

SPATIAL VIBRATIONS OF A RAILWAY BRIDGE UNDER THE INFLUENCE OF AN EARTHQUAKE

Askarova D.S., Mirzaev I.

Tashkent State Transport University (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract This paper discusses the specifics of seismic stability of railway bridges. The results were obtained by using the SHARK program on the basis of real earthquake records. The stress – strain state of a 29.6 meter long railway bridge in the span located on the second high – speed electrified section of the Navoi – Bukhara railroad has been analyzed. The displacements and stresses of the railway bridge designed, built and used for a 9 point seismic zone in the calculations for an earthquake of more than 9 points showed that their values correspond to the accepted norms.

Keywords railway bridge, seismic protection, span, support, real earthquake records, seismogram.

ТЕМИР ЙЎЛ КЎПРИГИНИНГ ЗИЛЗИЛА ТАЪСИРИДА ФАЗОВИЙ ТЕБРАНИШИ

Аскарова Д.С., Мирзаев И.

Ташкентский государственный транспортный университет (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация Ушбу мақолада темир йўл кўпригининг сейсмик чидамлилигини таъминлаш хусусиятлари кўриб чиқилган. Иккинчи тезюар электрлаштирилган “Навоий – Бухоро” темир йўл участкасида жойлашган перегондаги узунлиги 29.6 метрни ташкил этувчи темир йўл кўпригининг зилзилабардошлиги зилзиланинг мавжуд ёзувлари асосида ҳисобловчи ШАРК дастури ёрдамида олинган натижалар таҳлил қилинган. Юқори сейсмик ҳудуд учун лойиҳаланган, қурилган ва фойдаланилаётган темир йўл кўпригининг ҳатто 9 баллдан юқори зилзила пайтидаги кўчишлари ва кучланишлари қабул қилинган нормаларга жавоб беради.

Ключевые слова темир йўл кўприги, перегон, сейсмоҳимоя, оралиқ қурилма, таянч, зилзилаларнинг ёзувлари, сейсмограмма.

Кириш. Темир йўллардаги кичик ва ўрта узунликдаги кўприкларнинг қурилишида асосан темирбетон элементлар қўлланилади. Ўзбекистонда темирбетон кўприклар темир йўллардаги кўприкларнинг 70% ни ташкил этади. Қурилиш нархининг нисбатан кичиклиги, эксплуатацион сарф – харажатларининг камлиги, ишончилиги, узок муддатга чидамлилиги темирбетон кўприкларнинг афзалликларидан [1].

Темир йўл транспорти иқтисодий фойдали ва хавфсизлиги бўйича ишончли ҳисобланиши билан биргаликда табиий шарт – шароити ва ҳудудий жойлашувига кўра сейсмик таъсирлар юқори бўлган ҳудудларда, айниқса шаҳарлашган ҳудудларда ҳаётни қўллаб – қувватлаш учун алоҳида аҳамиятга эга [2]. Дунё бўйлаб шаҳарлашган ҳудудларнинг катта қисми юқори сейсмик ҳудудларда жойлашган. Шу муносабат билан айтиш вақтида зилзилабардошлик сифатига транспорт иншоотлари қурилиши масалаларида катта эътибор қаратилмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 30 майдаги “Ўзбекистон Республикаси сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора – тадбирлари тўғрисида” ги ПФ – 144-сонли Фармони ҳозирги пайтда қурилиш соҳасининг барча жабҳасида, жумладан кўприксозлик соҳасида фаолият кўрсатаётган ташкилот ва

мутахассислар учун йўналтирувчи дастур ҳисобланади. Сўнгги йилларда мамлакатимизда сейсмология, иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини ва сейсмик хавфсизликни таъминлаш соҳаларини ривожлантириш ҳамда соҳа ташкилотларининг фаолияти самадорлигини тубдан ошириш бўйича кенг қўламли комплекс чора – тадбирлар амалга оширилди. Бугунги кунда бу соҳалардаги ислохотларни изчил давом эттириш, аҳолининг сейсмик хавфсизлигини таъминлашнинг янги усуллари жорий қилиш муҳим аҳамият касб этмоқда [3].

