва эстакадалар зилзилабардошлиги масалаларини ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш масалалари муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 30 июлдаги ПҚ-4794-сон “Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2017 йил 4 октябрдаги ПҚ-3309-сон “Автомобил йўллари кўприklarини, йўл ўтказгичлар ва бошқа сунъий иншоотларни қуриш ҳамда фойдаланишни ташкил этиш тизимини такомиллаштириш тўғрисида”ги ва 2018 йил 19 июлдаги ПҚ-3874-сон “2018-2019 йилларда инвестициявий ва инфратузилмавий лойиҳаларни амалга оширишни жадаллаштиришга оид қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг XIV – «Сейсмология, биналар ва иншоотлар сейсмик хавфсизлиги ва қурилиш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи². Кўприк, йўл ўтказгич ва эстакадаларнинг зилзилабардошлиги муаммоларини ҳал этиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари жаҳоннинг қуйидаги етакчи илмий марказлар ва олий таълим муассасаларида олиб борилмоқда: Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, The Earthquake Engineering Research Institute (АҚШ), Technical University of Berlin, Technische Universität Dresden (Германия), Universidad Politécnica de Madrid (Испания), University of Liverpool (Буюк Британия), University of Patras (Греция), Transportation Technology Center, Ottawa-Carleton Bridge Research Institute (Канада), Kyoto university, Seismic Resistance Experiment Center (Япония), National Center for Research on Earthquake Engineering (Хитой), Россия давлат темир йўллар университети, Петербург давлат темир йўллар университети (Россия Федерацияси), ЎЗР ФА механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, Тошкент давлат транспорт университети (Ўзбекистон).

Кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб кўприklarни сеймосўндириш ва сейсмоизоляциялаш усулларини ишлаб чиқиш бўйича дунёда, жумладан қуйидаги илмий натижалар олинган: темир йўл кўприklarининг

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи: <https://ce.berkeley.edu/>, <https://www.liverpool.ac.uk/>, <https://www.upatras.gr/>, <https://tu-dresden.de/>, <https://www.ait.ac.jp>, <https://peer.berkeley.edu/>, <https://www.preventionweb.net/>, <https://www.eeri.org/>, The 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK; The 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon; <http://www.maurer-soehne.com/>; <http://www.fip-group.it/>; <https://stroycomplex-5.ru/> и др.

сейсмоизоляциялаш масалалари, зилзила бошланишида поездларни автоматик тормозлаш тизимини ишлаб чиқиш (Kyoto university, Seismic Resistance Experiment Center, Япония); сейсмоизоляцияли кўприкларда рельс изларининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини текшириш орқали энергия ёйилишининг инновацион тизими ёрдамида оралик қурилмани пилон конструкцияси билан улаш ва зилзила жараёнида кўприкнинг силжишларини чегаралаш усуллари такомиллаштирилган (University of Liverpool, Буюк Британия); темир йўл кўприкларида йўл устки қурилмасининг ишини ҳисобга олиб махсус сейсмоҳимоялаш усуллари ишлаб чиқилган (Anti-Seismic Systems International Society, Италия; Петербург давлат темир йўллар университети); кучли зилзилалар вақтида кўприкларни кўп поғонали лойиҳалаш тамойиллари такомиллаштирилган (Department of Civil and Environmental Engineering University of California, The Earthquake Engineering Research Institute, АҚШ; University of Patras, Греция; National Center for Research on Earthquake Engineering, Хитой).

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Иншоотларнинг замонавий зилзилабардошлиги бўйича илмий назарий ва экспериментал тадқиқотлар, кўприкларда сейсмосўндириш ва сейсмоизоляциялаш билан шуғулланувчи дунёнинг йирик олимлари: М. Bio, D. Kelly, К. Kubo, Sh. Okamoto, M.N. Fardis, D.J. Barr, B. Robinson, R. Skinner, D. Kollings, R. Gomes, X. Iemura, P. Huber, S. Infanti, E. Djenarimo, L. Di Sarno, Xauzner, постсовет давлатларида А.Д. Абакаров, В.А. Биховский, М.Ф. Барштейн, А.И. Мартемьянов, Н.А. Николаенко, М.М. Онищенко, И.И. Гольденблат, А.Б. Гроссман, О.А. Савинов, Я.М. Айзенберг, Г.Н. Карцивадзе, Ш.Г. Напетваридзе, И.Л. Корчинский, С.В. Медведев, В.С. Поляков, А.М. Уздин, Т.А. Белаш, В.А. Ильичев, В.И. Смирнов, Э.Е. Хачиян, Е.Н. Курбацкий, Г.С. Шестоперов, И.О. Кузнецова, С.А. Шульман, З.Г. Хучбаров, Б.Г. Коренев, А.А. Никитин, А.Ю. Симкин, Т.В. Суконникова ва жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, университетлари ҳамда илмий-тадқиқот институтлари, шунингдек, бошқа кўплаб олимлар томонидан олиб борилган. Кўприклар зилзилабардошлиги соҳасидаги назарий ва амалий илмий тадқиқотлар натижалари А.М. Уздин ва И.О. Кузнецова (2014) ларнинг ишларида батафсил таҳлил этилган.

Республикамизда сунъий иншоотларнинг зилзилабардошлиги масалалари бўйича В.Т. Рассказовский, М.Т. Уразбаев, К.С. Абдурашидов, Т. Рашидов, Г.Х. Хожметов, А.Х. Абдужабаров, А.А. Ишанходжаев, М.Х. Миралимов ва бошқалар олимлар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Аммо, бу тадқиқотларда сейсмоизоляцияни қўллаш имкониятини асослаш ҳамда темир йўл кўприklarининг сейсмоҳимояловчи таянч қисмларининг оптимал параметрларини кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб танлаш усули, хорижий мамлакатларда темир йўллардаги кўприк иншоотлари зилзилабардошлиги бўйича тадқиқотларнинг таҳлиliga боғлиқ транспорт иншоотларини ҳисоблаш усуллари етарлича даражада ўрганилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат транспорт университети илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ БВ-Атех-2018-14 “Ўзбекистон Республикаси шароитида юқори тезликда ҳаракатланиш магистраллари эстакадалари конструкциясининг компьютер дастурий мажмуаларидан фойдаланиб энг мақбул вариантыни ишлаб чиқиш” (2018-2020) ва ЁА14-001 “Юқори тезликдаги Тошкент-Самарқанд линиясида кўприклар конструкциясини вибродинамик юкларни ҳисобга олиб ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш” (2014-2015) мавзуларидаги илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Ўзбекистон Республикаси шароитларида темир йўл кўприklarининг сейсмик таъсирларга ҳисоблаш усуллари ривожлантириш учун кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда уларнинг зилзилабардош таянч қисмлари оптимал параметрларини танлаш ва сейсмоизоляцияни қўллаш имкониятларини асослашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

темир йўл кўприк ва эстакадаларида сейсмоизоляциялаш ва сейсмосўндириш масалаларининг замонавий ҳолати, кучли зилзилалар натижасида уларга етказилган шикастланишлар характери, сейсмик таъсирга ҳисоблаш усуллари ҳамда кўп поғонали лойиҳалаш тамойилларини тадқиқ қилиш;

сейсмик таъсирларнинг генерацияланишини ҳисобга олган ҳолда кўприкларнинг ҳисоблаш ва сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг бикирлик ва демпферлаш бўйича оптимал параметрларини танлаш усуллари ишлаб чиқиш;

ҳар хил массалар тебранишларининг динамик сўндиргичларини самарадорлигига созлаш аниқлиги таъсири, энг катта ноқулай тезланишлар, ҳамда лойиҳавий зилзила (ЛЗ) ва максимал ҳисобий зилзилалар (МХЗ) учун уларнинг ошиб кетиш эҳтимолини баҳолаш;

кўприк таянчларини бўйлама йўналиш бўйича лойиҳавий зилзилалар таъсирига ҳисоблаш усули ҳамда лойиҳавий ва максимал ҳисобий зилзилаларда таянч қисмларнинг овалсимон тешикларини ҳамда овал бўйича силжишини ночизиқли ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

Ўзбекистон Республикаси шароитларида темир йўл кўприklarини сейсмик таъсирларга ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари техник жорий этиш ҳамда кўприклар сейсмоҳимоявий қурилмаларининг конструкцияси ва жойлаштирилиши бўйича янги техник ечимларни ишлаб чиқиш;

турли даражали сейсмик таъсирлар остида сейсмоизоляцияланган темир йўл кўприklarининг ҳолати ва эксплуатацион юкларда кўприк полотноси элементларининг иш қобилиятини баҳолаш;

сейсмик ҳудудларда темир йўл кўприк ва эстакадаларини сейсмоҳимоялаш бўйича амалий тавсиялар ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида республика сейсмик ҳудудларида жойлашган темир йўл кўприк ва эстакадалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети кўп поғонали лойиҳалаш усуллари, темир йўл кўприк таянчлари ва сейсмоҳимоявий таянч қисмлари, улардаги тебранишларнинг динамик сўндиргичлари (оралиқ қурилмалари), демпферлари олинган.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида қурилиш механикаси ва иншоотлар динамикаси усуллари, сейсмоҳимоявий қурилмалар билан кўприкнинг математик модели, уларнинг сонли усуллари, анъанавий усулда созланган конструкциялар билан сейсмоҳимоявий қурилмаларнинг оптимал параметрларини таққослаш усуллари, темир йўл кўприklarини сейсмоизоляциялаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

темир йўл кўприк ва эстакадалари таянчлар тебранишлари динамик сўндиришнинг истиқболли конструкциясини қўллаш мақсадга мувофиқлиги кўп поғонали лойиҳалаш усулини қўллаган ҳолда асосланган;

темир йўл кўприк ва эстакадалари таянчлари тебранишларнинг динамик сўндиргичлари кўринишида оралиқ қурилма массасидан фойдаланишнинг сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш усули ишлаб чиқилган;

Ўзбекистон Республикасининг сейсмик шароитларини ҳисобга олган ҳолда, энг катта ноқулай тезланишлар ҳамда лойиҳавий ва максимал ҳисобий зилзилалар учун уларнинг ошиб кетиш эҳтимолини баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

сўндирувчи масса (оралиқ қурилма) бир неча бор (2 ва ундан ортиқ) сейсмик таъсирга учраётган конструкциялар (таянчлар) массасидан ошганда унинг тебранишлари динамик сўндиргичларнинг созлаш аниқлиги таъсирини баҳолаш усули ишлаб чиқилган;

кучсиз таъсирларда кўприк ва эстакадалар сейсмоизоляциясини қўллаш самарадорлиги, кучли таъсирларда эса сейсмоҳимоявий қурилмаларнинг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш темир йўл кўприklarининг зилзилалар акселерограммалари бўйича ҳисоблаш усули ёрдамида асосланган;

кўприк таянчларини бўйлама йўналиш бўйича зилзилалар таъсирига ҳисоблаш ҳамда ҳар хил таъсирларда сейсмоҳимоявий қурилмаларнинг овалсимон тешиклари ва овал бўйича силжишини ночизиқли ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган;

Ўзбекистон Республикасининг сейсмик шароитларини ҳисобга олган ҳолда зилзилаларнинг ҳар хил (лойиҳавий ва максимал ҳисобий) таъсирларида сейсмоизоляцияланган темир йўл кўприklarининг эксплуатацион ишончлилиги ҳамда эксплуатацион юкларда кўприк полотноси элементларининг ишлаш қобилияти реал ва синтетик акселерограммалардан фойдаланиб баҳоланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

сейсмик таъсирлардан темир йўл кўприк ва эстакадалари ҳимояси махсус конструкцион усуллариининг таҳлили амалга оширилди ҳамда темир йўл кўприklари таянчлари тебранишларини динамик сўндиришда

сўндирувчи масса сифатида оралик қурилмаларини қўллашнинг мақсадга мувофиқлиги асосланган;

темир йўл кўприklarининг зилзилабардошлигини ошириш мақсадида эксплуатацион юклар таъсири остида йўл устки қурилмасининг иш қобилиятини баҳолаш ишлаб чиқилган дастурий комплексдан фойдаланиб такомиллаштирилган;

темир йўл кўприк ва эстакадалари таянчлари учун тебранишларнинг динамик сўндиргичлари сифатида оралик қурилма массасини қўллаш янги илмий ечим сифатида ишлаб чиқилган;

ЭҲМ учун компьютер дастури кўринишида тақдим этилган тўсинли кўприklar таянчлари тебранишларининг динамик сўндиргичлари самарадорлигини автоматлаштирилган ҳисоблаш усули яратилган;

темир йўл кўприklarининг сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг оптимал параметрларини кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб моделлаштиришга имконият яратувчи ЭҲМ учун дастурий комплекс ишлаб чиқилган;

кўприк таянчларини бўйлама йўналиш бўйича зилзилалар таъсирига ҳисоблаш ҳамда ҳар хил таъсирларда сейсмоҳимоявий қурилмаларнинг овалсимон тешиклари ва овал бўйича силжишини ночизиқли ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қурилиш механикаси усулларида, ҳамда синовдан ўтган дастурий комплекслардан фойдаланиш орқали таъминланиши, транспорт иншоотларининг зилзилабардошлиги соҳасида ишлайдиган бошқа мутахассислар томонидан олинган натижаларга мос келиши, келтирилган техник ечимларнинг асосли эканлиги Ўзбекистон Республикаси сейсмик шароитларини ҳисобга олган ҳолда темир йўл кўприklarини лойиҳалаш ва қуриш амалиётига кенг кўламда жорий этилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти темир йўл кўприklarининг сейсмоизоляциялаш ва сейсмоҳимоялаш жараёнларини кўп поғонали лойиҳалашнинг сонли ҳисоблаш усули ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда, сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг оптимал параметрларини танлаш усулини ишлаб чиқиш, ҳамда кўприк таянчлари тебранишларининг динамик сўндиргичларини созлаш хатолар таъсирини ўрнатиш, кўприк ва эстакадалар таянчлари тебранишларининг динамик сўндиргичларининг янги назарий ечими, бунда сўндирувчи масса (оралик қурилма) икки ҳимояланувчи объект (таянч) лар орасига жойлаштирилади ва тебранишларини сўндириши, ҳар хил сейсмик таъсирларда темир йўл кўприklarининг ҳолати баҳолалиши, темир йўл кўприк ва эстакадаларининг сейсмоҳимоявий қурилмаларини лойиҳалаш масаласини сонли енгиллаштириш имконини бериши, улар лойиҳаловчига сейсмоҳимоявий қурилмалар элементларининг оптимал параметрлари (ўлчамлари ва

бикирлиги) ни танлаш ва асослаш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ўзбекистон Республикаси шароитларида кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда, темир йўл кўприк ва эстакадаларининг сейсмоҳимоявий таянч қисмларини оптимал параметрларини танлаш ва уларни самарадорлигини асослаш бўйича тадқиқотда олинган илмий натижалар асосида:

Таянч тебранишларининг динамик сўндиргичлари самарадорлигини автоматлаштирилган ҳисоблаш усули “Ўзбекистон темир йўллари“ АЖ таркибидаги “Тоштемирйўллойиҳа” МЧЖ корхонасига жорий этилган (“Ўзбекистон темир йўллари“ АЖнинг 2021 йил 20 майдаги 01/2136-21-сон маълумотнома). Тадқиқот натижаларининг қўлланилиши, лойиҳалаш жараёнида темир йўл кўприкларининг сейсмоҳимоявий қурилмаларининг лойиҳаланаётган элементлари ўлчамлари ва бикирлигини танлаш имконияти яратилади;

Тўсинли кўприкларнинг сейсмик хавфдан ҳимояловчи таянч қисмларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш усули “Ўзбекистон темир йўллари“ АЖ таркибидаги “Тоштемирйўллойиҳа” МЧЖ корхонасида массаларнинг турли хил ўзаро нисбатларида сейсмик жихатдан ҳимояланган таянч қисмларнинг бикирлик ва демпферланиш параметрларини олиш учун жорий этилган (“Ўзбекистон темир йўллари“ АЖнинг 2021 йил 20 майдаги 01/2136-21-сон маълумотнома). Натижада, танлаб олинган оптимал параметрларга эга стерженли амортизаторлардан иборат сейсмоҳимоявий воситаларидан фойдаланган ҳолда, сейсмик юкламаларни камайтириш ҳисобига, темир йўл кўприги зилзилабардошлигини 48% ошириш имконини берган;

Темир йўл кўприкларининг сейсмик жихатдан ҳимояланган таянч қисмларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш бўйича кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб ишлаб чиқилган усули “Стройкомплекс–5” томонидан яратилган сейсмоҳимоявий тизимига эга “Сочи–Адлер” линиясидаги кўприкларни лойиҳалашга жорий этилган (Россия Федерацияси, «Стройкомплекс–5» МЧЖнинг 2021 йил 25 майдаги 078/21-91-М/01-сон маълумотнома). Натижада сейсмоизоляцияловчи таянч қисмларининг қўлланиши кўприк таянчига тушадиган сейсмик юкланишларни камайтиришга ва таянч тебранишлари динамик сўндиргичларининг самарадорлини оширилишига, асосий қурилиш материаллари сарфини 1,2 мартаба қисқартириш имконини яратган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация тадқиқот ишларининг натижалари 6 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация иши бўйича умумий 34 та илмий иш чоп этилган, улардан 1 та монография, 31 та илмий мақола, шу жумладан хорижий журналларда 10 та, “Scopus” базасидаги журналларда 4 та, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация

комиссиясининг докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола республика журналларида нашр этилган. Шу билан бирга, дастурий ҳисоблаш маҳсулотлари учун 2 гувоҳнома олинди.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиёт ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 200 бетни, асосий қисми эса 180 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертациянинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Тадқиқот этиладиган масала ҳолатининг таҳлили”** деб номланган биринчи боби сейсмик ҳудудларда кўприкларни сейсмоизоляциялаш ва сеймосўндириш борасидаги техник масалалар шарҳига бағишланган. Ўзбекистон Республикаси ҳудудининг сейсмик жиҳатдан хавфлилиги ва кучли зилзилаларда кўприкларнинг шикастланиш табиати таҳлил қилинган. Кўприк конструкцияларининг зилзилалар акселерограммалари ва спектрал усул бўйича зилзилабардошлигини баҳолаш усулларининг таҳлили бажарилган. Сейсмик ҳудудларда кўприкларни кўп поғонали лойиҳалаш тамойиллари келтирилган.

Ҳозирги кунда кўприкларнинг сейсмик таъсирларга амалдаги мавжуд ҳисоблаш усуллари уларнинг зилзилабардошлиги, чидамлилиги ва ишонччилигини тўлалигича таъминлаб бермайди. Шу сабабдан кўприкларнинг зилзилабардошлигини асосий таъминлаш усуллари ва хусусиятлари кўриб чиқилган. Кўприклар таянчларига тушадиган горизонтал сейсмик юкларни камайтиришнинг иккита – *анъанавий* ва *махсус* йўли мавжуд. Бунда кўприклар зилзилабардошлигини таъминлашнинг энг самарали усули – махсус сейсмоҳимоя тизимларидан фойдаланишдир. Улар *сейсмоизоляция* ва *сеймосўндириш* тизимларидир.

Сейсмоизоляциянинг мавжудлиги поезд тормозланиши ёки жойидан кўзғалишида оралиқ қурилманинг кўприкка кириш жойлари кўтармасига нисбатан анча катта (5-15 см) силжишларига олиб келади ва йўл устки қурилмасининг бузилиши (ёки рельс плетларининг узилиши) ни келтириб чиқаради. Россиядаги кўприкларни лойиҳалаш меъёрларида таянчнинг устки қисмини силжишига чекловлар қўйилган бўлиб, бу эса йўлни эксплуатацион юклар таъсири остида ишлаши жараёнида салбий натижаларга йўл қўймаслиги лозим. Бу чеклов (1) ифода кўринишига эга:

$$u_{\max} < 0.5 \cdot \sqrt{L}, \quad (1)$$

бунда u_{\max} – таянч устки қисмининг эксплуатацион юк остида энг катта силжиш миқдори, см; L – кўприк оралиқ қурилмаси, м.

Ҳозирги вақтда чизикли-спектрал усул (ЧСУ) темир йўл кўприklarини лойиҳалашда асосий усул сифатида қабул қилиниб, Россия, Япония, АҚШ ва Европа Ҳамжамияти давлатларининг меъёрий хужжатларида тан олинган ва киритилган. Аммо темир йўл кўприklари учун махсус сейсмоҳимоя билан динамик ҳисоблар асосий восита бўлиб қолмоқда, чунки бундай кўприklарни ҳисоблаш учун спектрал усул қўлланилмайди. Зилзилалар акселерограммалари бўйича ҳисоблашлар оммавий қурилиш объектларига нисбатан кўприklар учун аҳамиятлироқ бўлиб, янада ривожлантирилишга муҳтож.

Зилзилаларнинг акселерограммалари бўйича ҳисоблаш ишлари вақт бўйича сонли интеграллаш усулларида бажарилади, бундай усул билан вақтнинг ҳар бир дақиқаси учун иншоотнинг зилзилабардошлигини тавсифловчи силжиш, тезланиш, куч ва бошқа омиллар аниқланади. Бунда бошланғич маълумот сифатида ҳисобий акселерограммалар пакети, ҳамда конструкциянинг бикирлик, инерция ва демпферлаш тавсифлари хизмат қилади.

Мамлакатимиздаги зилзилабардош конструкциялар учун амалдаги меъёрларда махсус сейсмоҳимоялаш, кўприklарни лойиҳавий зилзилалар (ЛЗ) ва максимал ҳисобий зилзилалар (МХЗ) бўйича ҳисоблаш масалалари деярли келтирилмаган.

Дунё бўйича зилзилабардош қурилиши амалиётида маълум даражали зилзилабардош иншоотларни лойиҳалашга *кўп поғонали ёндашув* амалга оширилмоқда. Транспорт иншооти айна шундай ёндашувга мувофиқ сейсмик таъсирларнинг мос чегаравий ҳолатларининг бир нечта даражаси учун ҳисобланади. Бунда уларнинг сейсмик тебранишларига хос бўлган, кўприк устида вақтинча юк бўлиши, кўприк масъулияти даражаси, сейсмоизоляция ва қўлланган сейсмосўндиргич турларининг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олиш учун имкон яратади.

Шарҳ натижалари, адабий манбалар таҳлили, қўйилган мақсадларга мувофиқ ишлаб чиқилган хулосалардан келиб чиққан ҳолда сейсмик таъсирларга ҳисоблаш усуллари ривожлантиришга назарий ва амалий дастлабки шарт-шароитлар, сейсмоизоляцияни қўллаш имкониятларини асосланиши ва темир йўл кўприklари сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг Ўзбекистон Республикаси шароитларида кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб, оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш йўллари белгиланди, тадқиқотларнинг асосий масалалари шакллантирилди.

Диссертациянинг «**Сейсмик таъсирларни генерациялашни ҳисобга олиб кўприklарни ҳисоблаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида Ўзбекистон Республикаси ҳудудининг сейсмик хавфлилигини генерациялашни ҳисобга олиб баҳолаш масалалари, сейсмик таъсирлар генерациясини ҳисобга олган ҳолда кўприklарни кўп поғонали лойиҳалашда

ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш, ҳамда энг юқори тезланишларни баҳолаш ва лойиҳавий (ЛЗ) ҳамда максимал ҳисобий (МХЗ) зилзилалар учун ундан ошиб кетиш эҳтимолини баҳолашга бағишланган.

Ҳозирги вақтда Россияда ҳудуднинг сейсмик жиҳатдан хавфлилиги ситуацион сейсмиклиги, яъни ОСР-2012 меъёри бўйича А, В ва С хариталардан ҳисобий баллар қийматига қараб аниқланади. Афсуски, бизнинг транспорт қурилишига оид лойиҳалаш институтлари кўприкларни сейсмик таъсирларга ҳисоблашда Ўзбекистон ҳудуди учун ситуацион сейсмиклик ҳақида маълумотлар мавжуд эмаслиги сабабли реал ёки синтетик акселерограммалардан фойдаланмайдилар, кўприкларни эса ЧСУ бўйича ҳисоблаш билан чегараланадилар.