Маълумки, Ўрта Осиё, айниқса, Ўзбекистон ҳудуди сейсмик фаол ҳудуд ҳисобланади. Шу сабабли, кўприклар, йўл ўтказгичлар ва эстакадаларни лойиҳалаш ва қуришда юқори талаблар қўйилади, чунки уларнинг вақтинчалик ишдан чиқиши ёки бузилиши ижтимоий ва катта иқтисодий зарар келтиради. Бундай ҳолатларнинг олдини олиш учун лойиҳалашда кафолатланган тарзда мустаҳкамликни таъминлаш мақсадида замонавий дастурий мажмуалардан фойдаланиш талаб этилади. ШАРК (конструкциялар ҳисобининг қадамли алгоритмлари) дастурий мажмуа фазовий турли мураккаб конструкцияларни, хусусан кўприклар ва йўл ўтказгичларни, сейсмограммаларнинг мавжуд ёзувлари асосида зилзилалар таъсирига ҳисоблаш имкониятини беради [4, 5]. Транспорт иншоотларида зилзилабардошликни таъминлашда асосан сейсмик изоляциялаш қурилмаларидан, яъни сейсмик таъсирлар пайтида унинг бир қисмини иншоотга ўтказмаслик ва тебранишларни сусайтириш учун фойдаланилади [6-8].

Сейсмик изоляция ҳозирги вақтда кўприкларнинг сейсмик чидамлилигини таъминлашнинг асосий воситаларидан бири ҳисобланади, айниқса сейсмик интенсивлиги 8 ва ундан ортиқ балл бўлганда. Кўприкларнинг таянч қисмига, яъни оралик қурилма ва таянч орасида, уларнинг бир – бири билан узвий боғланиши ва зилзилабардошлигини ошириш мақсадида, силжиш деформациясига эга ёки сирпанувчан сейсмик изоляциялаш қурилмалари ўрнатилади. Одатда, бунинг учун каучук, резина – металл, текис ёки сферик таянч қисмлар ишлатилади, бу эса оралик қурилма ва таянч ўртасида сезиларли ўзаро хавфсиз силжишларни таъминлайди. Натижада оралик қурилмада ва таянчда катта кучланишлар пайдо бўлишининг олдини олади. Ушбу усул муқобил ечим бўлса-да ва деярли барча мамлакатларда қўлланилса ҳам улардан фойдаланиш асосан автомобил йўл кўприкларида фойдаланилган [9]. Темир йўл кўприкларида кўпроқ қуруқ ишқаланишга ва эластик тангенциал кўчишга ишлайдиган ҳамда вертикал тебранишларни сўндирадиган таянч қисмидан фойдаланилади [2].

Ҳозирги кунда Ўзбекистонда зилзилага чидамли иншоотларни лойиҳалаш учун амалдаги ҚМҚ 2.01.03-19 “Сейсмик ҳудудларда қурилиш”, транспорт иншоотлари учун эса ШНК 2.01.20-16 “Сейсмик ҳудудларда транспорт иншооти қурилиши” [10, 11] амалдаги меъёрий ҳужжатлари мавжуд. Шунингдек, ШНК 2.05.03-12 “Кўприклар ва қувурлар” меъёрий ҳужжатида кўприклар учун, оралик қурилмаларининг ҳаракатланувчи вақтинчалик тик йўналишдаги юклар таъсиридан ҳосил бўладиган эластик эгилишларини чеклаш йўли билан унинг устидан транспорт воситаларининг равон ҳаракатларини таъминлаш ва йўлнинг ёки ўтиш қисми бўйлама қирқимининг унга мос келадиган шакллари бўйича кўрсатмалар келтирилган [12]. Кўприк ва йўл ўтказгичларни зилзила таъсирига ҳисоблаш зилзилаларнинг мавжуд ёзувлари бўйича олиб борилиши уларда ҳосил бўладиган кучланганлик – деформацияланганлик ҳолатларини аниқроқ таҳлил қилишга имкон беради [13].

Дунё тажрибасида аркали, вантли ва турли тузилишдаги темир йўл кўприкларига доир илмий ишлар ва тажрибалар жуда кенг учрамоқда [14-18]. Бу тадқиқотлардаги янгиликлар темир йўл кўприкларининг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолдаги натижалар ҳисобланиб, бундай кўприкларни қуриш Ўзбекистон тажрибасида ҳам қўлланилиши керак.

Россиялик олимлар И.О. Кузнецова, А.М. Уздин, А.А. Долгая, М.В. Фрезе, С.А. Шульман ўзларининг илмий ишланмаларидаги услубни Сочидаги темир йўл кўприкларини қуришда ишлатилган оралик таянч сейсмик изоляциялаш мосламаларида қўллашган.

Таклиф этилган таянч қисмининг ишлаш принципи ҳар хил элементларнинг горизонтал ва вертикал кучлар битта ягона узелга таяниб, горизонтал юкланишлар маълум қийматга етганда қуруқ ишқаланиш асосида сейсмоҳимоя вазифасини ҳам бажаради [2]. Шунингдек, ишқаланиш – демпфер таянч қисмларининг сейсмик изоляциялаш самарадорлигини илмий – техник асослаш услуги таклиф этишган [19].

Ўзбекистонлик тадқиқотчи олимлар У.З. Шермухамедов, С.С. Шаумаров бир қатор изланишларини россиялик етакчи мутахассис олим А.М. Уздин билан ҳамкорлик лойиҳаларидан бирида сейсмик интенсивлиги 9 баллик бўлган ҳудудда жойлашган кўприк таҳлилини ёритишда, сейсмик изоляцияни танлашда демпфер таъсири туфайли таянчларда сейсмик мавжуд бўладиган максимал кучлар, таянчнинг демпферловчи қурилма қўйилмаганига нисбатан камроқ бўлишига эришиш мумкинлигини исботлаб беришган [20].

Туркиянинг марказий қисмида жойлашган Болу Виадук Транс Европа автомагистрали иккита параллел кўприкдан иборат. 1999 йил ноябр ойида Дузче zilzilаси бўлган пайтда бу кўприк тизимли равишда тўлиқ яқунланган, лекин транспорт ҳаракати учун очиқ эмас эди. Зилзила рўй берган вақтда битта ҳам оралик қурилма қулаб тушмаган, аммо сейсмоҳимоя воситалари жиддий шикастланган. Бир неча оралик қурилмалар ўз ўкидан силжиб кетган (1-расм).



1-расм. 1999 йил Дузче zilzilаси вақтида Болу виадукига етказилган зарар

Зилзиладан кейин олиб борилган текширишлар шуни кўрсатдики, таянч қисмларда пайдо бўлган зўриқишлар сейсмоҳимоя воситаларини ишдан чиқарган, натижада айрим оралик қурилмалар таянчларга ва қўшни бўлган оралик қурилмаларга нисбатан кўндаланг йўналишда ортиқча силжишга олиб келган [8]. Бундай кўринишдаги бузилиш кўприкларнинг оралик қурилмалари ва таянчлари орасидаги ишқаланишни ҳисобга олган ҳолдаги зилзилабардошлиги билан боғлиқ масалаларни кўриб чиқиш зарурлигини кўрсатмоқда.

Зилзила таъсири билан боғлиқ бўлган кўприкдаги кучланганлик – деформацияланганлик ҳолатини аниқлашда мазкур ишқаланиш кучининг йўналиши, катталиги ва сирпанишнинг бошланиш – тўхташ вақтлари номаълум бўлади. Бу математик жиҳатдан чизикли бўлмаган масалага олиб келади, шунинг учун кўприкларни зилзилабардошликка ҳисоблашда бундай муаммони четлаб ўтишади.

Юқоридаги муаммолардан келиб чиққан ҳолда, сейсмик тўлқинлар таъсирида темир йўл кўприкларининг оралик қурилмалари ва таянчлари орасидаги ишқаланишни эътиборга олиб, мураккаб сейсמודинамик жараёнларни тадқиқ қилиш учун математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари яратилган [21, 22]. Натижада сейсмик тўлқинлар таъсирида темир йўл кўприкларининг оралик қурилмалари ва таянчлари орасидаги ишқаланиш кучининг ишқаланиш коэффициентини танлаш ҳисобига кўприк элементларида кучланишни камайтириш асосида кўприкнинг зилзилабардошлиги оширилади. Шу билан бирга темир

йўл кўприги конструкциясига зарурий ўзгартиришлар киритиш ҳисобига иқтисодий тежамкорликка эришилади.