Шунинг учун, муаллиф томонидан Ўзбекистон ҳудудининг хавфлилигини генерациялашни ҳисобга олган ҳолда сейсмик ҳудудлаштириш хариталари асосида баҳолаш усули таклиф этилди. Иш доирасида қуйидаги таъсирлар кўриб чиқилган: *лойиҳавий, ўртача ва максимал зилзилалар*.

Лойиҳавий, ўртача ва максимал ҳисобий зилзилаларнинг сейсмик таъсирларини сейсмоҳимояни ҳисобга олган ва олмаган ҳолда бериш, ҳисоблашларни эса кўприк ишининг бўйлама йўналиши бўйича бажариш мақсадга мувофиқ. Ўзбекистон Республикаси ҳудудининг *ситуацион сейсмиклигидан* келиб чиққан ҳолда, энг катта тезланиш PGA ни ЛЗ ва МХЗ учун аниқланган. Қуйида темир йўл кўприги учун сейсмик таъсир даражаларини ҳисоблаш бўйича дастурий таъминотдан айрим фрагментлари келтирилган (1-расм). Оптимал сейсмоизоляцияли ва сейсмоизоляциясиз кўприк таянчини ҳисоблаш учун ЛЗ ва МХЗ ларнинг генерацияланган синтетик акселерограммаси тавсифлари 2-расмда тақдим этилган.

1-расм. Таянчларнинг силжиш бўйича меъёрларини қониктирувчи изоляцияли сейсмоҳимояланган кўприкни ҳисоблаш учун МХЗ параметрлари

Выберите акселерограмму	
Каталог, содержащий акселерограмму	C:\Users\Magyar\Desktop\inputSeparation\input noise
Имя выбранной акселерограммы	SimAcc_opt.std
Масштабный множитель	1
Пиковое значение акселерограммы	3.764703
Расчет	
Интенсивность по Ариасу модифицированная, $I_a (m/s^2)$	13.91500
Интенсивность по Ариасу (m/s^2), $I_a^*PMa/2g$	2.22810
Абсолютная кумулятивная скорость, CAV	10.5004398
Интенсивность по Ариасу модифицированная STD	13.8553425
Интенсивность по Ариасу STD	2.2185445
CAV STD	9.9957257
SED	0.2219006
Эффективная продолжительность землетрясения (сек), $T = T_{95} - T_5$	7.65653
Среднеквадратичное ускорение	1.34811
Среднеквадратичная сорость	0.17024
Показатель поврежденности Арайра (m/s)	2.15368

2-расм. Кўприк таянчини ҳисоблаш учун генерацияланган синтетик акселерограммасининг МХЗ тавсифлари

Бундан кейин таъсирларни генерациялаш учун Ариас I_A бўйича

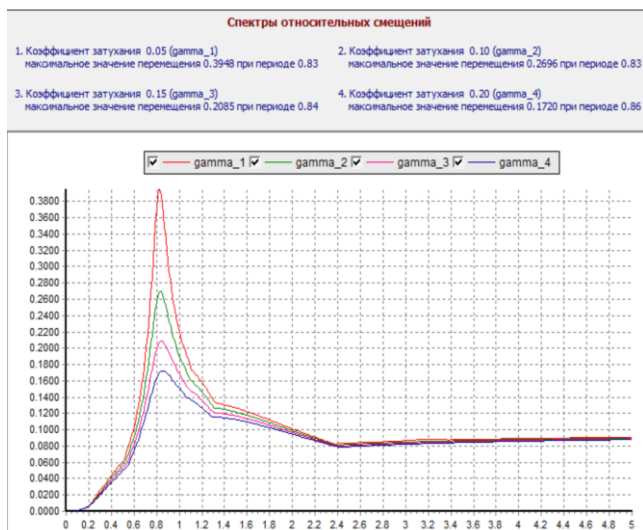
интенсивлиги, абсолют кумулятив тезлик CAV ва сейсмик энергия зичлиги SED куйидаги формулалар бўйича аниқланади:

Ариас бўйича интенсивлиги
$$I_A = \frac{\pi}{2g} * \int_0^{T_{eq}} (\ddot{y}_0(t))^2 dt; \quad (2)$$

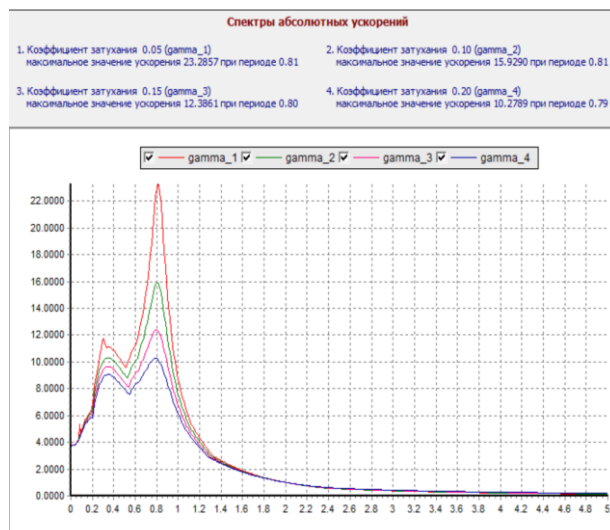
абсолют кумулятив тезлик
$$CAV = \int_0^{T_{eq}} |\dot{y}_0(t)| dt; \quad (3)$$

сейсмик энергия зичлиги
$$SED = \int_0^{T_{eq}} (\dot{y}_0(t))^2 dt. \quad (4)$$

Таъсирлар генерацияси натижаларини ҳисобга олиб, кўп поғонали лойиҳалаш бўйича ҳисоблаш ишлари бажарилди ва SinAcc дастуридаги хронограммаси тақдим этилди. 3 ва 4-расмларда келтирилган сейсмоизоляцияланмаган ва оптимал сейсмоизоляцияланган кўприк таянчини SuperSpectra дастури бўйича ҳисоблаш учун, ЛЗ ва МХЗ ларнинг абсолют тезланишлар ва силжишлар спектри бўйича ҳисоблаш натижалари берилган.



3-расм. Кўприк таянчини ҳисоблаш учун МХЗ акселерограммасининг нисбий силжишлари спектри



4-расм. Кўприк таянчини ҳисоблаш учун ЛЗ ва МХЗ ларнинг абсолют тезланишлари акселерограммаси спектри

Ишлаб чиқилган усуллар асосида кўприкнинг ҳисоби аввалги зилзилаларнинг энг кўп тарқалган акселерограммалари бўйича, шу жумладан синтетик акселерограммаларининг икки хили бўйича бажарилди. Бунда зилзилаларнинг генерацияланган синтетик акселерограммаларни ҳисобга олиш кўприкнинг бузилиш эҳтимоли ортиб кетишига олиб келади, чунки дастлабки сейсмик таъсирларнинг юқори частоталари иншоот учун резонансли ҳисобланади.

“Темир йўл кўприк ва эстакадалари сейсмохимоявий таянч қисмларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олиб танлаш усули” деб номланган учинчи бобида кўприкларнинг зилзилабардош қурилишида таянчлар

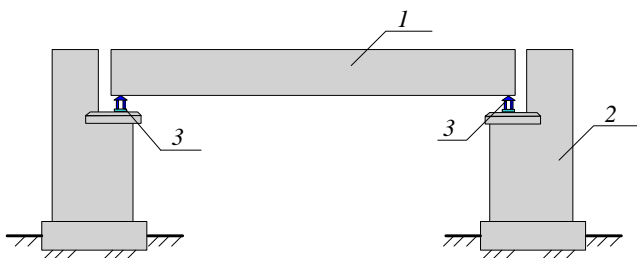
тебранишини оралиқ қурилмадан сўндирувчи масса сифатида фойдаланиб, тебранишларни динамик сўндиргичларини (ТДС) қўллашнинг самарадорлиги ва мақсадга мувофиқлиги асосланди.

Бобнинг биринчи қисмида И.О. Кузнецова, А.А. Никитин, А.М. Уздин ва бошқа мутахассисларнинг ишларида тебранишларни динамик сўндиргичларига (ТДС) оид маълумотлар кўриб чиқилди. Бу ишларда турли хил массаларнинг ТДС лари алоҳида-алоҳида кўриб чиқилган. Бизнинг ҳолатда сейсмик тебранишлар жараёнида оралиқ қурилма тегишли созланишлар ҳисобига танчларга нисбатан қарши фазада тебранади ва жамланган сейсмик юкни камайтиради. Бир оралиқли кўприк учун келтирилган сейсмоҳимояни жорий этилиши 5-расмда кўрсатилган, бунда сўндирувчи масса сифатида оралиқ қурилмалардан фойдаланилди.

Созлаш аниқлигини ҳар хил массали динамик сўндиргичлардан фойдаланиш самарадорлигига таъсири кўриб чиқилди. Ишда созлаш параметри сифатида сўндиргичлар ва ҳимояланувчи таянч массаларининг нисбати қабул қилинди. ТДС нинг ҳар хил масса (кичик, ўлчовдош, ўрта, катта ва жуда катта) ларининг мавжуд ечимлари назарияси муаллиф томонидан ривожлантирилган. Бунинг учун урта мавжуд ечимларнинг назарий асослари таҳлил қилинган:

- кичик массали сўндиргич - ($v=M_{\text{рас}}/M_{\text{соор}}=0.1$);
- ўлчовдош массали сўндиргич - ($v=M_{\text{рас}}/M_{\text{соор}}=1$);
- катта сўндиргич (критик массадан ортиқ).

Учала ҳолат ҳам амалий аҳамиятга эга.



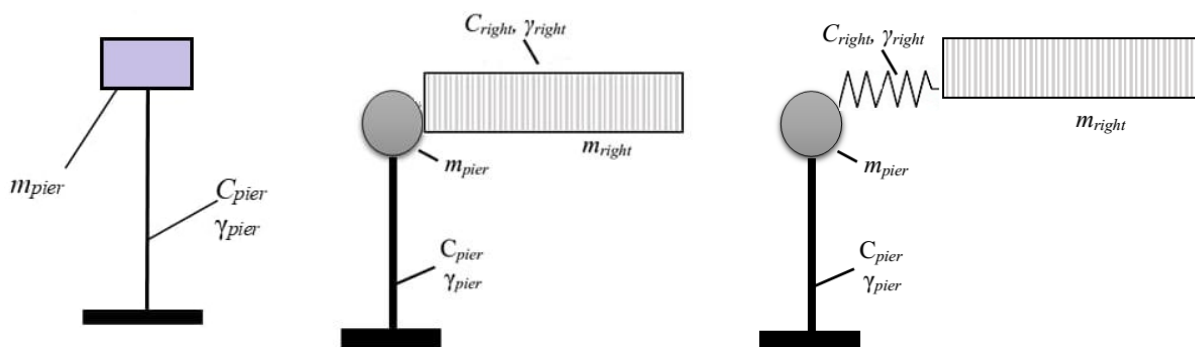
5-расм. Бир оралиқли кўприк учун сейсмоҳимояни амалга ошириш намунаси

Темир йўл кўприклари таянчлари тебранишларининг динамик сўндиргичлари қуйидаги ТДС тизимлари эталонлар сифатида қабул қилинади:

1. Сўндиргичсиз тизимлар, яъни ТДС сиз таянч (6, а-расм);
2. Сўндиргич таянчга мустақкам бириктирилган (6, б-расм);
3. Тадқиқ қилинаётган тизим сифатида таянч билан эластик бириктирилган қўшимча масса кўринишидаги динамик сўндиргичли схема танланган (6, в-расм).

Бунда шуни эътиборга олиш лозимки, ҳар хил массали (кичик, ўлчовдош, ўрта, катта ва жуда катта) ТДС самарадорлигини баҳолаш олинган эталон тизимларини ўзаро солиштириш усули билан амалга ошириш лозим.

Таҳлиллар асосида муаллиф томонидан ТДС сейсмоҳимояловчи бирикмалари бикирликларининг оптимал созланган икки массали тизимлар тенгламалари тадқиқоти амалга оширилди (6, в-расм).



6-расм. Оралиқ қурилмалар билан ўзаро боғланган таянчларнинг принципиал схемалари: а) сўндиргичсиз тизим; б) сўндиргич мустаҳкам бириктирилган; в) ТДС ли тизим, яъни таянч билан эластик бириктирилган оралиқ қурилма

Таклиф этилган схемада қуйидаги параметрлар қабул қилинган:

C_{right} – сўндиргич бикирлиги (оралиқ қурилма); C_{pier} – таянч бикирлиги (таянч учун); m_{right} – сўндиргич массаси (оралиқ қурилма); m_{pier} – таянч массаси; γ_{right} – тебранишлар сўндиргичининг сўниш коэффициентлари (оралиқ қурилма); γ_{pier} – таянчнинг сўниш коэффициентлари.

Қабул қилинган белгиларда массаларнинг диагонал матрицаси ва тизим бикирлиги матрицаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$M = \begin{vmatrix} m_{right} & 0 \\ 0 & m_{pier} \end{vmatrix} \quad (5) \quad R = \begin{vmatrix} C_{right} & -C_{right} \\ -C_{right} & C_{right} + C_{pier} \end{vmatrix} \quad (6)$$

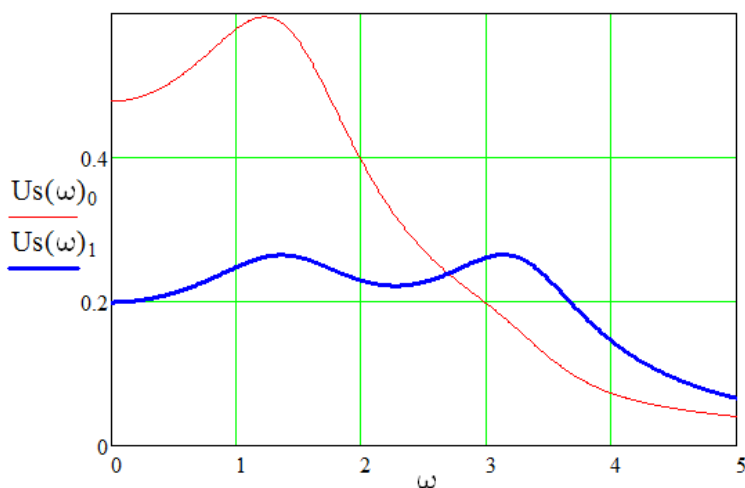
Тебранишлар сўндирилишини ҳисобга олиб “оралиқ қурилма – таянч” сейсмоҳимояланган тизимининг амплитуда-частота тавсифлари (АЧТ) ни кўриб чиқамиз. Тебраниш амплитудалари қуйидаги формула бўйича ҳисобланди:

$$U_s(\omega) = \sqrt{\mathbf{a}_s(\omega)^2 + \mathbf{a}_c(\omega)^2}, \quad (7)$$

бу ерда \mathbf{a}_c ва \mathbf{a}_s – тегишлича косинус ва синусда амплитудаларнинг изланаётган векторлари.

Ҳар хил массали динамик сўндиргич самарадорлигини созлаш хатолигига таъсирини ҳисобга олиш усули ишлаб чиқилди. Оптимал параметрларни танлаш натижалари, яъни учала ҳолат учун Mathcad ва Builder C++ дастурий комплекслар ёрдамида бикирлик ва демпферлаш бўйича созлашнинг аниқланган оптимал параметрлари 7-расмда келтирилган. Оптимизациялаш тартиби қуйидаги расмда келтирилган, унда тебранишлар частотасининг берилган диапазонда тизимнинг силжиши минимал ҳисобланади.

7-расмдан маълумки, вертикал ўқ бўйича оралиқ қурилмаси силжишлари амплитудаси $U_s(\omega)_0$, таянч силжишлари амплитудаси $U_s(\omega)_1$ метр ўлчамида, горизонтал ўқ бўйича эса таянч тебранишининг асосий товуши кўзғалишининг частотаси ω қўйилади.



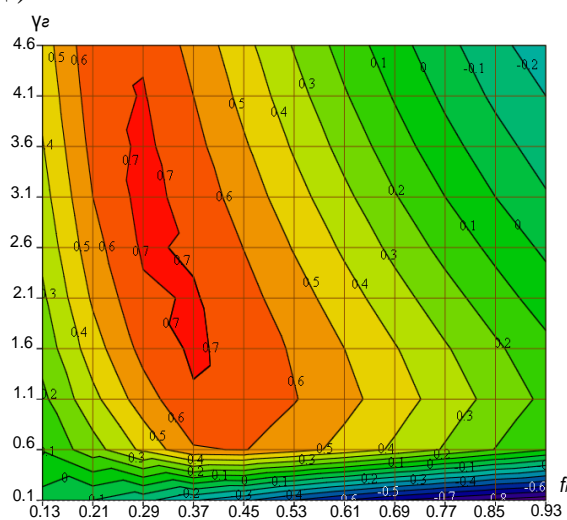
7-расм. Тизимнинг берилган $f_{2 \text{ опт}}=0.86$, $\gamma_{2 \text{ опт}}=0.45$ параметрларида қўзғалиш частотасининг АЧХ га боғлиқлиги

Сўндиргич (оралиқ қурилма) ни созлаш самарадорлигини баҳолаш қуйидаги формула билан ифодаланадиган самарадорлик коэффицентини киритиш йўли билан бажарилади:

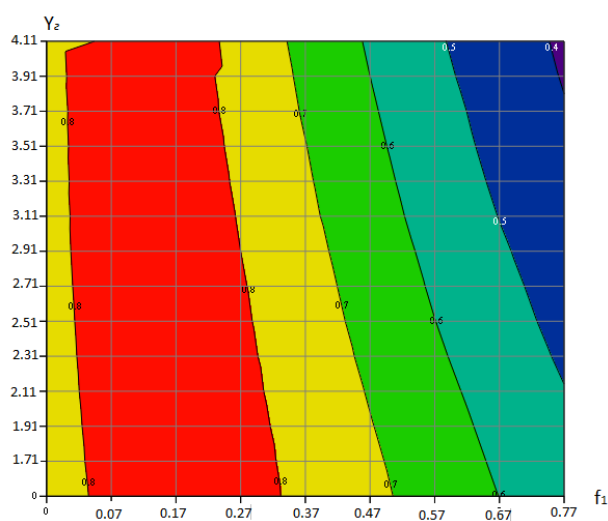
$$E_{\text{опт}}(f, \gamma_z) = \frac{U_{\text{опт}} - U(f, \gamma_z)}{U_{\text{опт}}}, \quad (10)$$

бунда $U(f, \gamma_z)$ – тебранишларнинг белгиланган частоталари диапазонида f ва γ созлашлари билан тизим силжиш функцияларининг экстремал қийматлари; $U_{\text{опт}}$ – оптимал қурилиш-технологик созланган тизим силжиш функцияларининг экстремал қийматлари.

$E_{\text{опт}}(f, \gamma_z)$ ларнинг изолинияларда боғлиқликлари 8 ва 9-расмларда келтирилган. Самарадорлик коэффицентини $E_{\text{опт}}(f, \gamma_z)$, яъни ТДС ни қўллаш самарадорлигини иккита асосий эталон-тизимлар – сўндиргичсиз ва сўндиргич билан жуда мустақкам бириктирилган тизимлар билан таққослаш мумкин, яъни тизим массаси сўндиргич массасига кўпайтирилган (6-расмга қ.).



8-расм. $\nu=0.1$ да бикирлик ва демпферлаш бўйича созлашнинг тизим сўндиргичсиз бўлган ҳолат учун бош масса силжишлари камайишига таъсири изолиниялари



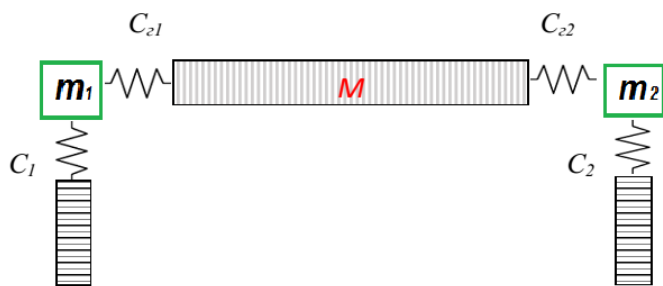
9-расм. $\nu=2$ да бикирлик ва демпферлаш бўйича созлашнинг сўндиргич таянчга маҳкам бириктирилган ҳолат учун бош масса силжишлари камайишига таъсири изолиниялари

Графикларда $E_{opt}(f, \gamma_2)$ боғлиқликиннг асосий тизимлари келтирилган. (10)-формуладан бешта ҳолат учун $\nu=0.1, \nu=1, \nu=2, \nu=3, \nu=5$ (тегишлича кичик, ўлчовдош, ўртача, катта ва жуда катта массали сўндиргичлар учун) тузилган бош массанинг бикирлик ва демферлашга боғлиқ силжишлари камайишининг боғлиқлик матрицаси $E_{opt}(f, \gamma_2)$ ни оламиз.

Келтирилган графиклар таҳлил орқали, катта массали сўндиргичлар учун созланишда анча катта миқдорга оғишларга йўл қўйиш мумкинлиги аниқланди. Шунини таъкидлаш лозимки, сўндиргич (оралиқ қурилма) нисбий массасининг ошиши билан юқори самарадорликка зонаси ҳам анча ошади.

$\nu=2$ ҳолат учун эса бикирлик бўйича хатолар $0,06 < f < 0,27$ диапазонида, сўниш бўйича хатолар эса $0 < \gamma_2 < 4,2$ ораликда бўлишига йўл қўйилади. Тебранишлар сўниши бўйича динамик сўндиргичларни созлашда рухсат этилган хатолари сўндиргич массасининг силжиши кўпроқ, асосий конструкциянинг силжишига эса камроқ таъсир кўрсатади.

Бобнинг иккинчи қисмида темир йўл кўприк ва эстакадалари сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш усули баён этилган. Қирғоқ таянч (таянч) ва динамик сўндиргич (оралиқ қурилма) модели таркибига кирадиган уч массали “Таянч–таянч қисм–оралиқ қурилма” тизимининг ҳисобий схемаси келтирилган. Моделнинг марказий қисми таянчлар билан эластик бириктирилган. Таклиф этилаётган схемада (10-расм) қуйидаги белгилар қабул қилинган:



10-расм. “Таянч-таянч қисм-оралиқ қурилма” тизимнинг принципиал ҳисобий схемаси

C_1 – чап қирғоқ таянчининг бикирлиги; C_2 – ўнг қирғоқ таянчининг бикирлиги;
 C_{21}, C_{22} – тегишлича тебранишлар сўндиргичининг бикирликлари;
 m_1 – чап қирғоқ таянчининг массаси;
 m_2 – ўнг қирғоқ таянчининг массаси; M – сўндиргич (оралиқ қурилма) массаси.