Масаланинг қўйилиши. Сейсмик тўлқинлар вертикал ва иккита горизонтал кўчишлардан иборат, кўприклар ҳам уч ўлчамга эга. Темирбетон темир йўл кўприкларнинг оралик қурилмалари кўпинча турли шаклдаги кўндаланг кесимга эга балкалардан ташкил топади. Уларнинг бошқа элементлари турли хил деформацияланиш хусусиятига эгалар ва улар ўзаро эксцентритет билан уланган бўлади. Математик жиҳатдан масала мураккаб бўлганлиги учун уни ечишда сонли усуллардан фойдаланамиз.

Кўприкнинг таркибий элементлари бир пайтнинг ўзида сиқилиш – чўзилиш, эгилиш, бурилиш ёки сиқилиш – чўзилиш, силжиш, бурилиш деформацияланиш хусусиятига эга тақсимланган муҳитдан ёки массага эга бўлмаган (массасини ҳисобга олмаса бўладиган) сиқилиш – чўзилиш, силжиш, бурилишга ишлайдиган қурилмалардан ва маълум нукталарга қўйилган массалардан иборат. Ҳар бир турдаги таркибий элементларни мос равишда чекли элементли модели билан алмаштирамиз. Кўприк элементларини чекли элементлар усули билан дискретлаштирамиз, натижада қуйидаги оддий дифференциал тенгламалар системасига келамиз [5]:

$$[M]\{\ddot{u}\} + \eta[C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P\}, \quad (1)$$

бошланғич шартлари статик масаланинг ечимидан олинади:

$$\{u(t)\}_{t=0} = [u(0)], \quad \{\dot{u}(t)\}_{t=0} = \{0\}, \quad (2)$$

бу ерда $\{u(t)\}$ – конструкциянинг чекли элемент модели тугун нукталарининг абсолют кўчиш вектори, чизиқли бўлмаган масалалар учун $[M]$, $[C]$, $[K]$ матрицалар абсолют кўчиш векторига боғлиқ, $\{P(t)\}$ берилган грунтнинг ҳаракати ва таъсир этувчи кучларни ўз ичига олади. Грунтнинг ҳаракати сейсмограммалар ёзувлари шаклида берилади [23].

Юқорида келтирилган (1) тенгламалар системасини (2) шартлар бўйича ечиш учун ошкор бўлмаган чекли айирмали Ньюмарк усули [24] қўлланилади. Чизиқли бўлмаган масалаларда ечимни аниқлаштириш учун кўшимча Ньютон – Раффсон итерацияси ишлатилади [5].

Мисол тариқасида темир йўл кўприкларининг сейсмик чидамлилигини кўриб чиқиш мақсадида, тезюар электрлаштирилган “Навоий – Бухоро” темир йўл участкасининг ПК 38898+69.20 қисмида жойлашган перегондаги узунлиги 29.6 метрни ташкил этувчи темир йўл кўпригининг зилзилаларнинг мавжуд ёзувлари асосида ишловчи ШАРК дастури асосида ҳисоблаб кўрилди.

Темирбетон темир йўл кўпригида 4 та 11.5 метрли кўндаланг кесими тавр шаклда бўлган намунавий балка ишлатилган. Кўприк иншооти кўп элементлардан ташкил этилган бўлиб, улар таянчлар, таянч қисми, ригел, оралик қурилма ва бошқалар. Умумий оралик таянчлар сони 6 та, ўлчамлари: баландлиги – 2 м, асоси – 0.35×0.35 м. Таянч қисмлари кўприкнинг боши ва охирида пўлатдан тайёрланган, ўртасида эса силжишга резинага мос бикрликка эга, уларнинг вертикал бикрлиги эса 5000 марта катта. Конструкция асосан темирбетон материалдан барпо этилган – мустаҳкамлиги бўйича бетон синфи В25, эластиклик модули $E = 30000$ МПа, Пуассон коэффиценти $\nu = 0.2$ га тенг.

Темир йўл кўпригини ҳисоблаш натижалари. Темир йўл кўприги ҳисоб – китоблари натижалари Газли (Ўзбекистон) зилзиласининг мавжуд ёзувлари бўйича олинган. 17.05.1976 йилда қайд қилинган Газли (Ўзбекистон) зилзиласи MSK-64 шкаласи бўйича 9 баллдан юқори ҳисобланади. Сейсмик тўлқиннинг тарқалиш йўналишида максимал тезланиш, тезлик ва кўчиш: 7.22 м/с²; 0.62 м/с; 0.18 м, унга кўндаланг йўналишда эса: 5.9345 м/с²; 0.4818 м/с; 0.141676 м. Вертикал тезланиш 13.163 м/с², вертикал тезлик 0.57 м/с, вертикал кўчиш 0.216664 м [21].

Кучли зилзилаларнинг мавжуд ёзувлари Европа маълумотлар базасидан олинган [23, 25].

Зилзиланинг мавжуд ёзувларига асосланган ШАРК дастурида ишлаш учун дастлабки маълумотлар тайёрланди. Дискретлаштириш учун темир йўл кўприги ҳар бир турдаги чекли элемент турининг ишлашини ҳисобга олган ҳолда 81 та тугун нуқталар орқали чекли элементларга бўлинди. Ҳисоб – китоблар 0.005 секунд вақт қадами бўйича амалга оширилди, энергия йўқотилиши Рэлей шаклида ҳисобга олинган. Кўприкнинг дискрет модели умумий 116 та элементлардан иборат бўлди, 10 хил кўринишдаги элементлар характеристикалари мос тартиб рақамлари орқали берилди.

Кўприкнинг асосий ўқи бўйича балкалар орасида 0.05 м ли кичик масофа қолдирилган ва бу бўшлиқ деформацион чок билан ёпилади. Мутахассис муҳандисларга маълумки, барча транспорт иншоотлари, қурилиш жараёнида об – ҳаво шароити бунга таъсир этадиган ҳарорат таъсири муҳим омил ҳисобланади. Айнан шу ҳарорат таъсири остида ўрнатилган оралик қурилмалари орасидаги деформацион чок қабул қилинган 0.05 м ли ҳолатни сақлаб қола олиши аҳамиятли ҳисобланади.

Ҳарорат таъсиридаги кўчиш қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\delta_T = \varepsilon_T \cdot L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L, \quad (3)$$

α – ҳарорат таъсирида кенгайиш коэффиценти (бетон учун: $\alpha = 7 \cdot 10^{-6} - 14 \cdot 10^{-6}$);

ΔT – ҳароратнинг нисбатан кўтарилиши (40°C);

ε_T – деформация;

L – узунлик (балка узунлиги $L = 11.5$ м).

$$\delta_T = 14 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot 11.5 = 0.00644 \text{ м.}$$

Юқоридаги формула орқали ҳарорат таъсирига боғлаган ҳолда кўприк йўналиши бўйича кўчишни ҳисоблаш натижасида деформацион чок ўз устиворлигини сақлаб қолди. Бу эса кўприк элементларининг ҳарорат таъсирида ҳам ўз мустаҳкамлик ҳолатини сақлаб туришини исбот этмоқда.

Оралик қурилмаларнинг кўприк ўқи бўйича кетма – кет ўрнатилиши ва улар орасида бўладиган 0.05 м ли деформацион чокнинг зилзила пайтида темир йўл кўпригининг бузилиш ҳолатига келиб қолишига сабаб бўлиши ёки бўлмаслигини текширамыз.

Олиб борилган ҳисоб – китоб натижалари асосида айнан ўша қисмдаги темир йўл кўпригининг устида ҳеч қандай ҳаракат бўлмаган вақтда сейсмик тўлқин таъсирида кўприк йўналиши бўйича балкаларнинг ўзаро нисбий кўчиши натижалари максимал қиймати $t=15.275$ секундда 0.0066 м, минимал қиймати эса $t=17.945$ секундда -0.0068 метрни ташкил қилди (2-расм). Бундан кўриниб турибдики, темир йўл кўпригида жойлашган 0.05 м ли деформацион чок ўз устиворлигини ўта кучли зилзилада ҳам сақлаб турибди.

Бу ҳолат бўйича натижаларга эга бўлинганидан кейин балка узунлиги бўйича ўртадаги нуқта танлаб олиниб, балканинг ишлаш ҳолати ўрганиб чиқилди. Ох, Оу, Оз ўқлари бўйича локомотив бўлган ва локомотив бўлмаган ҳолатлар натижаларини таққослаймиз.