Қабул қилинган белгилашларда массаларнинг диагонал матрицаси ва тизим тебранишлари бикирлигининг матрицаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$M = \begin{vmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{vmatrix} \quad (11)$$

$$C = \begin{vmatrix} C_{21} + C_{22} & -C_{21} & -C_{22} \\ -C_{21} & C_1 + C_{21} & 0 \\ -C_{22} & 0 & C_2 + C_{22} \end{vmatrix} \quad (12)$$

Юқорида келтирилган тенгламалардан муаллиф томонидан сейсмоҳимоявий таянч қисмларининг созлашлари f_1 ва f_2 қуйидаги тартибда олинган:

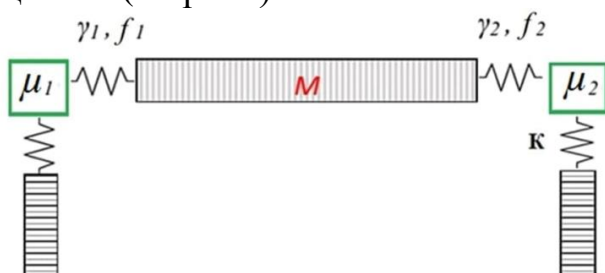
$$f_1 = \sqrt{\frac{C_2(C_1 m_2 - C_2 m_1)}{C_2 \cdot (MC_1 + C_1 m_2 - C_2 m_1)}}; \quad f_2 = \sqrt{\frac{C_2(C_1 m_2 - C_2 m_1)}{C_2 \cdot (MC_1 + C_1 m_2 - C_2 m_1)}} \cdot \chi \quad (13)$$

Кўприкларнинг сейсмик тебранишларини таҳлил қилиб, конструкция ҳар бир элементининг демпферлаш параметрларини ҳисобга олиш лозим бўлади. Демпферлаш билан тебранишлар тенгламалари тизими матрица шаклида қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{H}} + \mathbf{R}\dot{\mathbf{H}} + \mathbf{B}\mathbf{H} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}}_0, \quad (14)$$

бунда \mathbf{B} – тизимнинг ёпишқоқ демпферлаш матрицаси; $\mathbf{M} = [m_1, m_2, \dots, m_n]$ – массанинг диагонал матрицаси; \mathbf{R} – бикирлик матрицаси; $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ – умумлаштирилган координаталар вектори; $\dot{\mathbf{H}} = \{\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots, \dot{h}_n\}$ – умумлаштирилган тезликлар вектори; $\ddot{\mathbf{Y}}_0$ – кинематик кўзғалишлар вектори, $\ddot{\mathbf{Y}}_0 = V_p \cdot \ddot{y}_0$; \ddot{y}_0 – асос тезланиши; $V_p = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ – умумлаштирилган координаталар йўналишларига таъсирлар проекцияларининг вектори.

Демпферлашни ҳисобга олган ҳолда уч массали “Таянч–таянч қисм-оралиқ қурилма” тизимининг ҳисобий схемаси қуйидаги кўринишда кўриб чиқилган (11-расм):



11-расм. Демпферлашни ҳисобга олиб уч массали “таянч-таянч қисм-оралиқ қурилма” тизимининг ҳисобий схемаси

Кўриб чиқилаётган тизим учун гистерезисли демпферлаш матрицаси қуйидагича ифодаланади:

$$\mathbf{B}_c = \begin{pmatrix} f_1^2 \cdot \gamma_1 + f_2^2 \cdot \gamma_2 & -f_1^2 \cdot \gamma_1 & -f_2^2 \cdot \gamma_2 \\ -f_1^2 \cdot \gamma_1 & \mu_1 \cdot \gamma_1 + f_1^2 \cdot \gamma_1 & 0 \\ -f_2^2 \cdot \gamma_2 & 0 & \kappa^2 \cdot \mu_2 \cdot \gamma_2 + f_2^2 \cdot \gamma_2 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

бунда f_1^2 ва f_2^2 – тегишлича сўндиргичнинг ноэластик қаршилик коэффициентлари γ_1 ва γ_2 билан сўндиргич тизимининг созланиши;

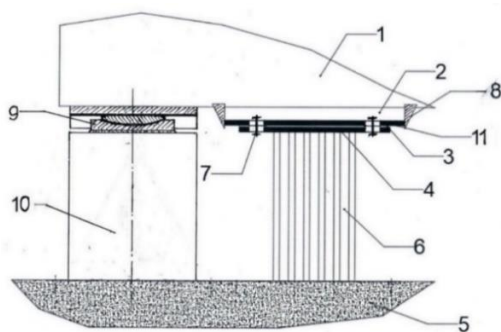
κ – бикирлик бўйича конструкциянинг асимметрия кўрсаткичи.

Сонли экспериментлар натижалари бўйича сейсмик юклар таъсири остида тебранишларнинг динамик сўндиргичлари вазифасида оралиқ қурилма хизмат қилиши ўрнатилди ва у ҳар хил ҳолатлар учун эластик бирикмаларнинг танланган созланишлари ҳисобига таянчлар билан тескари фазада тебранади, ҳамда уларга таъсир этаётган сейсмик юкларни камайтиради. Ўз навбатида кўприк иншоотларининг зилзилабардош қурилишида таянчлар тебранишларининг сўндириш масалаларига бундай

ёндашув уларнинг зилзилабардошлигини бир мунча оширади, ҳамда темир йўл тўсинли кўприклари таянчларига сейсмик юкларни бир неча мартаба камайтиради.

“Темир йўл кўприklarини сейсмик таъсирларга ҳисоблашларнинг ишлаб чиқилган усуллариини техник жиҳатдан жорий этиш” номли тўртинчи бобда бажарилган. Муаллиф томонидан кўприklarни ЛЗ ва МХЗ да ҳисоблашнинг ўзига хос хусусиятлари баён этилган. Ишлаб чиқилган усул асосида кўприklar таянч қисмлари сейсмоҳимоявий конструктив элементларининг оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаш бўйича амалий тавсиялар берилган.

Мамлакатимизда темир йўл кўприklarининг таянчлари сейсмик юкларни кўтара олиши учун анча бақувват ва оғир қилиб лойиҳаланади, бу, ўз навбатида, юкларни оширади, ва, бунинг натижасида эса, сейсмоҳимоялашнинг махсус усуллариини қўллаш эҳтиёжини келтириб чиқаради. Бунга яққол мисол сифатида “Стройкомплекс-5” томонидан яратилган сейсмоизоляция тизимига эга бўлган Сочи-Адлер (РФ) линиясидаги кўприklar хизмат қилиши мумкин. Бу ерда айнан муаллиф томонидан ишлаб чиқилган сейсмоизоляциялаш усули кўриб чиқилган. Ушбу сейсмоизоляциялаш тизимининг принципиал схемаси 12-расмда кўрсатилган.



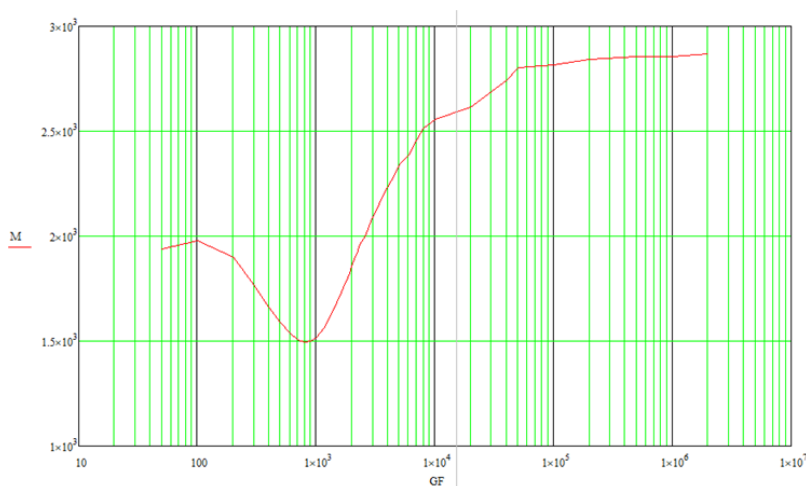
12-расм. Сейсмоизоляция тизимининг принципиал схемаси

Оралик қурилма (1) билан таянч (5) орасида подферменник (10) орқали қўзғалувчан шарсимон таянч қисм (9) ўрнатилади. Таянч элемент (9) га параллел ҳолатда фрикцион қоплама (ФҚБ) орқали бириктирилган сейсмоизоляцияловчи стерженли амортизатор (6) ўрнатилади. Бунда стерженли амортизатор билан оралик қурилма орасида тирқиш (2) қолдирилади.

Бу унга оралик қурилмадан тушадиган вертикал юкни узатилишининг олдини олади ва қўзғалувчан таянч қисми шу юкни бутунлай ўзига қабул қилади.

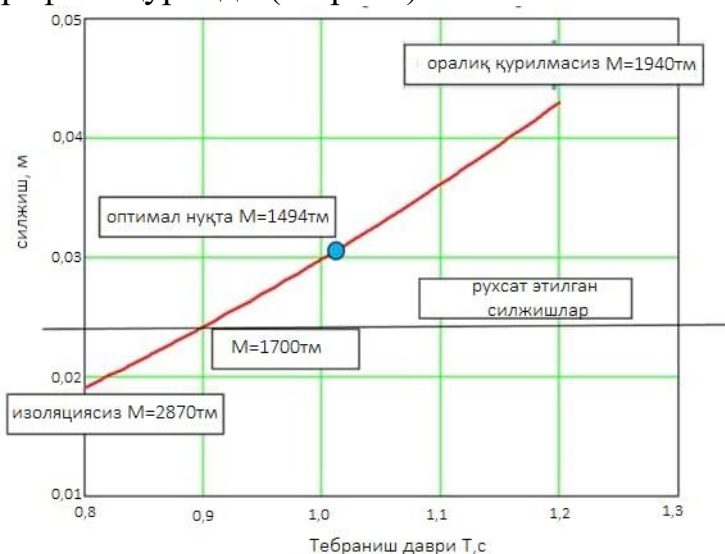
Ўзбекистон шароитлари учун ҳисобий сейсмиклиги 9 баллга тенг ҳудудда жойлашадиган 5 ораликли, оддий тўсинли узлукли тизимли темир йўл йўлўтказгичини сейсмоҳимоялашнинг техник жиҳатдан қўллаш масаласи кўриб чиқилди. У табиий заминда жойлашган баланд ва оғир таянчларга эга. Таянч қисмлари анъанавий усулда жойлаштириладиган бўлса, ҳар бир таянчга анча катта горизонтал юк тушади.

Қуйида темир йўл йўлўтказгичини ЛЗ ва МХЗ да стерженли амортизаторларни қўллаган ҳолда ҳисоблаш натижалари келтирилган. Сейсмоизоляция параметрларини танлаш таянч қисмининг силжишга бикирлигини вариациялаш йўли билан амалга оширилди. Демпферлашни ҳисобга олиб, чизиқли-спектрал усулга мувофиқ ҳисобланган таянч товони бўйича моментнинг боғлиқлиги 13-расмда кўрсатилган.



13-расм. Таянч товони бўйича моментнинг сейсмоизоляциянинг силжишга бикирлигига боғлиқлиги

Тахминан $GF=1000$ Т бўлганда самарага эришилади. Бунда таянч товони бўйича момент 1494 Тм га қадар камаяди. Бу сейсмоизоляцияни танлаш жараёнида кўприк таянчлари учун ТДС сифатида оралик қурилмадан фойдаланишга имкон яратди, натижада сейсмик юкларни оптимал параметрлар билан *48% га камайтиришга* олиб келди. Қиёслаш учун, масалан, оралик қурилмасисиз таянч товони бўйича момент $M=1940$ Тм гача етади, таянч қисми бикир бўлганида эса $M=2870$ Тм тенг. Бундан ташқари, силжишларнинг таянчлар тебранишларининг асосий тони даврига боғлиқлик графиги қурилди (14-расм).



14-расм. Оралик қурилма силжиши таянч тебранишларининг асосий тони даврига боғлиқлиги

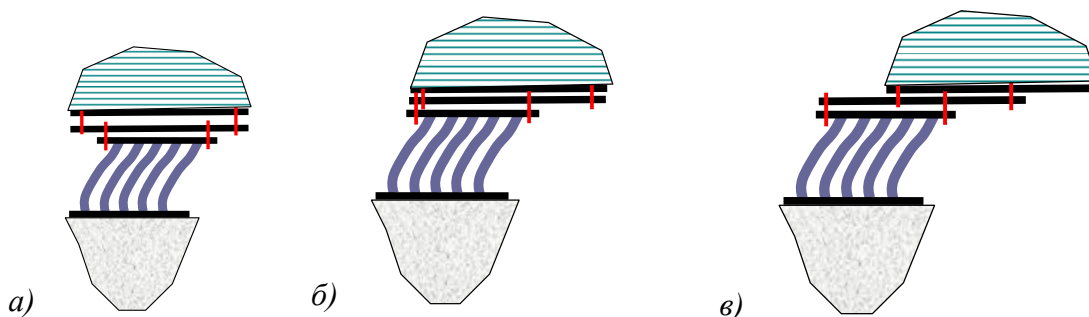
Афсуски, қўзғалувчан таянч қисмида жойлашган оралик қурилмаларнинг силжишлари кўпинча (1) формулага мувофиқ белгиланган меъёрий қийматлардан ортиб кетаяпти. Тадқиқотчилар томонидан авваллари бажарилган ҳисоблашлар рухсат этилган силжишлар миқдорини бемалол 2 баробарга ошириш мумкинлигини кўрсатади. Аммо, мазкур ҳолатда столчанинг бикирлигини нооптимал деб қабул қилган ҳолда оширилса ва шу билан бирга, оралик қурилмали таянчга тушадиган юклар миқдорини худди шундай миқдорга камайтирилиши таъминланса, (1) шарт бажарилади.

Кейин эса сейсмоизоляцияланган эластик столча параметрларини иккита вариантда танланди. Биринчи вариантда вертикал юк қўзғалувчан таянч қисми орқали таянчга узатилади, иккинчи вариантда эса вертикал юк

бевосита столчага узатилади. Столча стерженлари таянчга бириктирилган ҳамда оралик қурилмага шарнирлар ёрдамида тираладиган эгиловчан тўсин сифатида ҳисобланган. Изоляцияловчи столчагаларнинг иккала вариантдан биринчиси маъқулроқ, чунки бу ҳолда ҳисобий миқдордан ортиқ юкларнинг таъсири остида столчанинг бузилиб кетиши оралик қурилмани қулашига олиб келмайди. Қўлга киритилган натижалар асосида Ўзбекистон Республикаси шароитларида темир йўл линияларидаги кўприкларни сейсмоҳимоялашга оид амалий тавсиялар ишлаб чиқилди. Бунинг учун **сейсмоҳимоялашнинг учта даражаси** таклиф этилди (15-расм).

Ҳимоянинг биринчи даражасида сейсмоҳимоянинг асосий элементи S бикирликка эга стерженли пружина ҳисобланади. Стерженли пружинанинг эгиловчанлиги ҳаракат таркибининг тормозлаш юки $T_{\text{торм}}$ таъсири остида чегаравий силжиш миқдори U_{lim} ни таъминлаш кафолати билан белгиланади.

Сейсмоҳимоянинг иккинчи ва учинчи даражаларида болтлар учун мўлжалланган овалсимон тешикларга эга болт бирикмаси кўринишида фрикцион-қўзғалувчан бирикмалар орқали амалга оширилади. Ҳимоя даражаларининг иккинчи ва учинчилари орасидаги фарқ болтлар ишқаланиш кучининг қийматидадир.



15-расм. Ҳимоя даражаларининг ҳолати: а) биринчи даража; б) иккинчи даража; в) учинчи даража

Таклиф этилган сейсмоизоляция қурилмаларини қўллаш ҳисобига нафақат кўприкнинг эксплуатация жараёнида зилзилабардошлиги ва ишончлилигини кафолатлаш, балки асосий қурилиш материаллари сарфини 1,2 мартага камайтириш, шу билан бирга қурилиш нарҳини қисқартириш имкониятини берди.

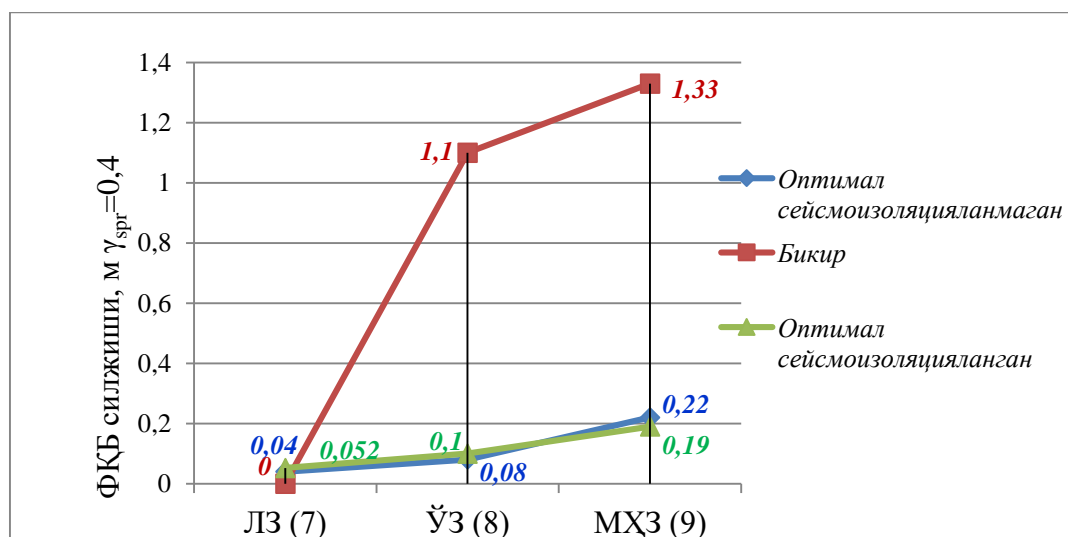
Диссертациянинг “**Ҳар хил даражадаги сейсмик таъсирлар остида сейсмоизоляцияланган темир йўл кўприклар ҳолатининг ўзига хос хусусиятлари ва сейсмоҳимоявий таянч қисмларни қўллашнинг иқтисодий самарадорлиги**” деб номланган бешинчи бобида лойиҳавий зилзилалар таъсирида кўприк таянчларини бўйлама йўналиш бўйича ҳисоблаш амалга оширилди, ҳар хил таъсирларда реал ва синтетик акселерограммалардан фойдаланиб кўприк конструкцияларини нозиклиги ҳисоблаш натижалари келтирилган.

Оптимал сейсмоизоляцияланган, нооптимал сейсмоизоляцияланган ва сейсмоизоляцияланмаган таянч қисмларга эга йўл ўтказгични лойиҳавий (ЛЗ), ўртача (ЎЗ) ва максимал (МХЗ) зилзилаларнинг таъсирига

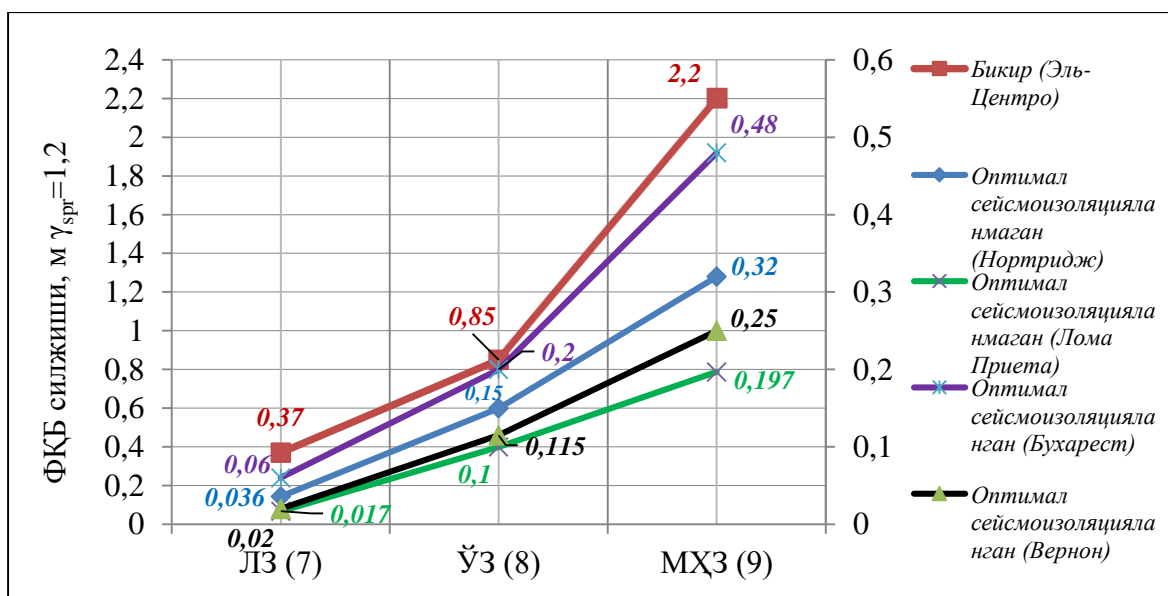
зилзилабардошлигини баҳолаш учун DRACON дастурий таъминлов ёрдамида бажарилган ночизиқли ҳисоблаш натижалари келтирилган. Ҳар бир акселерограмма учун дастурий таъминловда тебранишларни динамик сўндиргичларидан фойдаланган ҳолда пружиналардаги сўниш γ_{spring} нинг 0,4 ва 1,2 га тенг қийматларида ҳисоблашлар бажарилди. 16-расмда ФҚБ силжишининг ЛЗ, ЎЗ ва МХЗ ларга боғлиқлик графиги келтирилган.

Кўриниб турибдики, МХЗ да бикир таянганлик ҳолатида ФҚБ нинг силжиши 1,33 м гача боради, оптимал изоляцияланганда эса 0,19 м бўлади, яъни бикир таяниш ҳолатидагига нисбатан 7 баробар кичик бўлади.

Бундан ташқари, Хитой ва Россия мутахассисларининг маълумотлар базасидан олинган зилзилаларнинг энг хавфли акселерограммалари бўйича ҳаммага маълум реал ёзма манбалардан фойдаланиб ҳисоблаш ишлари бажарилди. Ҳисоблашларни бажаришда эластик таянч қисмига параллел ўрнатиладиган демпферлаш қурилмасининг мавжудлиги ҳам эътиборга олинди. Ҳисоблаш натижалари 17-расмда келтирилган.

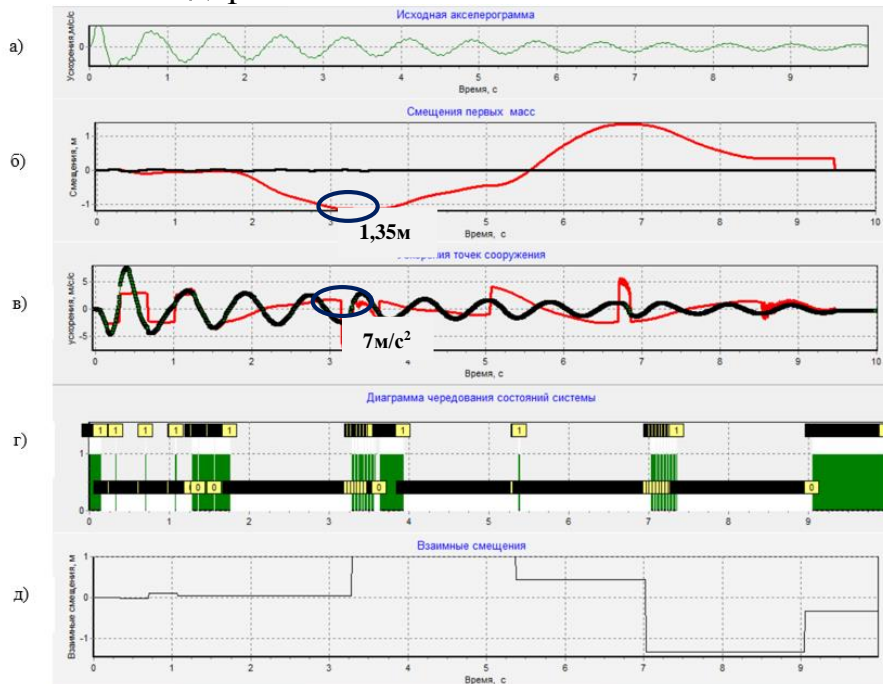


16-расм. ФҚБ лар силжишининг сейсмик таъсирларга боғлиқлиги

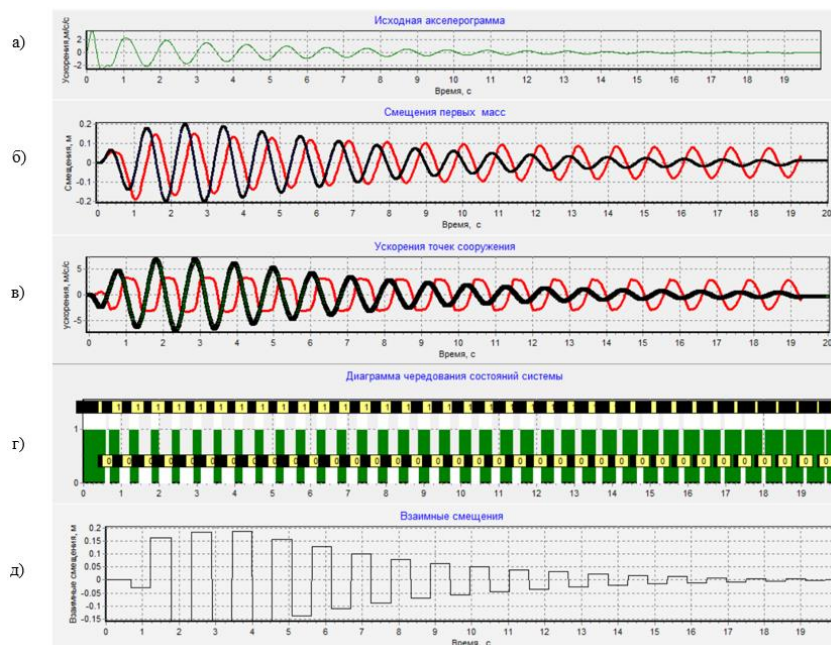


17-расм. ФҚБ лар силжишининг сейсмик таъсирларга боғлиқлиги

17-расмдан маълумки, бажарилган ҳисоблаш натижалари кучли таъсирлар остида ФҚБ даги силжишларни камайтириш учун ТДС лар самарадорлигини кафолатлайди. Икки қатламли ФҚБ нинг рухсат этиладиган чегаравий силжиш миқдори 22см тенг.