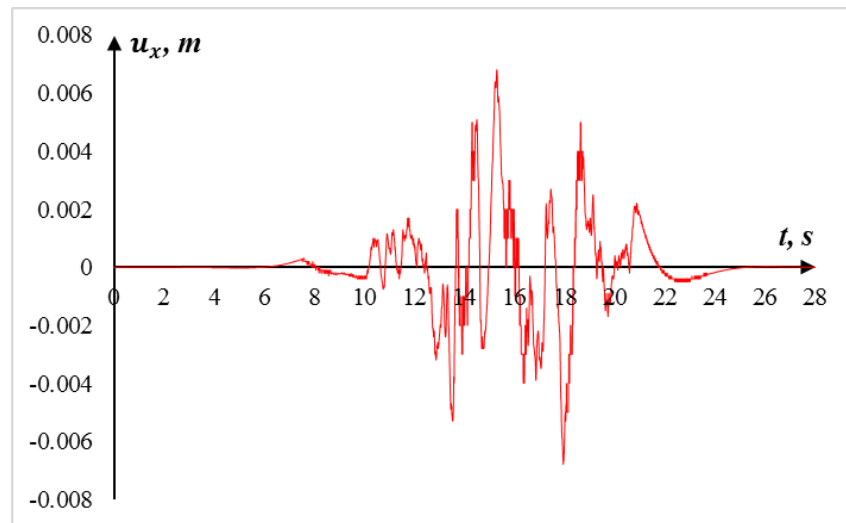
Локомотив массасини ҳисобга олишда UZTE16M тепловоз характеристикаларидан фойдаланилди:

– Умумий массаси – 14271 кг;

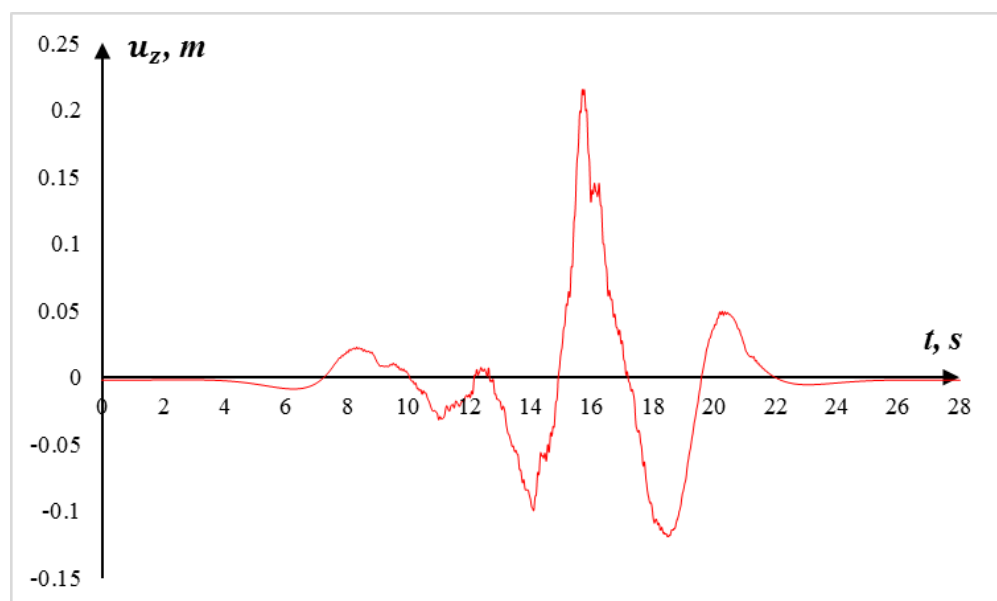
– Узунлиги – 16.969 м.

Оз ўқлари бўйича абсолют кўчишлар ҳолати ўрганилганда, темир йўл кўпригининг устида локомотив бўлмаган вақтдаги натижалари максимал қиймат $t=15.725$ секундда 0.217 м, минимал қиймат $t=18.445$ секундда -0.119 м га тенг бўлди. Локомотив бўлган вақтдаги натижа эса максимал қиймат $t=15.73$ секундда 0.215 м, минимал қиймат $t=18.445$ секундда

-0.119 м га тенг кўрсаткичларни кўрсатди (3-расм). Тебраниш вақтида локомотив массаси ҳисобига максимал абсолют кўчишлар ўзгаради ва фаза бўйича сурилиш ҳам бўлади. Шунинг учун локомотив бўлган вақтдаги кўчиш қийматлари локомотив бўлмаган вақтдаги кўчишга нисбатан бироз камроқ натижа беради.