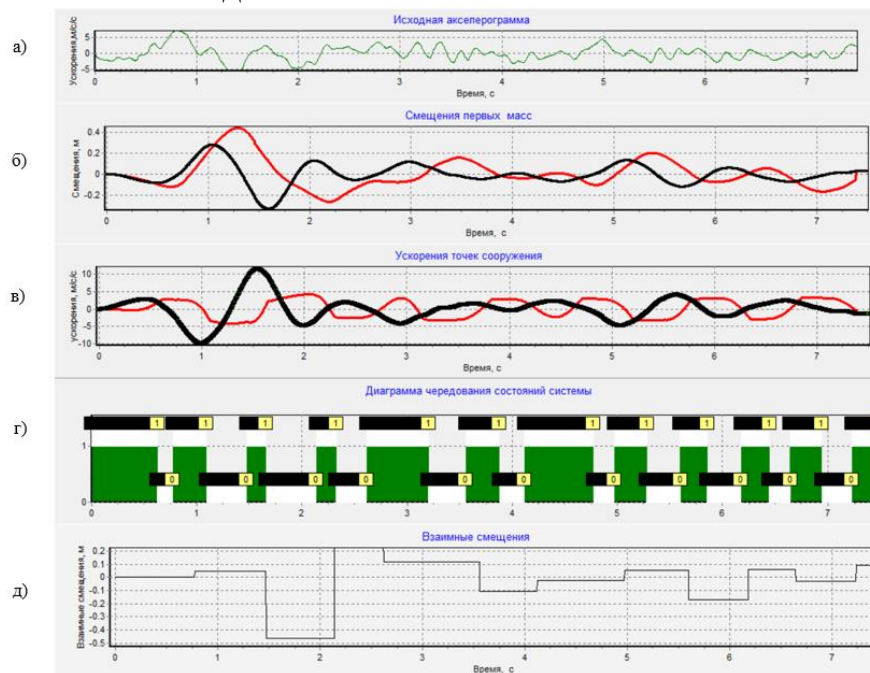
18-расм. Сейсмоизоляциясиз МХЗ нинг таъсирига синтетик акселерограмма бўйича ҳисоблаш натижалари: а) бошланғич акселерограмма; б) оралик қурилма (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) силжиши; в) оралик қурилманинг (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) тезланишлари; г) тизим ҳолатларининг алмашинув диаграммаси; д) ФҚБ даги силжиш



19-расм. Оптимал сейсмоизоляцияли МХЗ нинг таъсирига синтетик акселерограмма бўйича ҳисоблаш натижалари: а) бошланғич акселерограмма; б) оралик қурилма (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) силжиши; в) оралик қурилманинг (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) тезланишлари; г) тизим ҳолатларининг алмашинув диаграммаси; д) ФҚБ даги силжиш

Сейсмоизоляция бўлмаган ҳолларда, ЎЗ ларнинг ўзидаёқ оралик қурилма таянчлардан тушиб кетади. Агар оралик қурилмани худди сейсмоизоляцияли тизимдаги каби (фақат сейсмоизоляцияловчи элементсиз) таянчга бириктирилса, ЎЗ ларда силжиш 85 см дан ошиб кетади. Бунда оралик қурилмани таянчга қўшимча тарзда бириктириш ва стопорларни ўрнатиш керак бўлади, бу эса, ўз навбатида, таянчларни кучайтиришни талаб этади. Айтилганлар 18 ва 19-расмларда кўрсатилган.

20-расмда Бухарестда реал содир бўлган зилзиланинг таъсирига оптимал сейсмоизоляцияли тизимни ҳисоблаш хронограммаси келтирилган. Бунда сурилишлар 42 см гача етди.



20-расм. Оптимал сейсмоизоляцияли МХЗ нинг таъсирига Бухарест акселерограммаси бўйича ҳисоблаш натижалари: а) бошланғич акселерограмма; б) оралик қурилма (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) силжиши; в) оралик қурилманинг (қизил рангда) ва таянч тепасининг (қора рангда) тезланишлари ; г) тизим ҳолатларининг алмашинув диаграммаси; д) ФҚБ даги силжиш

Тезланиш хронограммасида, тебранишларнинг анчагина нозиклигига қарамасдан, ТДС учун хос бўлган таянч ва оралик қурилманинг тебранишларига қарши фазалиги аниқ кўзга ташланади. Акселерограммалар бўйича ҳисоблашлар *кўприк сейсмоизоляциясига оид қабул қилинган техник ечимларнинг самарадорлигини* кўрсатди.

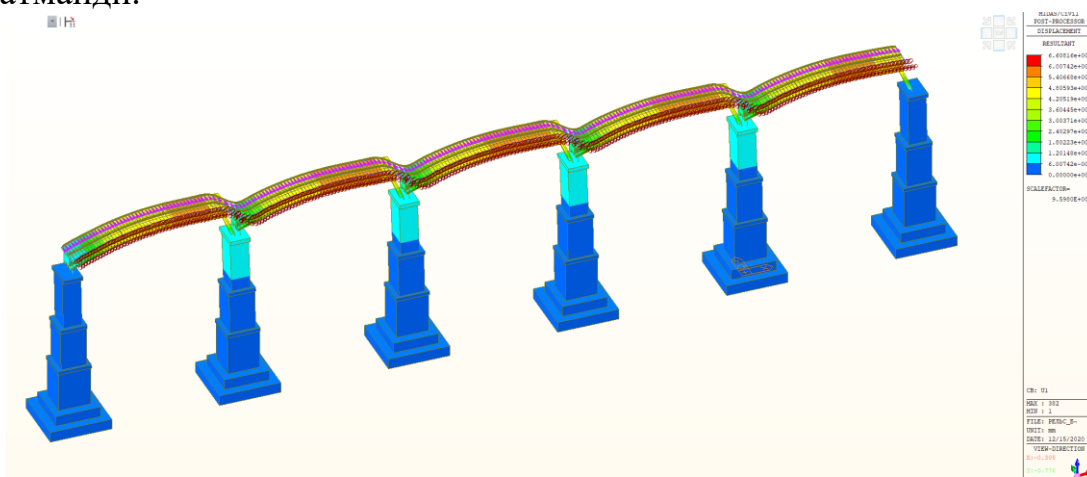
Бундан ташқари мазкур ишда эксплуатацион юкларда MIDAS CIVIL дастурий комплексдан фойдаланган ҳолда кўприк полотноси элементларининг ишлаш қобилияти баҳолаб берилди. Айтилган ҳисоблаш ишларининг вазифаси узлукли тизимга мансуб тўсинли темир йўл йўлтуказгичининг рельс изларининг кучланиш-деформацияланиш ҳолатини аниқлашдан иборат. Ҳисоблашлар чекли элементлар усули (ЧЭУ) бўйича дастурий комплексдан фойдаланиб амалга оширилди.

Рельс излари КДХ йўл ўтказгичининг эксплуатация жараёнида С14

ҳаракатланувчи вақтинчалик вертикал юк ва ҳаракат составидан тушадиган зарбалардан ҳосил бўлувчи горизонтал кўндаланг юкдан кўриб чиқилган. Рельс плетида максимал кучланиш ва сурилишларни аниқлаш учун, ҳаракат таркиби зарбаларидан вужудга келувчи горизонтал кўндаланг юк билан, ҳам якка оралик, ҳам кўшни ораликларнинг қия симметрик юкланиш комбинациялари кўриб чиқилди.

Натижалар рельсларнинг максимал силжиши 6,6 мм ташкил этишини кўрсатди. СП35.13330.2011нинг 5,47 п. га мувофиқ максимал рухсат этилган горизонтал силжишлар $0,5\sqrt{l} = 0,5\sqrt{25} = 25\text{мм}$ ни ташкил этади. Шундай қилиб, релсларни горизонтал силжишлари қиймати рухсат этилгандан кам.

Ҳаракат таркибидан рельсларга таъсир этувчи вертикал юкдан ҳосил бўлувчи максимал кучланишлар – 1530 кг/см^2 , ҳаракат таркиби зарбидан ҳосил бўлувчи кучланишлар – 480 кг/см^2 , вертикал вақтинча С14 юкларни ҳамда ҳаракат таркибининг горизонтал кўндаланг зарбаларидан ҳосил бўлувчи кучланишларнинг биргаликда таъсири (юкланишларни уйғунлик коэффициентини ҳисобга олганда) 1560 кг/см^2 ни ташкил этади. Шундай қилиб, ҳаракат таркиби зарбалари рельсларнинг КДХ га катта таъсир кўрсатмайди.



21-расм. Ҳамма ораликларни ҳаракат таркибининг бир томонли зарбаларидан ҳосил бўлган меъёрий юк билан юкланишида содир бўладиган горизонтал силжишлар, м. Энг катта силжишлар 6,6 ммга тенг

Бундан ташқари, сейсмоҳимоявий таянч қисмларини қўллашда кўприк конструкциясининг *тахминий иқтисодий самарадорлиги* тақдим этилган. Сейсмоҳимоя тизимини қўллаш натижасида таянч ҳажми 48м^3 темирбетонга камаяди. Таянч устунда арматура ҳажми 15 кг/м^3 га камайтирилди, бу умумий ҳисобда 5,6 т арматурани тежашга имкон яратади. Шунда ишлаб чиқилган усуллардан олинган иқтисодий самара жами 568,176 млн сўмни ташкил этди. Агар оддий таянчда оралик қурилманинг қулаши, оғиши ёки бузилиш эҳтимоли бўлса, таклиф этилаётган ечимда шикастлар оралик қурилмани таянчга нисбатан ФҚБ листлари устида силжишидан иборат бўлади. Нархи бўйича бундай зарарларни, албатта, ўзаро қиёслаб бўлмайди. Энг асосийси, таклиф этилаётган ечим зилзиладан кейинги таъмирлаш ишларини анчага арзонлаштиради.

ХУЛОСА

“Ўзбекистон Республикаси шароитида кўп поғонали лойиҳалашни ҳисобга олган ҳолда темир йўл кўприк ва эстакадаларининг сейсмик ҳимоявий таянч қисмлари параметрларини танлаш ва самарадорлигини асослаш” мавзусидаги докторлик (DSc) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида куйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Кўприкларнинг сейсмик ҳимояси соҳасидаги дунё бўйича олиб борилган изланишлар сейсмоҳимоявий қурилмалар асосан автомобиль йўлларида қўлланаётганлигини кўрсатмоқда. Темир йўл кўприкларида сейсмоизоляцияни кенгроқ қўлланилиши учун сейсмоҳимоявий қурилмаларнинг параметрларини танлаб олиш талаб этилади. Сейсмоизоляцияловчи қурилмалар ишлашининг ночизиқли характери кўп поғонали лойиҳалаш (КПЛ) тамойилларини ҳисобга олган ҳолда сейсмик таъсирларга ҳисоблашнинг тегишли усулларини танлашни талаб этади. Шунинг учун, темир йўл кўприкларининг таянч қисмларининг оптимал параметрларини танлаш ва ҳисоблаш масалалари ҳозир кунда энг зарур масалалардан ҳисобланади.

2. Транспорт иншоотларини зилзилабардош қурилиши бўйича амалдаги меъёрий ҳужжатларда иншоотларнинг КПЛ ҳисобга олинган зилзилабардошлиги масалалари деярли ёритилмаган. Афсуски, транспорт қурилиши соҳасида мамлакатимизнинг лойиҳа институтлари иншоотларни зилзилабардошликка ҳисоблашларда реал зилзилаларнинг ёзилган акселерограммаларидан фойдаланмай, Ўзбекистон ҳудудидаги ситуацион сейсмиклик маълумотлар бўлмагани сабабли фақат чизиқли-спектрал ҳисоблашлар билан чекланиб қоладилар. Шунини эътиборга олиб, муаллиф МДХ давлатлари ҳудудлари учун тузилган сейсмик силкиниш хариталари асосида Ўзбекистон Республикаси ҳудудининг сейсмик жиҳатдан хавфлилигини баҳолаш усулини таклиф этди.

3. Сўндирувчи масса (оралиқ қурилма) бир неча бор (2 ва ундан ортиқ) сейсмик таъсирга учраётган конструкция (таянч) лар массасидан ошиб кетган ҳолатда катта сўндирувчи массалар учун тебранишлар динамик сўндиргичларининг сошлаш аниқлиги таъсири аниқланди.

4. Янги илмий ечимга мувофиқ темир йўл кўприк ва эстакадалари таянчлари учун ТДС сифатида оралиқ қурилма массасидан фойдаланилади. КПЛ темир йўл кўприклари таянчларининг тебранишларини сўндириш учун, бикирлик ва демпферлаш бўйича оптимал қурилиш-технологик параметрларини танлаб олишга имкон яратди.

5. “Тўсинли кўприклар тебранишларининг динамик сўндиргичлари самарадорлигини автоматлаштирилган ҳисоблаш усули” дастурини лойиҳалаш амалиётига жорий этиш натижасида, сейсмик тебраниш вақтида оралиқ қурилма таянчлар учун ТДС вазифасини бажаради ва таянчларга нисбатан қарши фазада тебранади, ҳамда шу билан уларга таъсир этадиган сейсмик юкларни 48% га камайтиради (сейсмоҳимоядан фойдаланган ҳолларда) ва ўз навбатида темир йўл кўпригининг зилзилабардошлигини

оширади. Ҳисоблашларда “Тўсинли кўприкларнинг сейсмик жихатдан ҳимояланган таянч қисмларининг оптимал параметрларини танлаш усулини ишлаб чиқиш” дастурий пакетидан фойдаланиш кўприкларнинг сейсмоҳимоявий қурилмаларини лойиҳалаш масаласини анча енгиллаштиради.

6. Ишлаб чиқилган усул асосида сейсмоизоляциянинг параметрларини танлашга доир амалий тавсиялар берилди. Бунда кўзғалувчан (сейсмоизоляцияловчи) таянч қисмлардан фойдаланиш ҳисобига таянчларга тушадиган сейсмик юкларни камайтириш мумкин. Кўприкнинг сейсмоҳимоясида таянч қисмлари бикирлигини созлаш икки йўл билан амалга оширилиши мумкин:

– оралиқ қурилма ёрдамида *динамик сейсмосўндириш режимида* таянчдаги моментлар оралиқ қурилмалар бикир маҳкамланганига (2870 Тм) қараганда 2 баробар кичик (1494 Тм), ҳамда оралиқ қурилмасиз таянчдагига нисбатан 1,3 баробар кичик (1940 Тм) бўлиб қолади; бундай ҳолатларда тормоз юкининг таъсир этиши натижасида оралиқ қурилманинг силжиши белгиланган меъёрдан 25% ортиқ бўлади;

– *сейсмоизоляция режимида* 2 та қўллаш мумкин бўлган созлашга ажратиш мумкин: оралиқ қурилмали таянч товони бўйича момент худди оралиқ қурилмасиз таянчдаги каби бўладиган чегаравий силжиш ва созлашларни таъминовчи созлашга. Биринчи созлашда таянчдаги моментлар оралиқ қурилмалар бикир маҳкамланганига қараганда 1,69 баробар кичик ва оралиқ қурилмасиз таянчдагига нисбатан 1,14 баробар кичик бўлиб қолади; иккинчи созлашда таянчдаги момент 1,48 га камайиб кетади.

7. Акселерограммалар бўйича бажарилган ҳисоблашлар кўприк сейсмоизоляцияси бўйича қабул қилинган техник ечимларнинг самарали эканлигини кўрсатмоқда. Қабул қилинган ечимлар иншоотлардаги шикастланишларнинг кўпайиб бориши бўйича ижобий режасини таъминлаб беради, чунки барча ҳисобий зилзилаларда кўприкнинг таянч қисмлари ҳамда оралиқ қурилмалари шикастланмайди, фақат овалсимон бирикмаларда сурилишлар содир бўлиши мумкин. Бунақа сурилишлар 30-50 йилда бир марта қайтариладиган 6 балли зилзилалар таъсирида пайдо бўла бошлаши ва 500 йилда бир марта қайтариладиган 8 балли зилзилаларда ҳисобий 8 см гача етиши мумкин. 22 см гача бўлган овалсимон тешикдаги яна бир резерв кўприкнинг 5000 йилда бир марта қайтариладиган зилзилалар таъсирига чидамлилигини таъминлаб бериши мумкин.

8. Юқорида келтирилган маълумотлардан келиб чиққан ҳолда амалга оширилган ҳисоблаш ишлари натижалари ТДС юкларини камайтириш бўйича самарадорлигини кафолатлайди деб айтиш мумкин. Бунда сўниш 1,2 га тенг бўлганида, йўл ўтказгич оралиқ қурилмаси билан таянч тепасининг силжишлари энг кичик бўлади, ҳамда ФҚБ силжишлари сўниш 0,4 га бўлганга нисбатан камаяди. Аммо, шуни қайд этиш лозимки, ЛЗ ларда ҳам ТДС оралиқ қурилмани силжишлардан сақлай олмайди ва ФҚБ даги сурилишлар 1-4 см гача боради. Танлаб олинган акселерограммаларда МХЗ жараёнида сурилишлар энг катта қиймат 22 см га етади (Nortridge

акселерограммаси бундан мустасно) ва сўниш миқдори ошиб борган сари сурилиш 15 см гача етиши мумкин.

9. Эксплуатацион юклар таъсири остида кўприк полотноси элементларининг ишга лаёқатлилигини баҳолаш натижалари шуни кўрсатдики, рельсларнинг максимал горизонтал силжиши 6,6 ммга тенг, бу эса СП35.13330.2011 нинг 5.47 пунктига мувофиқ рухсат этилган қийматдан $0.5\sqrt{l}=0.5\sqrt{25} = 25\text{мм}$ га кичик бўлади. Ҳаракат таркибининг вертикал юки таъсири остида вужудга келадиган рельслардаги максимал кучланишлар 1530 кг/см^2 , ҳаракат таркиби зарбалари таъсиридан эса 480 кг/см^2 га тенг, вертикал вақтинча юклар С14 билан ҳаракат составининг юклар бирикмаси коэффициентлари ҳисобга олинган горизонтал кўндаланг зарбаларнинг биргаликдаги таъсиридан эса СП35.13330.2011 нинг 6.1-пунктига мувофиқ 1560 кг/см^2 ташкил этади. Шундай қилиб, ҳаракат таркиби зарбалари рельсларнинг КДХ га унча катта таъсир кўрсатмайди.

10. Сейсмоҳимоялаш тизимини қўллаш битта таянч 48м^3 ҳажмида темирбетонни камроқ сарфлашга, таянч устунининг арматуралаш фоизи 15 кг/м^3 камайтиришга ва бунинг натижасида битта оралик таянчда нархи 142,044 млн сўмга тенг бўлган 5,6 т арматурани тежашга имкон яратилди. Оралик қурилмалар сони 5 та ва тегишлича оралик таянчлар сони 4 та бўлса, тежалган маблағ ҳажми 568,176 млн сўмни ташкил этади. Муаллиф таклиф этган техник ечим содир бўлиши мумкин бўлган ва қутиладиган зилзилалардан кейинги таъмирлов ишларини анча арзонлаштиради. Зилзила таъсири натижасида техник носозликлар сабабли темир йўл линиясини 24 соатга ёпилиши билан боғлиқ кўриладиган зарар таъмирлаш ишларини ҳисобга олмаган ҳолатда тахминий ҳисоб-китобларга кўра 564 987 792 сўмни ташкил этади.

11. Муаллиф томонидан ишлаб чиқилган усуллар бўйича бажарилган темир йўл кўприк ва эстакадалари сейсмоҳимоясининг уч даражали сейсмоҳимояли ҳисоблаш мисоллари ва тавсиялар шуни кўрсатдики, сейсмоизоляция қурилмаларини қўллаш ҳисобига асосий қурилиш материаллари сарфини 1,2 мартага камайтириш ва, тегишлича ҳисобий сейсмиклиги 9 балл бўлган сейсмоҳавфли ҳудудларда қурилиш нархини ҳам арзонлаштириш имкони мавжуд.

Муаллиф диссертация мавзусини танлаш, қимматли маслаҳатлари ҳамда тадқиқотларни амалга ошириш, натижаларни муҳокама қилиш ва жорий этишда кўрсатган ёрдамлари учун илмий маслаҳатчиси ЎЗР ФА академиги, т.ф.д., профессор Т. Рашидовга, бундан ташқари, инсон ҳаёти хавфсизлигини таъминлаш тизимининг темир йўл кўприklarининг зилзилабардошлигини баҳолаш бўйича натижаларни олишни тезлаштиришга имкон берувчи усуллари ва универсал амалий дастурларни ишлаб чиқиш масалаларида берган маслаҳатлари учун т.ф.д., профессор А.М. Уздин ва т.ф.н., доцент И.О. Кузнецоваларга миннатдорчилигини изҳор этишни ўз бурчи деб ҳисоблайди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.18/30.12.2019.Т.09.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ШЕРМУХАМЕДОВ УЛУГБЕК ЗАБИХУЛЛАЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ
СЕЙСМОЗАЩИТНЫХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
МОСТОВ И ЭСТАКАД С УЧЕТОМ МНОГОУРОВНЕВОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**05.09.02 - Основания, фундаменты и подземные сооружения.
Мосты и транспортные тоннели. Дороги, метрополитены**

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора (DSc) технических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № DSc.18/30.12.2019.T.09.01.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tstu.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyouet» (www.ziyouet.uz).

Научный консультант:

Рашидов Турсунбай

доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты:

Ишанходжаев Абдурахман Асимович

доктор технических наук, профессор

Юлдашев Шарафитдин Сайфитдинович

доктор технических наук, профессор

Смирнов Владимир Николаевич

доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

Ташкентский архитектурно-строительный институт

Защита диссертации состоится «11» сентября 2021 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.18/30.12.2019.T.09.01 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г.Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел./факс: (99871) 299-00-01, e-mail: rektorat@tstu, tashiit@exat.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрирована за № 032). Адрес: 100167, г.Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01.

Автореферат диссертации разослан «24» августа 2021 года.
(реестр Протокола рассылки № 3 от «2» августа 2021 года).



А.А.Рискулов

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

Р.М. Худайкулов

Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, PhD

И.С. Содиков

Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире, в частности во Франции, Германии, Испании, Италии, Англии, Венгрии, Швеции, России, Японии, Корее, Китае и других развитых странах особое внимание уделяется развитию сейсмобезопасности и сейсмостойкости транспортных сооружений на железных дорогах. Наряду с этим одним из важных вопросов является разработка методов многоуровневого проектирования, основанного на антисейсмическом усилении мостов с применением сейсмоизоляции и сейсмозащиты, совершенствование методов применения динамических гасителей колебаний опор железнодорожных мостов и эстакад. В этом отношении большое внимание уделяется проектированию и строительству железнодорожных мостов в сейсмических районах каждой развитой страны, а также обеспечению безопасного движения поездов в развивающихся городах по всему миру.

В мире на сегодняшний день особое внимание уделяется наиболее глубокому исследованию проблем применения методов многоуровневого проектирования на мостах и эстакадах железнодорожного транспорта. В этом отношении совершенствование способов сейсмоизоляции при рассмотрении взаимодействующих элементов железнодорожных мостов в качестве концептуального научного подхода единой системы «опора – пролетное строение – верхнее строение пути», создание специальных методов сейсмозащиты железнодорожных мостов, разработка методов расчета сейсмозащитных устройств для оценки сейсмостойкости транспортных сооружений, обоснование возможности применения сейсмоизоляции и разработка методов подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования считается одним из необходимых основных задач теоретических и практических исследований.

За годы независимости в процессе строительства железнодорожных транспортных сооружений в сейсмических районах Республики Узбекистан осуществляются широкомасштабные мероприятия, направленные на обеспечение сейсмостойкости мостов и эстакад в экстремальных условиях сильного землетрясения. В стратегии Действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи, в том числе “..дальнейшее строительство и реконструкция дорожной инфраструктуры..”¹. При выполнении данной задачи важное значение имеет разработка методики расчета мостов с учетом генерации сейсмических воздействий на основе данных, связанных с сейсмической опасностью территорий Республики Узбекистан, обоснование эффективности и подбор оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

проектирования, выявление поведения сейсмоизолированных железнодорожных мостов при воздействии сейсмических сил различного уровня, совершенствование методов расчета сейсмостойкости мостов и эстакад при сейсмических воздействиях в виде реальных и синтетических записей землетрясений.

Данное диссертационное исследование в определенной степени послужит выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-4794 от 30 июля 2020 года «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», Постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-3309 от 4 октября 2017 года «Об усовершенствовании системы организации строительства и эксплуатации автодорожных мостов, путепроводов и других искусственных сооружений», №ПП-3874 от 19 июля 2018 года «О дополнительных мерах по ускорению реализации инвестиционных и инфраструктурных проектов в 2018-2019 годах», а также в других нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан XIV – «Сейсмология, сейсmobезопасность зданий, сооружений и строительство».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². Научно-исследовательские работы по решению проблем сейсмостойкости мостов, путепроводов и эстакад проводятся в следующих ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях: Department of Civil and Environmental Engineering University of California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, The Earthquake Engineering Research Institute (США), Technical University of Berlin, Technische Universität Dresden (Германия), Universidad Politécnica de Madrid (Испания), University of Liverpool (Великобритания), University of Patras (Греция), Transportation Technology Center, Ottawa-Carleton Bridge Research Institute (Канада), Kyoto university, Seismic Resistance Experiment Center (Япония), National Center for Research on Earthquake Engineering (Китай), Российский государственный университет путей сообщения, Петербургский государственный университет путей сообщения (Российская Федерация), Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Ташкентский государственный транспортный университет (Узбекистан).

В результате исследований в мире по разработке методов сейсмогашения и сейсмоизоляции мостов с учетом многоуровневого проектирования получен ряд научных результатов, в том числе следующие:

² В обзоре международных научных исследований по теме диссертации использовались: <https://ce.berkeley.edu/>, <https://www.liverpool.ac.uk/>, <https://www.upatras.gr/>, <https://tu-dresden.de/>, <https://www.ait.ac.jp>, <https://peer.berkeley.edu/>, <https://www.preventionweb.net/>, <https://www.eeri.org/>, The 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK; The 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon; <http://www.maurer-soehne.com/>; <http://www.fip-group.it/>; <https://stroycomplex-5.ru/> и др.

вопросы сейсмоизоляции железнодорожных мостов, разработка системы автоматического торможения поездов при возникновении землетрясения (Kyoto university, Seismic Resistance Experiment Center, Япония); усовершенствованы методы ограничения смещений моста в процессе землетрясения с помощью инновационной системы рассеивания энергии соединения пролетного строения с пилонной конструкцией, путем проверки напряженно-деформационного состояния рельсовых путей на сейсмоизолированных мостах (University of Liverpool, Великобритания); разработаны специальные методы сейсмозащиты на железнодорожных мостах с учетом работы верхнего строения пути (Anti-Seismic Systems International Society, Италия, Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия); усовершенствованы принципы многоуровневого проектирования мостов при сильных землетрясениях (Department of Civil and Environmental Engineering University of California, The Earthquake Engineering Research Institute, США; University of Patras, Греция; National Center for Research on Earthquake Engineering, Китай).

Степень изученности проблемы. Научные теоретические и экспериментальные исследования по современной сейсмостойкости сооружений проведены такими крупными учеными мира, занимающимися сейсмогашением и сейсмоизоляцией на мостах, как M. Bio, D. Kelly, K. Kubo, Sh. Okamoto, M.N. Fardis, D.J. Barr, B. Robinson, R. Skinner, D. Kollings, R. Gomes, X. Iemura, P. Huber, S. Infanti, E. Djenarimo, L. Di Sarno, Xouzner и др., а в постсоветском пространстве, А.Д. Абакаров, В.А. Быховский, М.Ф. Барштейн, А.И. Мартемьянов, Н.А. Николаенко, М.М. Онищенко, И.И. Гольденблат, А.Б. Гроссман, О.А. Савинов, Я.М. Айзенберг, Г.Н. Карцивадзе, Ш.Г. Напетваридзе, И.Л. Корчинский, С.В. Медведев, В.С. Поляков, А.М. Уздин, Т.А. Белаш, В.А. Ильичев, В.И. Смирнов, Э.Е. Хачиян, Е.Н. Курбацкий, Г.С. Шестоперов, И.О. Кузнецова, С.А. Шульман, З.Г. Хучбаров, Б.Г. Коренев, А.А. Никитин, А.Ю. Симкин, Т.В. Суконникова и ведущими научными центрами, университетами и научно-исследовательскими институтами, а также многими учеными. Итоги теоретических и практических научных исследований в области сейсмостойкости мостов более подробно рассмотрены в работе А.М. Уздина и И.О. Кузнецовой (2014).

В нашей республике научно-исследовательские работы по вопросам сейсмостойкости искусственных сооружений проводились В.Т. Рассказовским, М.Т. Уразбаевым, К.С. Абдурашидовым, Т. Рашидовым, Г.Х. Хожметовым, А.Х. Абдужабаровым, А.А. Ишанходжаевым, М.Х. Миралимовым и другими учеными.

Однако, в этих исследованиях недостаточно изучены обоснования возможности применения сейсмоизоляции и подбор оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования, методы расчета транспортных сооружений, связанные с анализом исследований сейсмостойкости мостовых сооружений на железных дорогах в зарубежных странах.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планам высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета по темам: БВ-Атех-2018-14 «Разработка эстакадного решения высокоскоростных железнодорожных магистралей и оптимизация их проектирования с использованием компьютерных программных комплексов с учетом сейсмических условий Республики Узбекистан» (2018-2020) и ЁА14 – 001 «Разработка методики расчета мостовых конструкций с учетом вибродинамических нагрузок на высокоскоростной линии «Ташкент-Самарканд»» (2014-2015).

Целью исследования является обоснование возможности применения сейсмоизоляции и подбор оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования для развития их методов расчета на сейсмические воздействия в условиях Республики Узбекистан.

Задачи исследования:

исследование современного состояния вопросов сейсмоизоляции и сейсмогашения на железнодорожных мостах и эстакадах, характера их повреждений при сильных землетрясениях, методов расчета на сейсмические воздействия, а также принципов многоуровневого проектирования;

разработка методик расчета мостов с учетом генерации сейсмических воздействий и подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей по жесткости и демпфированию;

оценка влияния точности настройки на эффективность использования динамических гасителей колебаний различных масс, а также пиковых ускорений и вероятность их превышения для проектных (ПЗ) и максимально-расчетных землетрясений (МРЗ);

разработка методик расчета опор моста в продольном направлении на действие проектных землетрясений, а также нелинейного расчета овальных отверстий опорных частей, сдвиг по овалу при проектных и максимально расчетных землетрясениях;

техническая реализация разработанных методик расчета железнодорожных мостов на сейсмические воздействия в условиях Республики Узбекистан и разработка новых технических решений по конструкции и размещению сейсмозащитных устройств мостов;

оценка поведения сейсмоизолированных железнодорожных мостов при сейсмических воздействиях различного уровня и работоспособности элементов мостового полотна при эксплуатационных нагрузках;

разработка практических рекомендаций по сейсмозащите железнодорожных мостов и эстакад в сейсмических районах.

Объектом исследования являются железнодорожные мосты и эстакады, расположенные в сейсмических районах республики.

Предметом исследования приняты методы многоуровневого проектирования, опоры и сейсмозащитные опорные части железнодорожных мостов, динамические гасители колебаний (пролетные строения), демпферы.

Методы исследования. В процессе исследования применены методы строительной механики и динамики сооружений, математическая модель моста с сейсмоизолированными устройствами, их численные методы, методы сравнения оптимальных параметров сейсмозащитных устройств с конструкциями настроенных классическим методом, методы сейсмоизоляции железнодорожных мостов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

обоснована целесообразность применения перспективных конструкций динамического гашения колебаний опор железнодорожных мостов и эстакад с применением метода многоуровневого проектирования;

разработана методика подбора оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей с использованием массы пролетного строения в виде динамического гасителя колебаний опор железнодорожных мостов и эстакад;

разработана методика оценки пиковых ускорений и вероятности их превышения для проектного и максимального расчетного землетрясений с учетом сейсмических условий Республики Узбекистан;

разработана методика оценки влияния точности настройки динамического гасителя колебаний гасящей массы, когда масса гасителя (пролетного строения) в несколько раз (2 и более раза) превышает массу опоры, подвергающуюся сейсмическому воздействию;

обоснована эффективность применения сейсмоизоляции мостов и эстакад при слабых воздействиях, а при сильных – подбор оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных устройств с использованием метода расчета по акселерограммам землетрясений железнодорожных мостов;

разработаны методики расчета опор моста при сейсмическом воздействии в продольном направлении, а также нелинейного расчета овальных отверстий и сдвига по овалу сейсмоизолирующих устройств, при различных воздействиях;

с учетом сейсмических условий Республики Узбекистан произведена оценка эксплуатационной надежности сейсмоизолированных железнодорожных мостов при различных (проектных и максимально расчетных) воздействиях землетрясений и работоспособности элементов мостового полотна при эксплуатационных нагрузках с использованием реальных и синтетических акселерограмм.

Практические результаты исследования состоят в следующем:

проведен анализ специальных конструктивных методов защиты железнодорожных мостов и эстакад от сейсмического воздействия, обоснована целесообразность применения пролетных строений в качестве гасящей массы при динамическом гашении колебаний опор железнодорожных мостов;

в целях повышения сейсмостойкости железнодорожных мостов усовершенствована оценка работоспособности элементов верхнего строения пути при эксплуатационных нагрузках с использованием разработанного

программного комплекса;

в качестве нового научного решения принято использование массы пролетного строения в качестве динамического гасителя колебаний для опоры железнодорожных мостов и эстакад;

создан автоматизированный метод расчета эффективности динамических гасителей колебаний опор балочных мостов, представленный в виде компьютерной программы для ЭВМ;

разработан программный комплекс для ЭВМ, позволяющий моделировать оптимальные параметры сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования;

разработаны методики расчета опор моста при сейсмическом воздействии в продольном направлении, а также нелинейного расчета овальных отверстий и сдвига по овалу сейсмоизолирующих устройств, при различных воздействиях.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования основана на применении методов строительной механики, а также обеспечены с использованием испытанных программных комплексов, соответствием результатов, полученных другими специалистами, работающими в области сейсмостойкости транспортных сооружений, обоснованностью представленных технических решений, широким внедрением их в практику проектирования и строительства железнодорожных мостов с учетом сейсмических условий Республики Узбекистан.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость полученных результатов исследования подтверждается тем, что разработанные методики численного расчета описывают процессы сейсмоизоляции и сейсмогашения железнодорожных мостов с учетом метода многоуровневого проектирования.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке методики подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей с учетом многоуровневого проектирования, а также установление влияния ошибок настройки динамических гасителей колебаний опор мостов. Предложено новое теоретическое решение динамического гашения колебания опор мостов и эстакад, когда гасящая масса (т.е. пролетное строение) располагаясь между двумя защищаемыми опорами гасит их колебания. Оценены поведения сейсмоизолированных железнодорожных мостов при сейсмических воздействиях различного уровня. Результаты исследований позволили количественно упростить задачу проектирования сейсмозащитных устройств железнодорожных мостов и эстакад, которые позволяют лицу применяющему решение (т.е. проектировщику) широкий спектр творческой инициативы в выборе и обосновании оптимальных параметров (размеров и жесткости) проектируемых элементов сейсмозащитных устройств.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов исследования по обоснованию эффективности и подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей

железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования в условиях Республики Узбекистан:

Автоматизированный метод расчета эффективности динамических гасителей колебаний опор внедрен на предприятии ООО “Тоштемириуллойиха” в составе АО “Узбекистон темир йуллари” (Справка из АО «Узбекистон темир йуллари» №01/2136-21 от 20 мая 2021 г.). Применение результатов исследований позволяет проектировщику широкую возможность в выборе размеров и жесткости проектируемых элементов сейсмозащитных устройств железнодорожных мостов.

Разработанная методика по подбору оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей балочных мостов внедрен на предприятии ООО “Тоштемириуллойиха” в составе АО “Узбекистон темир йуллари” и показал достаточную эффективность на получении параметров жесткости и демпфирования сейсмозащитных опорных частей при различных соотношениях масс (Справка из АО «Узбекистон темир йуллари» №01/2136-21 от 20 мая 2021 г.). В результате, применения сейсмозащиты со стержневыми амортизаторами, подобранными с оптимальными параметрами, позволило повысить сейсмостойкость железнодорожного моста благодаря снижению сейсмических нагрузок на 48%.

Разработанная методика подбора оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования внедрена при проектировании мостов на линии “Сочи–Адлер” с системой сейсмоизоляции, выполненной “Стройкомплекс–5” (Российская Федерация, справка из ООО «Стройкомплекс–5» №078/21-91-М/01 от 25 мая 2021 г.). В результате применение сейсмоизолирующих опорных частей позволило снизить сейсмические нагрузки на опору моста и повысить эффективность динамических гасителей колебаний опор, снизить расход основных строительных материалов в 1,2 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования обсуждались на 6 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 34 научных работ. Из них 31 научных статей, в том числе 10 – в зарубежных журналах, из них 4 – в журналах с индексацией “Scopus”, 10 – в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, издана 1 монография. Кроме этого, получено 2 свидетельства на расчётные программные продукты.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 200 страниц, в том числе основная часть – 180 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, изложено внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ состояния исследуемого вопроса**» **произведен** обзор технических решений сейсмоизоляции и сейсмогашения мостов в сейсмических районах. Проанализирована сейсмическая опасность территории республики Узбекистан и характер повреждений мостов при сильных землетрясениях. Выполнен анализ методов оценки сейсмостойкости мостовых конструкций по спектральному методу и акселерограммам землетрясений. Приведены принципы многоуровневого проектирования мостов в сейсмических районах.

В настоящее время действующие существующие методы расчета мостов на сейсмические воздействия не полностью обеспечивают их сейсмостойкость, долговечность и надежность. Вследствие этого рассмотрены основные методы и особенности обеспечения сейсмостойкости мостов. Возможны две пути снижения горизонтальных сейсмических нагрузок на опоры мостов: *традиционный* и *специальный*. При этом наиболее эффективным способом обеспечения сейсмостойкости мостов является использование специальных систем сейсмозащиты, которые делятся на сейсмоизоляции и сейсмогашения.

Наличие сейсмоизоляции приводит к значительным (5-15 см) перемещениям пролетного строения относительно подходов насыпей при торможении или трогании поезда с места и вызывает расстройство верхнего строения пути (или разрыв рельсовых плетей). В российских нормах на проектирование мостов имеется ограничение на податливость верха опоры, что должно исключить негативные эффекты при работе пути под эксплуатационной нагрузкой. Это ограничение имеет вид (1)

$$u_{\max} < 0.5 \cdot \sqrt{L} , \quad (1)$$

где u_{\max} – максимальное смещение верха опоры под эксплуатационной нагрузкой в см; L – пролетное строение моста в м.

В настоящее время линейно-спектральный метод (ЛСМ) признан и внесен в нормативные документы России, Японии, США и стран Европейского сообщества, в качестве основного при проектировании железнодорожных мостов. Однако для железнодорожных мостов со специальной сейсмозащитой динамические расчеты становятся основными, т.к. для расчета таких мостов спектральная методика не применима. Расчеты

по акселерограммам землетрясений имеют большее значение для мостов, чем для объектов массового строительства и требуют развития.

Расчеты по акселерограммам землетрясений производятся методами численного интегрирования по времени; при этом в каждый момент времени определяются перемещения, ускорения, усилия и другие факторы, определяющие сейсмостойкость сооружения, когда исходной информацией являются жесткостные, инерционные и демпфирующие характеристики конструкции, а также пакет расчетных акселерограмм.

В нашей стране в действующих нормативных документах для сейсмостойких конструкций практически отсутствуют вопросы специальной сейсмозащиты, расчета мостов по проектным (ПЗ) и максимально-расчетным землетрясениям (МРЗ).

В мировой практике сейсмостойкого строительства сложился многоуровневый подход к проектированию сейсмостойких сооружений. В соответствии с таким подходом транспортное сооружение рассчитывается на несколько уровней сейсмического воздействия при соответствующих им предельным состояниям, которое даёт возможность учитывать ряд характерных особенностей их сейсмических колебаний, такие как наличие на мосту временной нагрузки, степень ответственности моста, особенности примененного типа сейсмоизоляции и сейсмогасителей.

Исходя из результатов обзора, анализа литературных источников, выводов в соответствии с поставленной целью установлены теоретические и практические предпосылки развития методов расчета на сейсмические воздействия, обоснования возможности применения сейсмоизоляции и подбор оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов с учетом многоуровневого проектирования в условиях Республики Узбекистан, сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе **«Методика расчета мостов с учетом генерации сейсмических воздействий»** приведена методика оценки сейсмической опасности территории Республики Узбекистан с учетом генерации их, разработана методика расчета многоуровневого проектирования мостов с учетом генерации сейсмических воздействий, а также произведена оценка пиковых ускорений и вероятности их превышения для проектного (ПЗ) и максимального расчетного землетрясений (МРЗ).

В России в настоящее время сейсмическая опасность территории определяется ситуационной сейсмичностью, т.е., значениями расчетного балла по картам А, В и С по нормативам ОСР-2012. К сожалению, в отрасли транспортного строительства отечественные проектные институты в расчетах мостов на сейсмостойкость не используют записи реальных или синтетических акселерограмм землетрясений и ограничиваются линейно-спектральными расчетами из-за отсутствия сведений о ситуационной сейсмичности территории Узбекистана.

В связи с этим, автором предложена методика оценки опасности территории Республики Узбекистан с учетом генерации на основе карт

сейсмического районирования. В рамках работы рассматриваются следующие воздействия – проектное (ПЗ), умеренное (УЗ) и максимально-расчетное землетрясений (МРЗ).

Сейсмические воздействия ПЗ, МРЗ и УЗ целесообразно задать с учетом и без учета сейсмозащиты и расчет произвести в продольном направлении работы моста. Исходя из ситуационной сейсмичности территории Республики Узбекистан, определены *пиковое ускорение* – *PGA* для ПЗ и МРЗ. Ниже приведены фрагменты из программного обеспечения по расчету уровней сейсмического воздействия для железнодорожного моста (рис.1). Представлены характеристики сгенерированной синтетической акселерограммы ПЗ и МРЗ для расчета опоры моста без и с оптимальной сейсмоизоляцией на рис. 2.

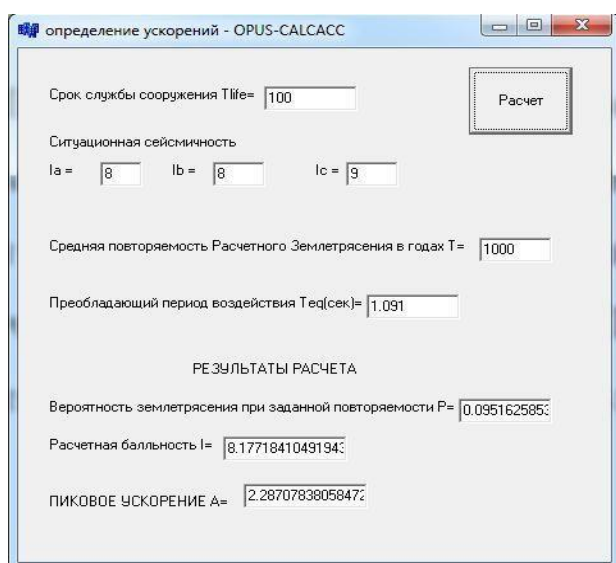


Рис. 1. Параметры МРЗ для расчета сейсмоизолированного моста с изоляцией, удовлетворяющей нормам податливости опор

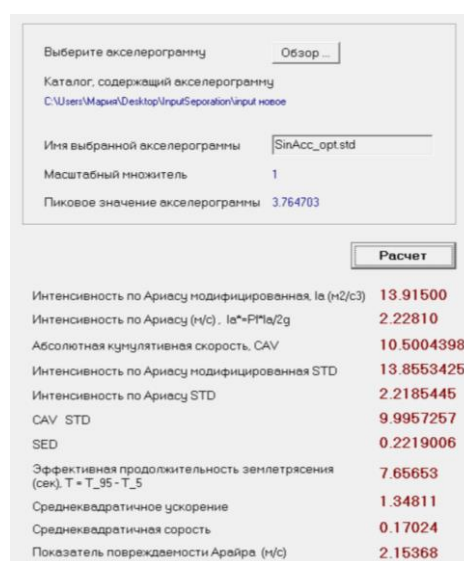


Рис. 2. Характеристики сгенерированной синтетической акселерограммы МРЗ для расчета опоры моста

Далее для генерации воздействий определяется интенсивность по Ариасу I_A , абсолютная кумулятивная скорость CAV и плотность сейсмической энергии приведены согласно формулам

$$\text{Интенсивность по Ариасу} \quad I_A = \frac{\pi}{2g} * \int_0^{T_{eq}} (\dot{y}_0(t))^2 dt \quad (2)$$

$$\text{Абсолютная кумулятивная скорость} \quad CAV = \int_0^{T_{eq}} |\dot{y}_0(t)| dt \quad (3)$$

$$\text{Плотность сейсмической энергии} \quad SED = \int_0^{T_{eq}} (\dot{y}_0(t))^2 dt \quad (4)$$

Произведен расчет по методике многоуровневого проектирования с учетом результатов генерации воздействий и хронограммы в программе SinAcc. Приведены результаты расчета по спектру абсолютных ускорений и смещений акселерограммы ПЗ и МРЗ для расчета опоры моста без и с оптимальной сейсмоизоляцией, которые приведены на следующих рисунках

3 и 4 по программе SuperSpectra.