2-расм. Сейсмик тўлқин таъсирида кўприк йўналиши бўйича балкаларнинг ўзаро нисбий кўчиши (Газли зилзиласи)



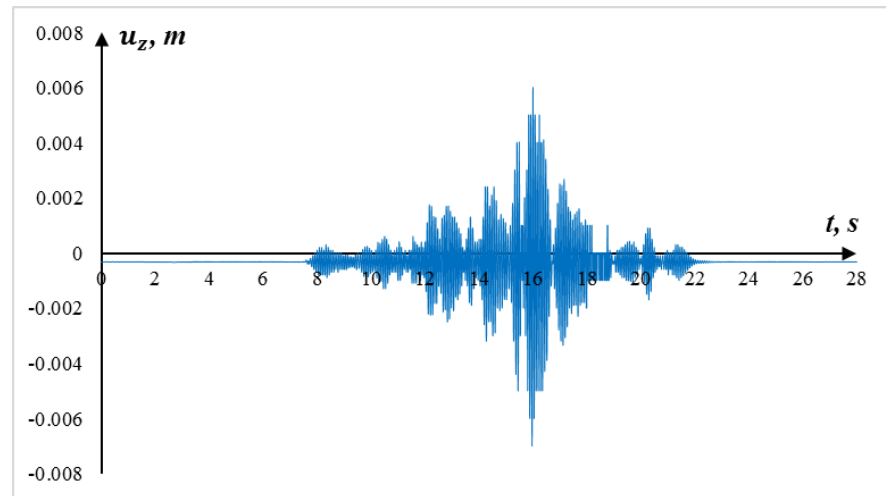
3-расм. Темир йўл кўприги балкасининг ўртасида жойлашган нуқтада вақт ўзгариши давомида Oz ўқи бўйлаб кўчиши (Газли зилзиласи)

Кўприк устида локомотив турган ва йўқлигида Oz йўналиши бўйича кўчиш ҳолати аниқ қанча фарқ қилишини иккала ҳолатдаги кўчишларнинг ўзаро айирмаси орқали аниқланди. Максимал фарқ 0.006 м га, минимал фарқ -0.007 м га тенг бўлди (4-расм).

Оралиқ қурилмаларининг ҳаракатланувчи вақтинчалик тик йўналишдаги юкнинг таъсиридан ($\gamma_f = 1$ ва динамик коэффициент $1 + \mu = 1$ ни) ҳисоблаб топилгандаги тик йўналишдаги эгилишлари (м да) қуйидаги қийматлардан ошмасликлари керак:

–темир йўл кўприклари учун ушбу ифода билан топилган $\frac{1}{800 - 1,25l}l$, аммо $\frac{1}{600}l$ дан кўп эмас [12].

Балканинг айнан кўчишлари текшириб кўрилган қисмида эгилиши бўйича бир неча натижалар олиб кўрилди. Бу ҳолатда ҳам 2 хил вазият таққосланади.



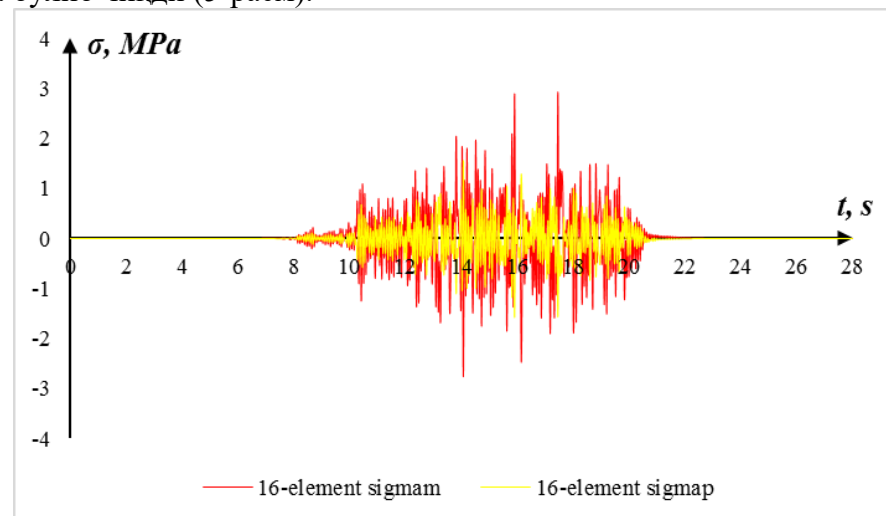
4-расм. Темир йўл кўприги балкасининг ўртасида жойлашган нуктада вақт ўзгариши давомида Oz ўқи бўйлаб кўчиш фарқи (Газли зилзиласи)