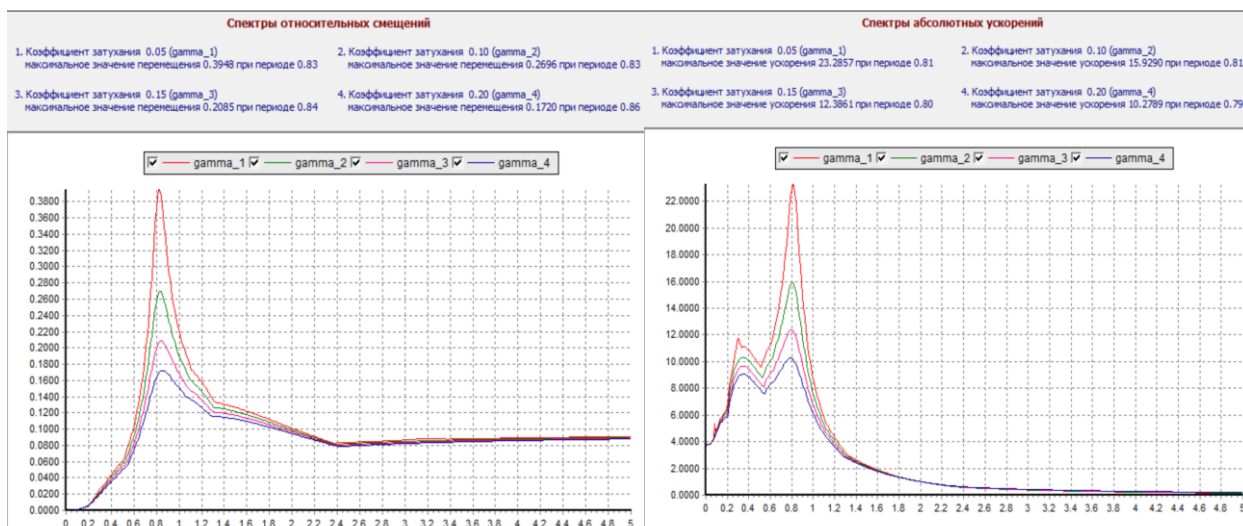


Рис. 3. Спектр относительных смещений акселерограммы МРЗ для расчета опоры моста

Рис. 4. Спектр абсолютных ускорений акселерограммы МРЗ для расчета опоры моста

На основе разработанной методики выполнены расчеты моста на воздействия наиболее распространенных акселерограмм прошлых землетрясений, в том числе и на два типа синтетических акселерограмм. При этом учет сгенерированных синтетических акселерограмм землетрясений привели к повышению вероятности разрушения моста, так как доминирующие частоты исходного сейсмического воздействия оказались резонансными для сооружения.

В третьей главе “Методика подбора оптимальных конструктивно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования” обоснована целесообразность и эффективность применения динамического гашения колебаний опор с использованием пролетного строения в качестве гасящей массы в сейсмостойком мостостроении.

В первой части главы рассмотрены вопросы динамических гасителей колебаний (ДГК) в работах И.О. Кузнецовой, А.А. Никитина, А.М. Уздина и других специалистов, которые рассматривали ДГК разных масс в отдельности. В нашем случае в процессе сейсмических колебаний пролетное строение за счет соответствующей настройки колеблется в противофазе с опорами, снижая на них суммарную сейсмическую нагрузку. Пример реализации сейсмозащиты для однопролетного моста показан на рисунке 5, в качестве гасящей массы использованы пролетные строения.

Рассмотрены влияния точности настройки на эффективность использования динамических гасителей различной массы. В качестве параметра настройки в работе принято соотношение масс гасителей и защищаемой опоры. Автором развита теория существующих решений ДГК различных масс (малой, соизмеримой, средней, большой и очень большой).

Для этого им проанализированы теоретические выкладки для трёх существующих решений:

- гаситель малой массы – ($v=M_{\text{гас}}/M_{\text{сооп}}=0.1$);
- гаситель соизмеримой массы – ($v=M_{\text{гас}}/M_{\text{сооп}}=1$);
- гаситель большой (закритической массы).

Все три случая имеют практическое значение.

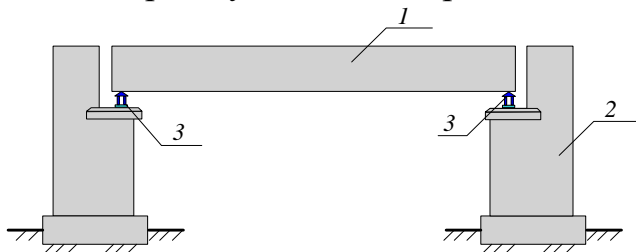


Рис. 5. Пример выполнения сейсмозащиты для однопролетного моста

Исследование эффективности динамических гасителей колебаний опор железнодорожных мостов в качестве эталонных принимаются в следующих видах систем ДГК:

1. Система без гасителя, т.е. опора без ДГК (рис. 6, а).
2. Система, в которой пролетное строение жестко присоединен к опоре (рис. 6, б).
3. Схема с динамическим гасителем в виде комплементарной массы, упруго соединенной с опорой, принимается в качестве исследуемой системы (рис. 6, в).

При этом следует принять во внимание, что оценка эффективности ДГК любой массы (малой, соизмеримой, средней, большой и очень большой) должна проводиться методом сопоставления с полученными эталонными системами.

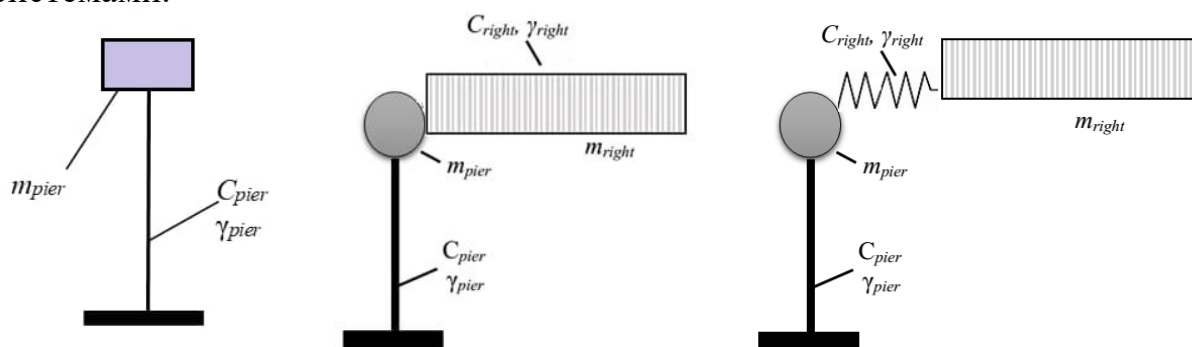


Рис. 6. Принципиальные схемы опор, связанных с пролетным строением: а) система без пролетного строения; б) система, в которой гаситель жестко присоединен к ней; в) система с гасителем, в которой пролетное строение соединено с опорой упругой связью

На основании анализов автором были выполнены исследования уравнений двух массовой системы (рис. 6, в), имеющую оптимальную настройку жесткостей сейсмоизолирующих соединений ДГК.

В предложенной схеме приняты следующие параметры:

C_{right} – жесткость гасителя (пролетного строения); C_{pier} – жесткость опоры; m_{right} – масса гасителя (пролетного строения); m_{pier} – масса опоры;

γ_{right} – коэффициент затухания гасителя колебаний (пролетного строения);
 γ_{pier} – коэффициент затухания опоры.

Диагональная матрица масс и матрица жесткости системы в заданных обозначениях имеет следующий вид:

$$M = \begin{vmatrix} m_{right} & 0 \\ 0 & m_{pier} \end{vmatrix} \quad (5) \quad R = \begin{vmatrix} C_{right} & -C_{right} \\ -C_{right} & C_{right} + C_{pier} \end{vmatrix} \quad (6)$$

Рассмотрим амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) сейсмоизолированной системы «пролетное строение – опора» с учетом затухания колебаний. Амплитуда колебаний вычислялась по формуле

$$U_s(\omega) = \sqrt{\mathbf{a}_s(\omega)^2 + \mathbf{a}_c(\omega)^2}, \quad (7)$$

где \mathbf{a}_c и \mathbf{a}_s – определяемые векторы амплитуд соответственно при косинусе и синусе.

Разработана методика учета влияния ошибок настройки на эффективность динамических гасителей различных масс. Результаты подбора оптимальных параметров, т.е., настройки по жесткости и демпфированию для всех трех случаев получены с помощью программного комплекса Mathcad и Builder C++ приведены на рис. 7. Процедура оптимизации представлена на следующем рисунке, в котором приведена АЧХ рассмотренных систем. При этом оптимальными будем считать такие параметры, при которых смещения системы являются минимальными в заданном диапазоне частот колебаний.

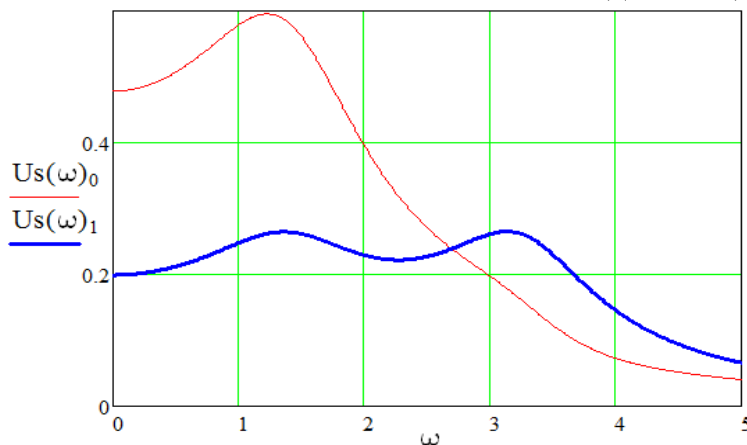


Рис. 7. При определённых параметрах $f_{2\text{ опт}}=0.29$, $\gamma_{2\text{ опт}}=3.1$ системы влияние частоты возмущения на АЧХ

Из приведенной рис. 7 видно, что на вертикальной оси отложены амплитуда смещений пролетного строения $U_s(\omega)_0$, амплитуда смещений опоры в метрах – $U_s(\omega)_1$, а по горизонтальной ω – частота возмущения основного тона колебания опоры.

Оценка эффективности настройки гасителя (пролетного строения) выполняется в соответствии с введенным коэффициентом эффективности, который описывается следующей формулой

$$E_{\text{opt}}(f, \gamma_2) = \frac{U_{\text{opt}} - U(f, \gamma_2)}{U_{\text{opt}}}, \quad (10)$$

где $U(f, \gamma_2)$ – экстремальные значения функций смещения системы с настройками f и γ в заданном диапазоне частот колебаний;

U_{opt} – экстремальные значения функций смещения системы с оптимальными строительно-технологическими настройками.

Зависимости $E_{opt}(f, \gamma_2)$, в изолиниях приведены на рис. 8 и 9. Коэффициент эффективности $E_{opt}(f, \gamma_2)$, т.е. эффективность применения ДГК, можно сравнить с двумя основными системами-эталоном – системы без гасителя и системы с жестко присоединенным гасителем, т.е. масса системы увеличена на величину массы гасителя (см. рис. 6).

На графиках приведены основные системы зависимости $E_{opt}(f, \gamma_2)$. По формуле (10) получаем матрицу $E_{opt}(f, \gamma_2)$ зависимости снижения смещений главной массы в зависимости от настройки по жесткости и демпфированию, составленной для пяти случаев $\nu=0.1, \nu=1, \nu=2, \nu=3, \nu=5$ (для гасителей соответственно малой, соизмеримой, средней, большой и очень большой масс).

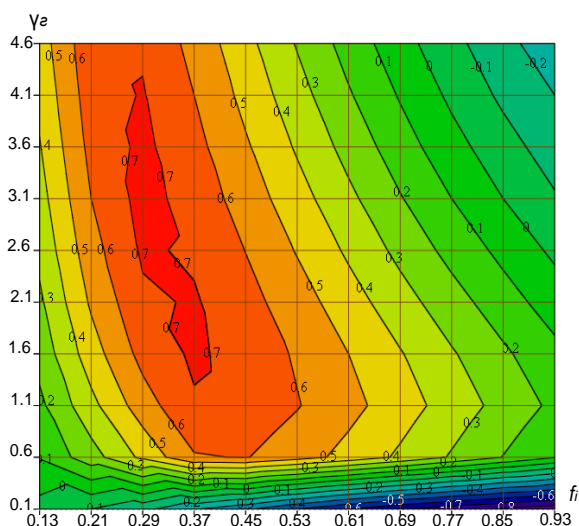


Рис. 8. Изолинии влияния настройки по жесткости и демпфированию при $\nu=1$ на снижение смещений главной массы в случае, когда система без гасителя

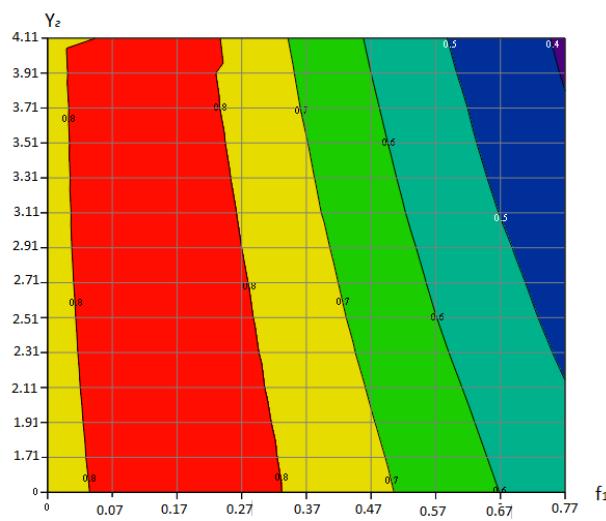


Рис. 9. Изолинии влияния настройки по жесткости и демпфированию при $\nu=2$ на снижение смещений главной массы в случае, когда гаситель жестко прикреплен к опоре

Из приведенных графиков путём анализа определяем, что для гасителей большой массы в настройке можно допустить довольно большие отклонения относительно самых оптимальных вариантов. Следует отметить, что при увеличении относительной массы гасителя (пролётного строения) зона высокой эффективности также существенно возрастает.

Для случая, когда $\nu=2$ ошибки по жесткости допускаются в пределах $0,06 < f < 0,27$, а ошибки по затуханию в пределах $0 < \gamma_2 < 4,2$. Допущенные при настройке динамических гасителей ошибки по затуханию колебаний оказывают больше влияние на смещение самой гасящей массы, и меньше влияют на перемещение основной конструкции.

Во второй части главы изложена разработанная методика подбора

оптимальных конструктивно-технологических параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования. Приведена расчетная схема трёхмассовой системы «опора – опорная часть – пролетное строение», в состав которой входят модели устоев (опоры) и динамического гасителя (пролетное строение). Центральная часть модели соединяется с опорами податливым соединением. В предлагаемой схеме (рис.10) приняты обозначения:

C_1 – жесткость левого устоя (опоры); C_2 – жесткость правого устоя (опоры); m_1 – масса левого устоя (опоры); m_2 – масса правого устоя (опоры); M – масса гасителя (пролетного строения); C_{21} , C_{22} – соответственно жесткости гасителя колебаний (пролетного строения).

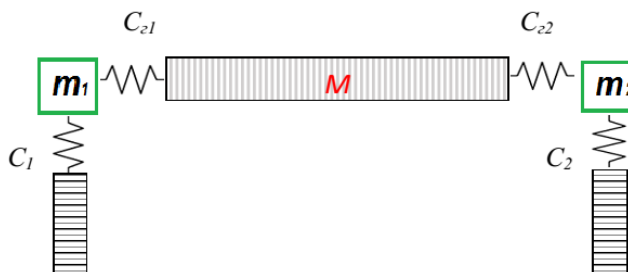


Рис. 10. Принципиальная расчетная схема системы «опора – опорная часть – пролетное строение»

В принятых обозначениях диагональная матрица масс и матрица жесткости колебаний системы примет вид:

$$M = \begin{vmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 \end{vmatrix} \quad (11)$$

$$C = \begin{vmatrix} C_{21} + C_{22} & -C_{21} & -C_{22} \\ -C_{21} & C_1 + C_{21} & 0 \\ -C_{22} & 0 & C_2 + C_{22} \end{vmatrix} \quad (12)$$

Из вышеизложенных уравнений автором получены настройки сейсмозащитных опорных частей f_1 и f_2 следующим образом:

$$f_1 = \sqrt{\frac{C_{21}(C_1 m_2 - C_2 m_1)}{C_{22} \cdot (M C_1 + C_1 m_2 - C_2 m_1)}}; \quad f_2 = \sqrt{\frac{C_{21}(C_1 m_2 - C_2 m_1)}{C_{22} \cdot (M C_1 + C_1 m_2 - C_2 m_1)}} \cdot \chi \quad (13)$$

Анализируя сейсмические колебания мостов, необходимо учитывать параметры демпфирования каждого элемента конструкции. Система уравнений колебаний с демпфированием в матричной форме имеет вид

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{H}} + \mathbf{R}\dot{\mathbf{H}} + \mathbf{B}\mathbf{H} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}}_0, \quad (14)$$

где \mathbf{B} – матрица вязкого демпфирования системы; $\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & \dots & m_n \end{bmatrix}$ – диагональная матрица масс; \mathbf{R} – матрица жесткости; $\dot{\mathbf{H}} = \{\dot{h}_1, \dot{h}_2, \dots, \dot{h}_n\}$ – вектор обобщенных скоростей; $\mathbf{H} = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ – вектор обобщенных координат;

$\ddot{\mathbf{Y}}_0$ – вектор кинематических возмущений; $\ddot{\mathbf{y}}_0 = V_p \cdot \ddot{y}_0$; \ddot{y}_0 – ускорение основания; $V_p = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ – вектор проекций воздействий на направления обобщенных координат.

Рассмотрена расчетная схема трех массовой системы «опора – опорная часть – пролетное строение» с учетом демпфирования представлена в следующем виде (рис. 11).

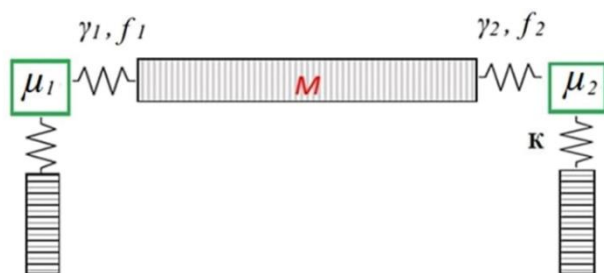


Рис. 11. Расчетная схема трехмассовой системы «опора – опорная часть – пролетное строение» с учетом демпфирования

Матрица гистерезисного демпфирования для рассматриваемой системы выражается следующим образом:

$$B_c = \begin{pmatrix} f_1^2 \cdot \gamma_1 + f_2^2 \cdot \gamma_2 & -f_1^2 \cdot \gamma_1 & -f_2^2 \cdot \gamma_2 \\ -f_1^2 \cdot \gamma_1 & \mu_1 \cdot \gamma_1 + f_1^2 \cdot \gamma_1 & 0 \\ -f_2^2 \cdot \gamma_2 & 0 & \kappa^2 \cdot \mu_2 \cdot \gamma_2 + f_2^2 \cdot \gamma_2 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где f_1^2 и f_2^2 - соответственно настройка системы гасителя с коэффициентами неупругого сопротивления гасителя γ_1 и γ_2 ; κ - показатель асимметрии конструкции по жесткости.

По результатам численных экспериментов было установлено, что под воздействием сейсмических нагрузок динамическим гасителем колебаний служит пролетное строение, и за счет подобранной настройки упругих соединений для разных случаев колеблется в противофазе с опорами, и этим снижает действующую на них сейсмическую нагрузку. Следовательно такой подход к вопросу гашения колебаний опор в сейсмостойком строительстве мостовых сооружений значительно повышает их сейсмостойкость, а также в несколько раз уменьшает сейсмическую нагрузку на опоры балочных железнодорожных мостов.

В четвертой главе выполнена «Техническая реализация разработанных методик расчета железнодорожных мостов на сейсмические воздействия». Автором изложены особенности расчета мостов при ПЗ и МРЗ. На основе разработанной методики даны практические рекомендации по выбору оптимальных строительно-технологических параметров сейсмозащитных конструктивных элементов опорных частей мостов.

В отечественном мостостроении опоры железнодорожных мостов запроектированы для восприятия сейсмической нагрузки достаточно мощными и тяжелыми, что в свою очередь ведет к увеличению нагрузки и приводит к целесообразности применения специальных методов сейсмозащиты. Характерным примером служит мосты на линии Сочи-Адлер (РФ) с системой сейсмоизоляции, выполненной «Стройкомплекс-5». Данной главе рассмотрена именно такая система сейсмоизоляции, разработанной автором методике. Принципиальная схема рассматриваемой системы

сейсмоизоляции показана на рис. 12.

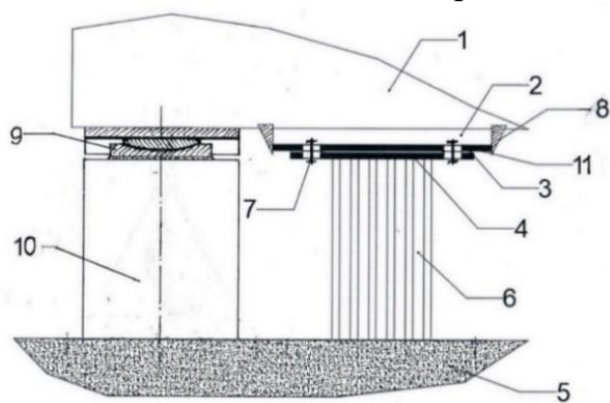


Рис. 12. Принципиальная схема системы сейсмоизоляции

Между пролетным строением (1) и опорой (5) через подферменник (10) устанавливается подвижная шаровая опорная часть (9). Параллельно опорному элементу (9) устанавливается сейсмоизолирующий стержневой амортизатор (6), соединенный через фрикционное покрытие (ФПС). При этом между стержневым амортизатором и пролетным строением имеется зазор (2).

Подвижная опорная часть принимает на себя вертикальную нагрузку от перемещения пролетного строения, за счет зазора между сейсмоизолирующим элементом и пролетным строением.

Рассмотрена техническая реализация сейсмозащиты 5-пролетного железнодорожного путепровода балочной разрезной системы, расположенной в районе с расчетной сейсмичностью 9 баллов для условий Узбекистана. Он имеет высокие массивные опоры на естественном основании и сравнительно небольшие и легкие пролетные строения. При традиционном решении опорных частей на каждую опору передается значительная горизонтальная нагрузка.

Ниже приведены результаты расчета сейсмозащиты железнодорожного путепровода при ПЗ и МРЗ с применением стержневых амортизаторов. Подбор параметров сейсмоизоляции осуществлена путем варьирования сдвиговой жесткости опорной части. Зависимость момента по подошве опоры, рассчитанная по линейно-спектральной методике с учетом демпфирования, приведена на рис. 13.

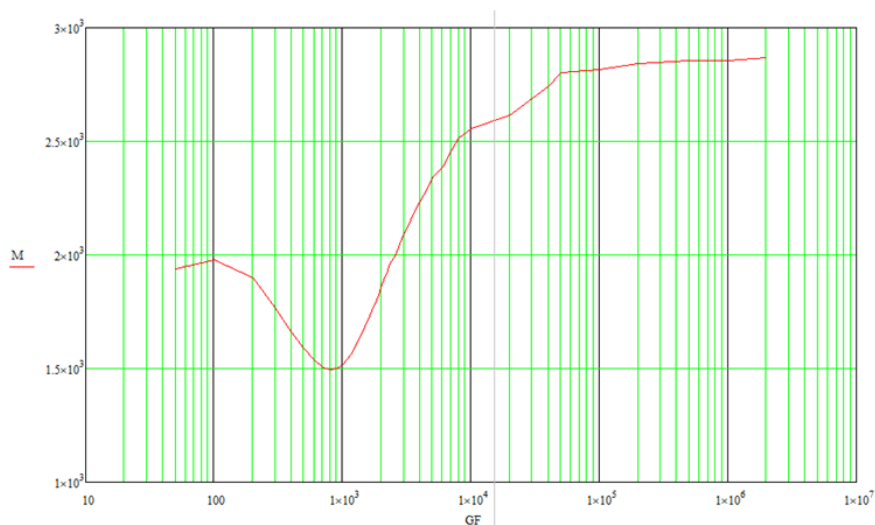


Рис. 13. Зависимость момента по подошве опоры от сдвиговой жесткости сейсмоизоляции

Эффект достигается примерно при $GF=1000$ Т. При этом момент по подошве опоры снижается до 1494 Тм. Это позволило при подборе сейсмоизоляции использовать пролетные строения в качестве ДГК опор моста, что привело к *уменьшению сейсмических нагрузок 48% с оптимальными параметрами*. Для сравнения момент M по подошве без пролетного строения опоры достигает 1940 Тм, а при жесткой опорной части $M=2870$ Тм. Также построен график зависимости смещений от периода основного тона колебаний опоры приведен на рис. 14.

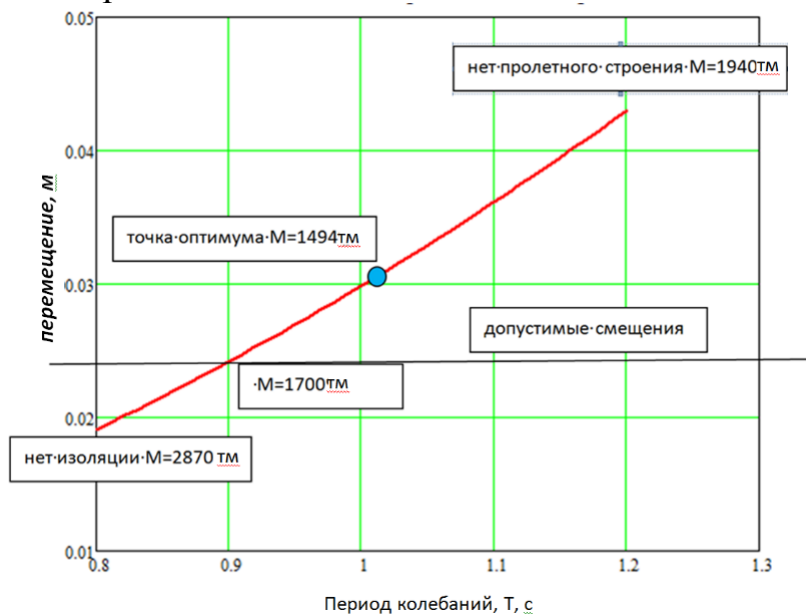


Рис. 14. Зависимость смещений пролетного строения от периода основного тона колебаний опоры

К сожалению, смещения пролетного строения на податливой опорной части превосходят допустимые по нормам в соответствии с формулой (1). Расчеты, выполненные ранее исследователями, показывают, что можно смело повысить допустимые смещения в 2 раза. Однако в данном случае можно просто повысить жесткость столика, приняв его не оптимальным, но обеспечить при этом снижение нагрузок на опору с пролетным строением до аналогичного уровня и будет выполняться условие (1).

Далее выполнен подбор параметров сейсмоизолирующего гибкого столика в двух вариантах. В первом варианте вертикальная нагрузка передается на опору через подвижную опорную часть, а во втором варианте с передачей вертикальной нагрузки непосредственно на столик. Стержни столика рассчитывались как изгибаемые балки с заделкой в опоре и шарнирным опиранием в пролетном строении. Из двух вариантов устройства изолирующих столиков предпочтительнее первый, т.к. в этом случае разрушение столика при нагрузках, превышающих расчетные, не приведет к падению пролетного строения. На основе полученных результатов разработаны практические рекомендации сейсмозащиты мостов на железнодорожной линии в условиях республики Узбекистан. Для этого было предложено **три уровня сейсмозащиты**, которые показаны на рис.15.

При первом уровне защиты основным элементом сейсмозащиты

является стержневая пружина с жесткостью C . Гибкость стержневой пружины может быть задана с гарантией обеспечения предельного перемещения от тормозной нагрузки подвижного состава $T_{\text{торм}}$, равное U_{lim} .

Сейсмозащита на **втором и третьем уровне защиты** осуществляется с помощью фрикционно-подвижных соединений в виде болтовых соединений с овальными отверстиями для болтов. Отличие между вторым и третьим уровнем защиты состоит в значении силы трения болтов.

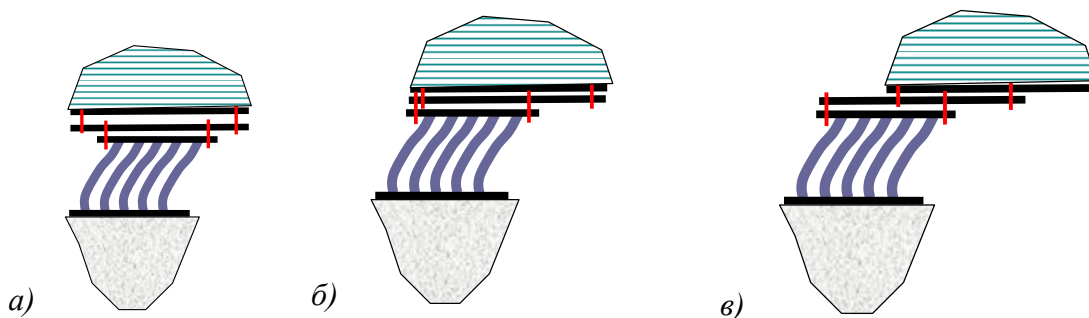


Рис. 15. Поведение уровней защиты: а) первый уровень; б) второй уровень; в) третий уровень

За счет применения предложенных устройств сейсмоизоляции имеется возможность не только можно гарантировать сейсмостойкость и надежность моста при эксплуатации, но и даёт возможность сократить в 1,2 раза расход основных строительных материалов, что приведет к уменьшению стоимости строительства.

В пятой главе приведены «**Особенности поведения сейсмоизолированных железнодорожных мостов при сейсмических воздействиях различного уровня, и экономическая эффективность применения сейсмозащитных опорных частей**». Выполнен расчет опор моста в продольном направлении на действие проектных землетрясений, приведены результаты нелинейного расчета мостовых конструкций при различных воздействиях с использованием реальных и синтетических акселерограмм.

Приведены результаты нелинейного расчета, выполненные с помощью программного обеспечения DRACON для оценки сейсмостойкости путепровода на действие проектного (ПЗ), умеренного (УЗ) и максимально расчетного землетрясения (МРЗ) без сейсмоизоляции, с неоптимальными и с оптимальными сейсмоизолирующими опорными частями. Для каждой акселерограммы в программном обеспечении выполнен расчет с затуханием в пружинах γ_{spring} равной 0,4 и 1,2 с применением динамических гасителей колебаний. На рис. 16 приведен график зависимости сдвига ФПС от ПЗ, УЗ и МРЗ. Видно, что при жестком опирании сдвиг ФПС при МРЗ достигает 1,33 м, а с оптимальной сейсмоизоляцией 0,19 м, в 7 раз меньше, чем жесткой.

Также выполнены расчеты с использованием реальных известных записей по наиболее опасным акселерограмм землетрясений из базы китайских и российских специалистов. При проведении расчетов учтено

наличие демпфирующего устройства, устанавливаемого параллельно с гибкой опорной частью. Результаты расчета приведены на рисунке 17.

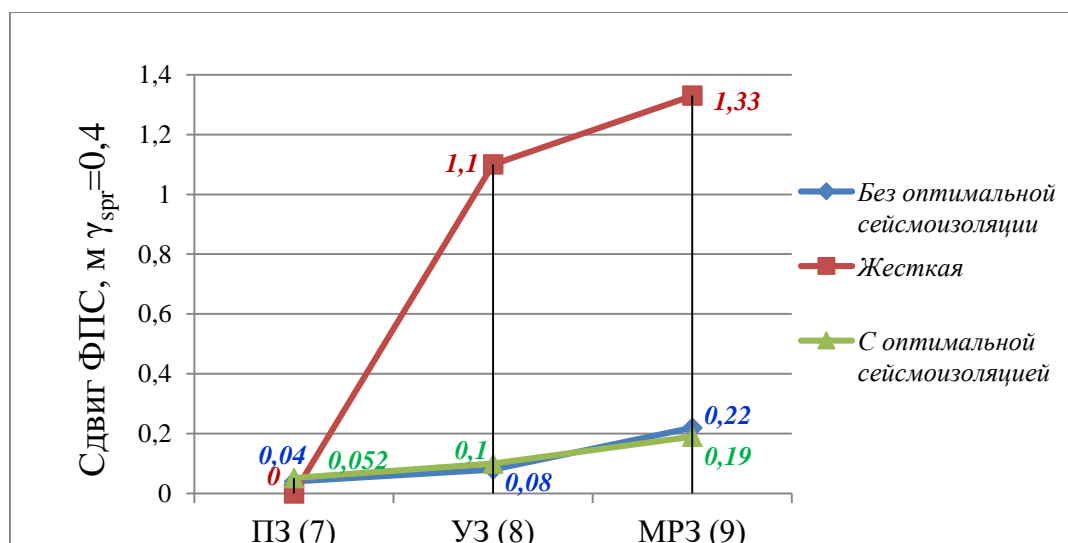


Рис. 16. Зависимость сдвига ФПС от сейсмических воздействий

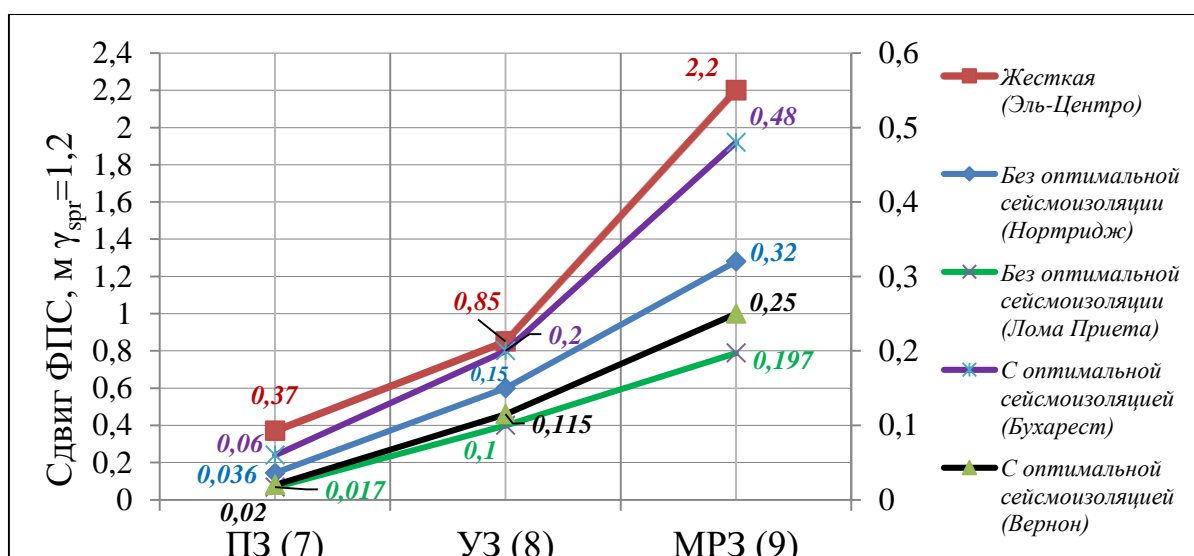


Рис. 17. Зависимость сдвига ФПС от сейсмических воздействий

Как видно из рис. 17, результат выполненных расчетов гарантирует эффективность ДГК для снижения сдвигов в ФПС при сильных воздействиях. Предельно допустимый сдвиг двухслойного ФПС составляет 22см.

При отсутствии сейсмоизоляции пролетное строение будет сброшено с опор уже при УЗ. Если прикрепить пролетное строение к опоре так же, как в системе с сейсмоизоляцией, но без сейсмоизолирующего элемента, то при УЗ сдвиг превосходит 85 см. Это требует дополнительного крепления пролетного строения к опоре и устройства стопоров, что в свою очередь требует усиления опор. Сказанное проиллюстрировано на рис. 18 и 19.

На рис. 20 представлена хронограмма расчета системы с оптимальной сейсмоизоляцией на действие Бухарестского реального землетрясения. В этом случае подвижки достигли 42 см.

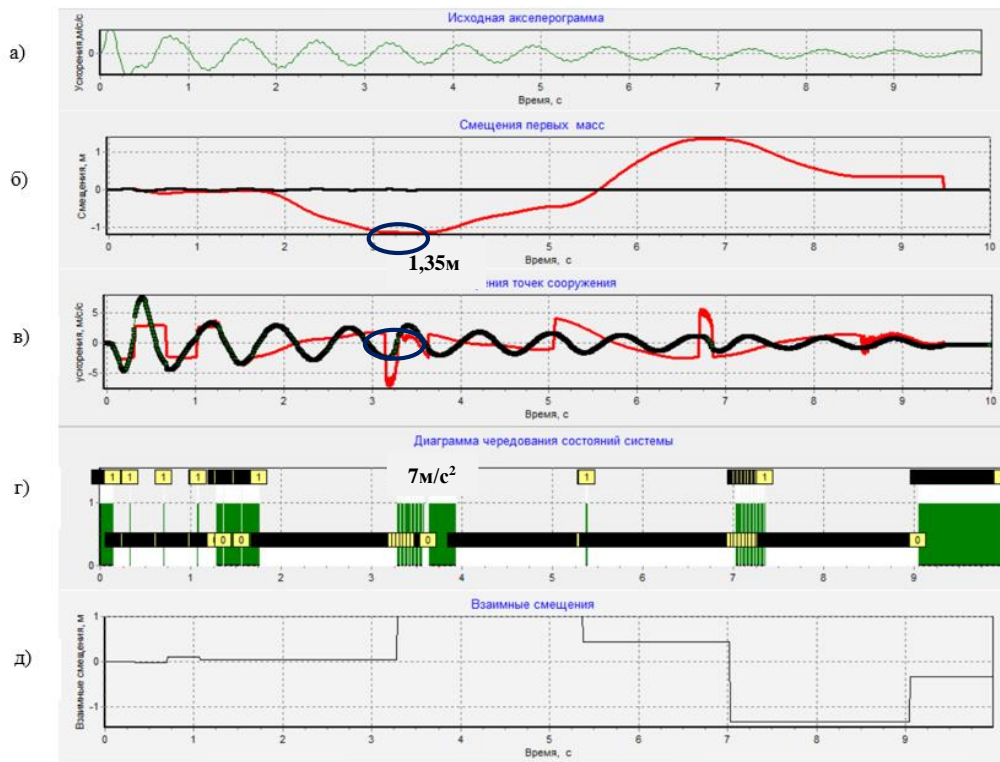


Рис. 18. Результаты расчета по синтетическим акселерограммам на действие МРЗ без сейсмоизоляции: а) исходная акселерограмма; б) смещение пролетного строения (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); в) ускорение пролётного строения (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); г) диаграмма чередования (ротация) состояний системы; д) сдвиг в ФПС

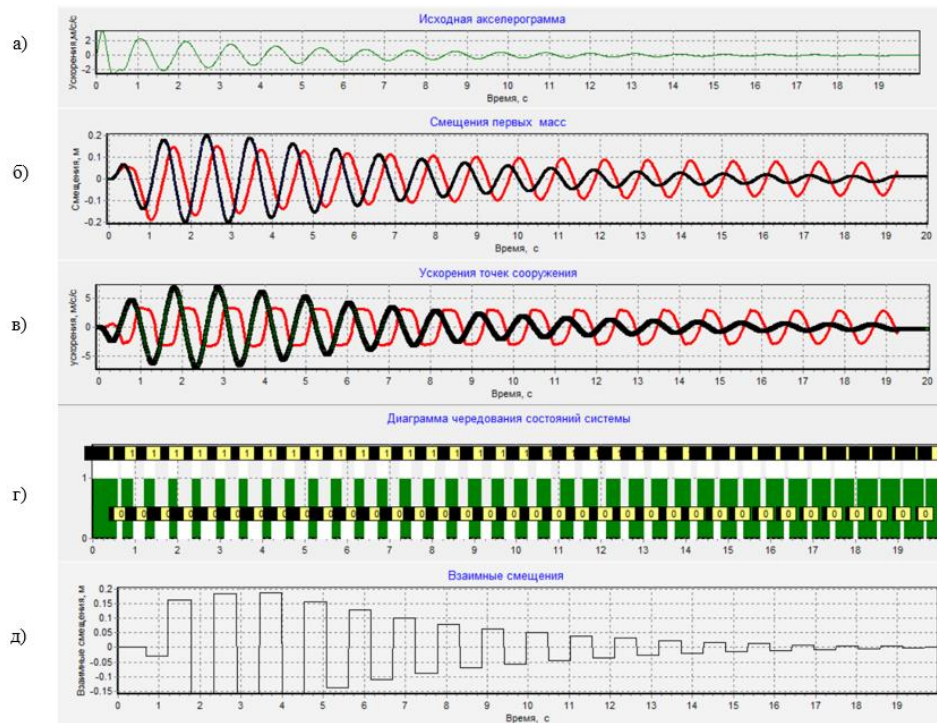


Рис. 19. Результаты расчета по синтетическим акселерограммам на действие МРЗ с оптимальной сейсмоизоляцией: а) исходная акселерограмма; б) смещение пролета (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); в) ускорение пролёта (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); г) диаграмма чередования (ротация) состояний системы; д) сдвиг в ФПС

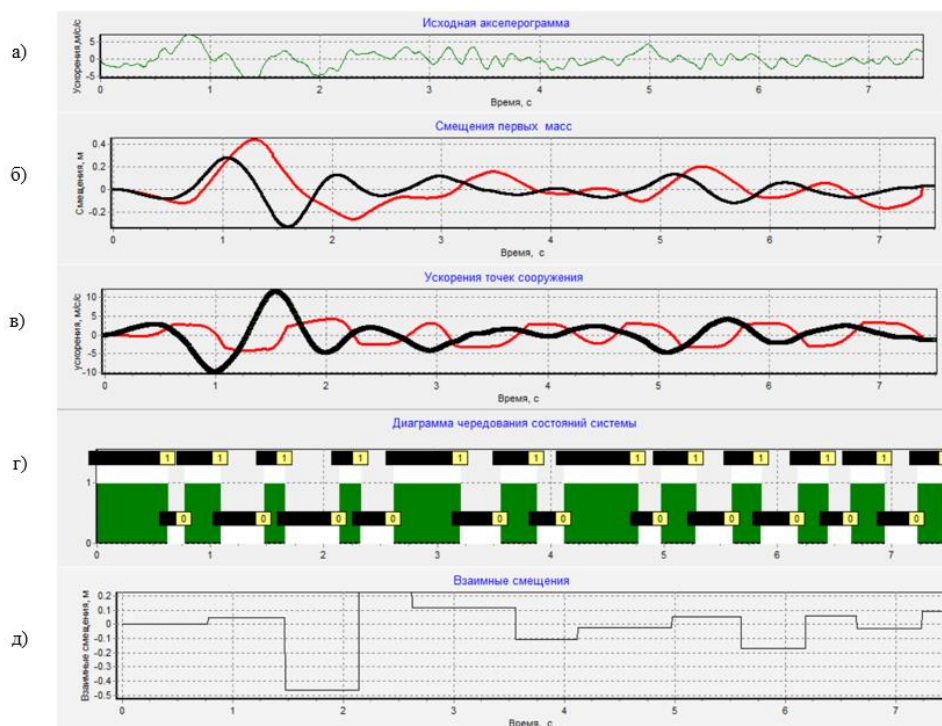


Рис. 20. Результаты расчета по акселерограммам Бухареста на действие МРЗ с оптимальной сейсмоизоляцией: а) исходная акселерограмма; б) смещение пролета (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); в) ускорение пролётного строения (красный цвет) и верха опоры (черный цвет); г) диаграмма чередования (ротация) состояний системы; д) сдвиг в ФПС

На хронограмме ускорений четко проявляется характерная для ДГК противофазность колебаний опоры и пролетного строения, не смотря на существенную нелинейность колебаний. Расчет по акселерограммам показывает *эффективность принятых технических решений сейсмоизоляции моста.*

В работе также оценена работоспособность элементов мостового полотна при эксплуатационных нагрузках с использованием программного комплекса MIDAS CIVIL. Задачей настоящего расчета является определение напряженно-деформированного состояния рельсового пути железнодорожного путепровода балочной разрезной системы. Расчет выполнен по методу конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса.

Напряженно-деформированное состояние рельсового пути рассмотрено на стадии эксплуатации путепровода от временной вертикальной нагрузки подвижного пути С14 и от горизонтальной поперечной нагрузки от ударов подвижного состава. Для получения максимальных напряжений и перемещений в рельсовой плети рассмотрены комбинации загрузки как одиночных пролетов, так и кососимметричное загрузку соседних пролетов горизонтальной поперечной нагрузкой от ударов подвижного состава.

Результаты показывают, что максимальные горизонтальные смещения рельсов равны 6,6. Согласно п. 5.47 СП35.13330.2011 максимально допустимые горизонтальные смещения равны $0.5\sqrt{l} = 0.5\sqrt{25} = 25\text{мм}$. Таким

образом, горизонтальные смещения рельсов меньше допустимого значения.

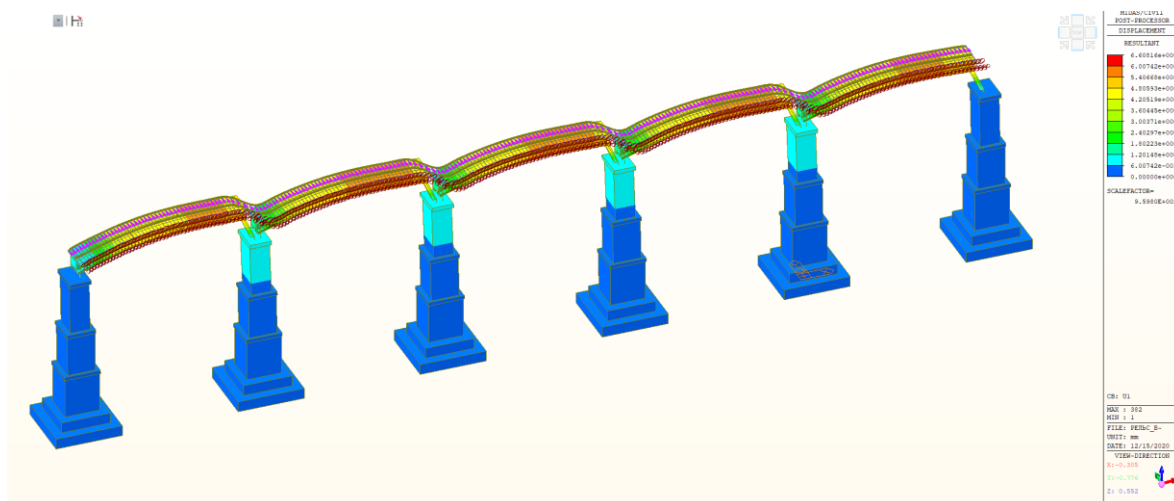


Рис. 21. Горизонтальные смещения при загрузении всех пролетов нормативной нагрузкой от ударов подвижного состава в одну сторону, м. Максимальные смещения равны 6,6мм

Максимальные напряжения в рельсах от вертикальной нагрузки подвижного состава равны 1530 кг/см^2 , от ударов подвижного состава – 480 кг/см^2 , а от совместного воздействия вертикальных временных нагрузок С14 и горизонтальных поперечных ударов подвижного состава с учетом коэффициентов сочетания нагрузок – 1560 кг/см^2 . Таким образом, удары подвижного состава не оказывают существенного влияния на НДС рельсов.

Также представлена *примерная экономическая эффективность конструкции моста* при применении сейсмозащитных опорных частей. При применении системы сейсмозащиты уменьшена объем опоры на 48 м^3 железобетона. Уменьшено содержание арматуры стойки опоры на 15 кг/м^3 , что в сумме позволит сэкономить $5,6 \text{ т}$ арматуры. При этом экономический эффект от использования разработанных методик в сумме составил $568,176 \text{ млн. сумов}$. Если у обычной опоры можно ожидать сброс пролетного строения, крен или разрушение опоры, то в предлагаемом решении повреждения состоят в сдвиге пролетного строения относительно опоры по листам ФПС. В стоимостном выражении эти ущербы несопоставимы. Самое главное, что предлагаемое решение кардинально удешевляет ремонтные работы после землетрясения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора наук (DSc) на тему “Обоснование эффективности и подбор параметров сейсмозащитных опорных частей железнодорожных мостов и эстакад с учетом многоуровневого проектирования в условиях Республики Узбекистан” сформулированы следующие выводы:

1. Исследование мирового опыта в сфере сейсмозащиты мостов показывает, что сейсмоизолирующие устройства в большей степени используется на автодорожных мостах. Для более широкого применения

сейсмоизоляции на железнодорожных мостах требуется подбор параметров сейсмоизолирующих устройств. Нелинейный характер функционирования сейсмоизолирующих устройств требует выбора соответствующих методов расчета на сейсмические воздействия с учетом принципов многоуровневого проектирования (МУП). В связи с этим актуальным является решение вопросов расчета и подбора оптимальных параметров опорных частей железнодорожных мостов.

2. В действующих нормативных документах по сейсмостойкому строительству транспортных сооружений не отражены вопросы сейсмостойкости сооружений с учетом многоуровневого проектирования. К сожалению, в транспортном строительстве отечественные проектные институты в расчетах мостов на сейсмостойкость не используют записи реальных акселерограмм землетрясений и ограничиваются линейно-спектральными расчетами из-за отсутствия сведений о ситуационной сейсмичности территории Узбекистана. В связи с этим автором на основе карт сейсмической сотрясаемости территории стран СНГ предложена методика оценки сейсмической опасности территории Республики Узбекистан с учетом генерации сейсмических волн землетрясений.

3. Выявлено влияние точности настройки динамического гасителя колебаний для больших гасящих масс в случае, когда масса гасителя (пролетного строения) в 2 и более раза превышает массу, подвергающуюся сейсмическому воздействию конструкции (опоры).

4. В качестве нового научного решения принято использование массы пролетного строения в качестве динамического гасителя колебаний (ДГК) для опоры железнодорожных мостов и эстакад. МУП позволяет подобрать оптимальные строительно-технологические параметры по жесткости и демпфированию для гашения колебаний опор железнодорожных мостов.

5. Внедрением в практику проектирования пакета «Программы автоматизированного метода расчета эффективности динамических гасителей колебаний опор балочных мостов» установлено, что во время сейсмических колебаний пролетное строение выступает в роли ДГК опор, и колеблется в противофазе с опорами, снижая на них сейсмические нагрузки на 48% (при применении сейсмозащиты), следовательно, позволяет повысить сейсмостойкость железнодорожного моста. Использование в расчетах пакета «Программа по разработке методики подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей балочных мостов» существенно упростило задачу проектирования сейсмозащитных устройств мостов.

6. На основе разработанной методики даны практические рекомендации по подбору параметров сейсмоизоляции. При этом снижение сейсмических нагрузок на опоры оказались возможными за счет использования податливых (сейсмоизолирующих) опорных частей. Сейсмозащита моста допускает два типа настройки жесткости опорных частей:

– в режиме динамического сейсмогашения, пролетным строением моменты в опоре практически в 2 раза меньше (1494 Тм), чем при жестком креплении пролетных строений (2870 Тм) и в 1,3 раза меньше, чем в опоре

без учета пролетного строения (1940 Тм); в этом случае значения смещений пролетного строения от тормозной нагрузки на 25% превышают данные регламентированные нормами;

– в режиме сейсмоизоляции возможно выделить 2 возможных настройки: настройку, обеспечивающую предельные смещения и настройку, при которой момент по подошве опоры с пролетным строением оказывается такой же, как без пролетного строения. При первой настройке моменты в опоре оказываются в 1,69 раза меньше, чем при жестком креплении пролетных строений и в 1,14 раза меньше, чем в опоре без пролетного строения; при второй настройке момент в опоре падает в 1,48 раз.

7. Расчет по акселерограммам показывает эффективность принятых технических решений сейсмоизоляции моста. Принятые решения обеспечивают благоприятные сценарии накопления повреждений в сооружениях, так как при всех расчетных землетрясениях опорные части и пролетные строения моста при землетрясении не повреждаются, а имеют места подвижки в овальных соединениях, которые начинаются при сильных воздействиях 6 баллов с повторяемостью раз в 30-50 лет и достигают расчетного значения 8см для 8 балльных воздействий с повторяемостью раз в 500лет. Другой резерв в овальном отверстии до 22см может обеспечить сейсмостойкость моста при воздействиях с повторяемостью раз в 5000лет.

8. Исходя из вышеперечисленных можно сказать, что результат выполненных расчетов гарантирует эффективность ДГК для снижения нагрузок, при этом затухания равной 1,2 дают наименьшие смещения пролетного строения и верха опоры путепровода, а также уменьшаются сдвиги в ФПС, чем затухания равной 0,4. Следует отметить, что даже при ПЗ ДГК не избавляет смещения пролетного строения и сдвиги в ФПС получаются равными 1-4см. При расчетах на МРЗ в выбранных акселерограммах сдвиги получаются максимально 22 см, с исключением акселерограммы Nortridge, и при увеличении затухания можно достиг 15см сдвига.

9. Результаты по оценке работоспособности элементов мостового полотна при эксплуатационных нагрузках показали, что максимальные горизонтальные смещения рельсов равны 6,6мм, что меньше допустимого значения $0.5\sqrt{l}=0.5\sqrt{25}=25\text{мм}$, согласно п.5.47 СП35.13330.2011. Максимальные напряжения в рельсах от вертикальной нагрузки подвижного состава равны 1530 кг/см^2 , от ударов подвижного состава – 480 кг/см^2 , а от совместного воздействия вертикальных временных нагрузок С14 и горизонтальных поперечных ударов подвижного состава с учетом коэффициентов сочетания нагрузок, согласно п.6.1 СП35.13330.2011 – 1560 кг/см^2 . Таким образом, удары подвижного состава не оказывают существенного влияния на НДС рельсов.

10. Применение системы сейсмозащиты позволило уменьшить объем одной опоры на 48 м^3 железобетона, также уменьшен процент армирования стойки опоры на 15 кг/м^3 , что в сумме позволило сэкономить 5,6тонн

арматуры на одну промежуточную опору, стоимость которой составляет 142,044 млн. сум. При наличии пяти пролетных строений и, соответственно, 4-х промежуточных опорах, величина сэкономленных средств составить 568,176 млн. сумов. Предлагаемое автором техническое решение кардинально удешевляет ремонтные работы после возможного и ожидаемого землетрясения. Примерный подсчет общих ущербов в связи с закрытием железнодорожной линии на 24 часа по причине технической неисправности из-за сейсмического воздействия составляют в пределах 564 987 792 сума без учета ремонтных работ.

11. Выполненные автором по разработанной методике примеры расчетов и рекомендации сейсмозащиты мостов и эстакад с тремя уровнями сейсмозащиты показали, что за счет применения устройств сейсмоизоляции имеется возможность сократить в 1,2 раза расход основных строительных материалов и, соответственно, стоимость строительства в сейсмоопасных районах с расчетной сейсмичностью в 9 баллов.

Автор выражает огромную благодарность своему научному консультанту академику АН РУз, д.т.н., профессору Г. Рашидову за постановку темы диссертации, ценные консультации и оказанную помощь при выполнении исследования, обсуждении и внедрении результатов, а также д.т.н., профессору А.М. Уздину и к.т.н., доценту И.О. Кузнецовой за консультации по вопросам разработки методик и универсальных прикладных программ, которые позволили ускорить получение результатов по оценке сейсмостойкости железнодорожных мостов систем жизнеобеспечения человека.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.18/30.12.2019.T.09.01
ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE
TRANSPORT UNIVERSITY**

THE TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

SHERMUXAMEDOV ULUGBEK ZABIXULLAEVICH

**JUSTIFICATION OF EFFICIENCY AND SELECTION OF PARAMETERS
OF SEISMIC SUPPORTING PARTS OF RAILWAY BRIDGES AND
OVERPASS TAKING INTO ACCOUNT MULTI-LEVEL DESIGN IN THE
CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

**05.09.02 – Basements, foundations and underground structures.
Bridges and transport tunnels. Roads, subways**

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc)
ON TECHNICAL SCIENCES**

The subject of doctoral dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan № B2021.2.DSc/T331.

The doctoral dissertation has been prepared in the Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on web-page of Scientific Council at the address (www.tstu.uz) and information-educational portal "ZiyoNet" at the address (www.ziynet.uz).

Scientific adviser:

Rashidov Tursunbay

doctor of technical sciences, professor, academician

Official opponents:

Ishankhodjaev Abdurahman Asimovich

doctor of technical sciences, professor

Yuldashev Sharafitdin Saifitdinovich

doctor of technical sciences, professor

Smirnov Vladimir Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Tashkent Institute of Architecture and Construction

The defense will take place on "11" September 2021 at 10⁰⁰ at the meeting of the One-time Scientific Council based on the Scientific Council DSc.18/30.12.2019.T.09.01 at the Tashkent State Transport University. (Address: 100167, Tashkent, str. Temiryo'lchilar, 1. Tel/fax: (+99871) 299-00-01, e-mail: rektorat@tstu.uz, tashiit@exat.uz).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent State Transport University (is registered number No 032). Address: 100167, Tashkent, str. Temiryo'lchilar, 1. Tel/fax: (+99871) 299-00-01.

Abstract of dissertation sent out on "24" August 2021 year.
(mailing report № 3 on "2" August 2021 year).



A.A. Riskulov

Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

R.M. Xudaykulov

Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy, associate professor

I.S. Sodikov

Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of doctoral (DSc) dissertation)

The aim of the study is to substantiate the possibility of using seismic isolation and the selection of the optimal parameters of seismic support parts of railway bridges, taking into account multi-level design for the development of their methods of calculating seismic effects in the conditions of the Republic of Uzbekistan.

Research objectives:

undertaking a study of the current state of issues seismic and seismic graphic survey on railway bridges and overpasses, character and their damage during strong earthquakes, methods based on seismic effects, and the principles of multi-level design;

development of methods for calculating bridges, taking into account the generation of seismic effects and the selection of optimal parameters of seismic support parts in terms of stiffness and damping;

assessment of the influence of tuning accuracy on the efficiency of using dynamic vibration dampers of various masses, as well as peak accelerations and the probability of their exceeding for design (DE) and maximum design earthquakes (MDE);

development of methods for calculating bridge supports in the longitudinal direction for the action of design earthquakes, as well as nonlinear calculation of oval holes in support parts, shift along the oval during design and maximum design earthquakes;

technical implementation of the developed methods for calculating railway bridges for seismic effects in the conditions of the Republic of Uzbekistan and the development of new technical solutions for the design and placement of seismic protection devices for bridges;

assessment of the behavior of seismically isolated railway bridges under seismic impacts of various levels and performance and elements of the bridge bed under operational loads;

development of practical recommendations for seismic protection of railway bridges and overpasses in seismic regions.

The object of research covers railway bridges and overpasses located in the seismic regions of the Uzbekistan Republic.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

the expediency of using promising structures for dynamic damping of vibrations of supports of railway bridges and overpasses using the method of multilevel design has been substantiated;

method has been developed for the selection of the optimal construction and technological parameters of seismic support parts using the mass of the superstructure in the form of a dynamic vibration damper for the supports of railway bridges and overpasses;

developed a methodology for assessing peak accelerations and the probability of their exceeding for design and maximum design earthquakes, taking into account the seismic conditions of the Republic of Uzbekistan;

method has been developed for assessing the influence of the tuning accuracy of the dynamic damper of the damping mass oscillations, when the mass of the

damper (superstructure) is several times (2 or more times) greater than the mass of the support subjected to seismic action;

the efficiency of application of seismic isolation of bridges and overpasses has been substantiated under weak impacts, and in case of strong impacts – the selection of optimal construction and technological parameters of seismic protection devices using the method of calculation based on accelerograms of earthquakes of railway bridges;

methods have been developed for calculating bridge supports under seismic action in the longitudinal direction, as well as nonlinear calculation of oval holes and shear along the oval of seismic isolation devices under various influences;

taking into account the seismic conditions of the Republic of Uzbekistan, an assessment was made of the operational reliability of seismically isolated railway bridges under various (design and maximum design) effects of earthquakes and the performance of the bridge deck elements under operational loads using real and synthetic accelerograms.

Implementation of research results. On the basis of the obtained scientific results of the study to substantiate the effectiveness and selection of the optimal parameters of seismic support parts of railway bridges and overpasses, taking into account multi-level design in the conditions of the Republic of Uzbekistan:

An automated method for calculating the effectiveness of dynamic vibration dampers for supports has been introduced at the “Toshtemiryo’lloyiha” LLC enterprise as part of “O’zbekiston Temir Yo’llari” JSC (Certificate from “O’zbekiston Temir Yo’llari” JSC No. 01/2136-21 dated May 20, 2021). The application of the research results allows the designer a wide opportunity in choosing the sizes and rigidity of the designed elements of seismic protection devices of railway bridges.

The developed methodology for the selection of optimal construction and technological parameters of seismic-protective support parts of girder bridges was introduced at the “Toshtemiryo’lloyiha” LLC enterprise as part of “O’zbekiston Temir Yo’llari” JSC and showed sufficient efficiency in obtaining the parameters of stiffness and damping of seismic support parts at various mass ratios (Certificate from “O’zbekiston Temir Yo’llari” JSC No. 01/2136-21 dated May 20, 2021). As a result, the use of seismic protection with rod shock absorbers, selected with optimal parameters, made it possible to increase the seismic resistance of the railway bridge due to the reduction of seismic loads by 48%.

The developed methodology for the selection of optimal construction and technological parameters of seismic support parts of railway bridges, taking into account multi-level design, was introduced in the design of bridges on the Sochi-Adler line with a seismic isolation system made by " Stroycomplex-5" (Russian Federation, certificate from LLC “Stroycomplex-5” No. 078 / 21-91-M / 01 dated May 25, 2021). As a result, the use of seismic-isolating support parts made it possible to reduce seismic loads on the bridge support and increase the efficiency of dynamic vibration dampers of the supports, and reduce the consumption of basic building materials by 1,2 times.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The volume of the thesis covers 200 pages, including the main part described in 180 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Шермухамедов У.З. Гашение продольных сейсмических колебаний опор балочных мостов с сейсмоизолирующими опорными частями. (Монография). – Ташкент, Издательство “Complex Print”, 2020. – 260 с.
2. Шермухамедов У.З. Использование пролетного строения в качестве динамических гасителей колебаний опор для повышения сейсмостойкости мостов // Журнал “Проблемы механики”. – Ташкент, ИМиСС, №3-4, 2011. – С. 74-76. (05.00.00; №6).
3. Шермухамедов У.З. Современные технические решения опорных частей для сейсмозащиты мостов // Журнал “Вестник ТашИИТ”. – Ташкент, №2, 2011. – С. 15-17. (05.00.00; №11).
4. Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш. Выбор опорных частей мостов в сейсмических районах // Журнал “Проблемы механики”. – Ташкент: ИМиСС, Вып. №2, 2015. – С. 59-62. (05.00.00; №6).
5. Салямова К.Д., Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш. Повреждения мостов при сильных землетрясениях // Журнал “Вестник ТашИИТа”. – Ташкент, №2, 2015. – С. 9-13. (05.00.00; №11).
6. Салиханов С.С., Шермухамедов У.З. Строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей и пути их дальнейшего развития в республике Узбекистан // Журнал “Вестник ТашИИТа”. – Ташкент, №2/3, 2016.– с. 55-57. (05.00.00; №11).
7. Шермухамедов У.З. Методы антисейсмического усиления мостов // Журнал «Проблемы механики». – Ташкент: ИМиСС, Узбекистан. №2-3. – 2017. – С. 87-89. (05.00.00; №6).
8. Шермухамедов У.З. Особенности исследование теории двухмассовой системы с жестко присоединенной концевой частью моста с учетом сейсмических воздействий // Журнал «Проблемы механики». – Ташкент: ИМиСС, Узбекистан. – 2018, №1. – С. 73-75. (05.00.00; №6).
9. Шермухамедов У.З., Зокиров Ф.З. Темир йўл темирбетон кўприк элементларида замонавий самарали материалларни қўллаш // Журнал “ТошТЙМИ Ахборотномаси”. – Ташкент, 2019, №3-сон. – С. 8-13. (05.00.00; №11).
10. Чижов С.В., Шермухамедов У.З., Кадирова Ш.Ш. Метод оценки остаточного ресурса протяженных конструкций // Журнал “Вестник ТашИИТа”. Спец.Вып. – Ташкент, 2020. – С. 93-98. (05.00.00; №11).
11. Шермухамедов У.З., Салиханов С.С. Современное состояние и перспективы строительства эстакадных высокоскоростных железнодорожных магистралей в сейсмических условиях Республики Узбекистан // Журнал “Вестник ТашИИТа”. – Ташкент, Вып. №2, 2020. – С.3-8. (05.00.00; №11).

12. Шермухамедов У.З., Кузнецова И.О. Влияние точности настройки динамических гасителей колебаний на сейсмостойкость мостов // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2012. №41. – С. 175-181. (№12, Index Copernicus; №25, DOAJ).

13. Ергашев З.З., Шермухамедов У.З., Абдукадыров Ф.Э. Особенности обеспечения сейсмостойкости железнодорожных мостов на высокоскоростных магистралях // Научно практический журнал “Высшая школа”. – Уфа, Российская Федерация, 2016. №18. – С. 70-72. (№18, Ulrichs Periodicals Directoty).

14. Ергашев З.З., Шермухамедов У.З., Абдукадыров Ф.Э. Примеры технических реализаций мостов при продольных сейсмических колебаниях на высокоскоростных линиях // Журнал научных и прикладных исследований. Уфа, Российская Федерация, 2017. №1. – С. 72-75. (№18, Ulrichs Periodicals Directoty).

15. Алатырцева Е.Л., Уздин А.М., Долгая А.А., Шермухамедов У.З., Шульман С.А. Сейсмоизоляция железнодорожного моста в Узбекистане. Научно-технический журнал // «Природные и техногенные риски. безопасность сооружений». – СПб.: РФ. – 2021. №1. – С. 33-37. (№9, GeoRef; №25, Directory of Open Access Journals).

16. Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. Features of the theory of a two-mass system with a rigidly connected end of the bridge, in consideration of seismic influence on high-speed railways // European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 2020. Vol.7, Issue 2 – Pp. 1160-1166. (№3. Scopus. IF=8.1).

17. Shermuxamedov U., Salixanov S., Shaumarov S., Zokirov F. Method of selecting optimal parameters of seismic-proof bearing parts of bridges and overpasses on high-speed railway lines // European Journal of Molecular & Clinical Medicine, 2020. Vol. 7, Issue 2, – Pp. 1076-1084. (№3. Scopus. IF=8.1).

18. Shermuxamedov U., Shaumarov S. Impact of configuration errors on the dynamic oscillation absorbers effectiveness of different masses on the seismic resistance of bridges // XXII International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering. Construction the formation of living environment 2019. April 18-21, Tashkent, Uzbekistan. (№3. Scopus)

19. Shermuxamedov U., Shaumarov S., Uzdin A. Use of seismic insulation for seismic protection of railway bridges // E3S Web of Conferences «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2021), Tashkent, Uzbekistan, April 1-3, 2021 y. (№3. Scopus).

II бўлим (II часть; II part)

20. Шермухамедов У.З., Адылходжаев А.И., Шаумаров С.С., Каримова А.Б., Абдуллаев А.Р., Кадирова Ш.Ш. «Разработка методики подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей балочных мостов» // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство №DGU 10283. 27.01.2021г.

21. Шермухамедов У.З., Адылходжаев А.И., Шаумаров С.С., Каримова А.Б., Зокиров Ф.З. «Автоматизированный метод расчёта эффективности гашения динамических гасителей колебаний опор балочных мостов» // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство №DGU 10281. 27.01.2021г.

22. Шермухамедов У.З. Исследование теории двухмассовой системы с жестко присоединенной концевой частью моста // Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсоберегающие технологии на железнодорожном транспорте» 5-6 декабря 2012 года. – С. 155-157.

23. Shermuxamedov U.Z. Research of the theory dual mass system with rigidly fixed end of the bridge // TRANSPORT PROBLEMS 2013. Under the Honorary Patronage of the Silesian Governor and mayor of Katowice City. Poland II International symposium of young researchers. – Pp.603-606.

24. Шермухамедов У.З. Методика подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей мостов // Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсоберегающие технологии на железнодорожном транспорте» 6-7 декабря 2013 года. ТашИИТ. – С. 99-101.

25. Shermuxamedov U.Z. Influence of dynamic oscillation dampers adjustment accuracy on the seismic resistance of bridges // TRANSPORT PROBLEMS 2014. Under the Honorary Patronage of the Silesian Governor and mayor of Katowice City. Poland III International symposium of young researchers. – Pp. 845-849.

26. Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш. К вопросу многоуровневого проектирования мостов в Республике Узбекистан // Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсоберегающие технологии на железнодорожном транспорте» 6-7 декабря 2014г. ТашИИТ. – С. 81-83.

27. Шермухамедов У.З., Насрединов Н.С., Кадырова Ш.Ш. Методика подбора оптимальных параметров сейсмозащитных опорных частей мостов // «Новые технологии в мостостроении» Сборник трудов, СПб.: ПГУПС. – 2015. – С. 134-138.

28. Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш. Методика расчета мостовых конструкций с учетом сейсмических нагрузок на высокоскоростных линиях // Международная научно-техническая конференция “Прочность конструкций, сейсмодинамика зданий и сооружений”. Институт сейсмостойкости сооружений. – Ташкент: ИСС АН РУз. – 2016.– С. 102-104.

29. Шермухамедов У.З. Разработка возможных технических решений по сейсмозащите железнодорожного моста // Международная конференция «Актуальные проблемы современной сейсмологии» Ташкент: АНРУз Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова. – 2016. – С. 713-720.

30. Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш., Асанова Г.О. Методы защиты мостов от сейсмических воздействий // Периодический научный сборник по материалам XXII Международной научно-практической конференции.

Современные тенденции развития науки и технологий. г. Белгород, 2017 г. – С. 20-23.

31. Шермухамедов У.З., Кадырова Ш.Ш. Развитие теории сейсмостойкости транспортных сооружений // Перспективы развития строительных технологий. Материалы 11-й международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Днепропетровск. Украина. 2017. – С. 116-119.

32. Шермухамедов У.З., Абдуллаев А.Р. Расчет промежуточных опор железнодорожных мостов на ПК ЛИРА // Международная конференция, посвященная 135-летию кафедры «Мосты, «Новые технологии в мостостроении». СПб.: ПГУПС. – 2018. – С. 156-162.

33. Рашидов Т.Р., Шермухамедов У.З., Абдуллаев А.Р. Разработка методики расчета мостовых конструкций с учетом сейсмических воздействий на высокоскоростных линиях // Журнал “Вестник КазДОРНИИ”. Вып. 1-2 (61-62). Алматы, Казахстан, 2019.– С. 401-407.

34. Салиханов С.С., Шермухамедов У.З. Мостовое полотно железобетонных мостов с использованием нового типа гидроизоляции // Журнал “Путевой навигатор”. – СПб.: РФ. – 2020. – с. 30-34.

Автореферат «ТДТУ Хабарномаси» илмий-техник журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларининг мослиги текширилди.

Бичими 60x84^{1/16}. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 4,25. Адади 100. Буюртма № 44-12/2021.

ТДТУ нусха кўпайтириш бўлимида чоп этилди.
Манзил: 100167, Тошкент ш., Миробод тумани, Одилхўжаев кўчаси, 1-уй.