Биринчи, темир йўл кўпригининг ўз оғирлиги ҳисобига балканинг марказидаги қисмида эгувчи моменти бўйича вақтинчалик юк таъсир этмаган вақтдаги натижалари: максимал қиймат $t=14.065$ секундда $0.37 \text{ МН}\cdot\text{м}$, минимал кўрсаткич $t=17.45$ секундда $-0.38 \text{ МН}\cdot\text{м}$ га тенг бўлиб чиқди.

Иккинчи, темир йўл кўпригининг ўз оғирлиги билан биргаликда локомотив оғирлиги таъсир этаётгандаги балканинг марказидаги қисмида эгувчи моменти бўйича натижалар: максимал қиймат $t=16.14$ секундда $0.48 \text{ МН}\cdot\text{м}$, минимал кўрсаткич $t=15.905$ секундда $-0.49 \text{ МН}\cdot\text{м}$ га тенг бўлиб чиқди.

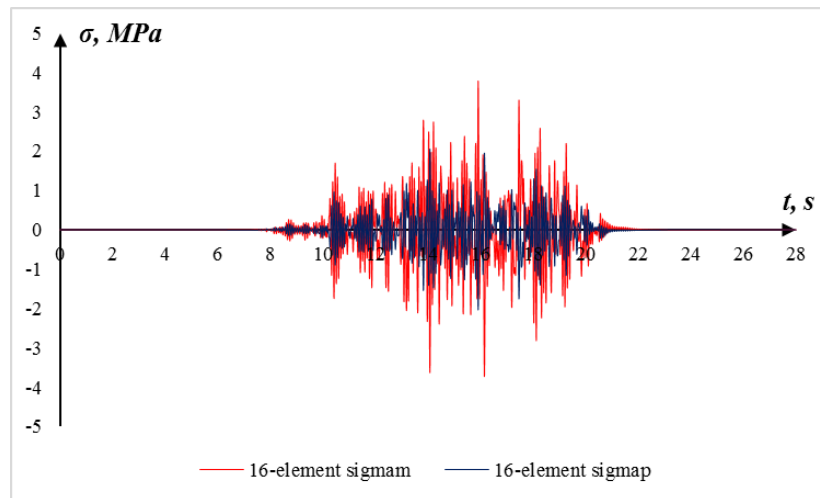
Кейинги асосий таҳлил балканинг юқори ва пастки қисмида кучланишнинг максимал ва минимал қийматлари аниқланди.

Локомотив оғирлиги ҳисобга олинмаган вақтда балканинг марказий қисмининг юқори (sigmap) қисмида нормал кучланишнинг максимал қиймати $t=14.65$ секундда 1.56 МПа , минимал қиймати $t=15.895$ секундда -1.58 МПа , пастки (sigmam) қисмда эса максимал қиймати $t=15.895$ секундда 2.9 МПа , минимал қиймати $t=14.065$ секундда -2.8 МПа кучланишга эга бўлиб чиқди (5-расм).



5-расм. Темир йўл кўприги балкасининг ўртасида жойлашган элементда вақт бўйича нормал кучланишнинг ўзгариши

Локомотив оғирлиги билан биргаликда балканинг марказий қисмининг юқори (σ_{max}) қисмида нормал кучланишнинг максимал қиймати $t=14.07$ секундда 2.1 МПа, минимал қиймати $t=16.24$ секундда -2 МПа, пастки (σ_{min}) қисмда эса максимал қиймати $t=15.905$ секундда 3.78 МПа, минимал қиймати $t=16.14$ секундда -3.73 МПа бўлди (6-расм).



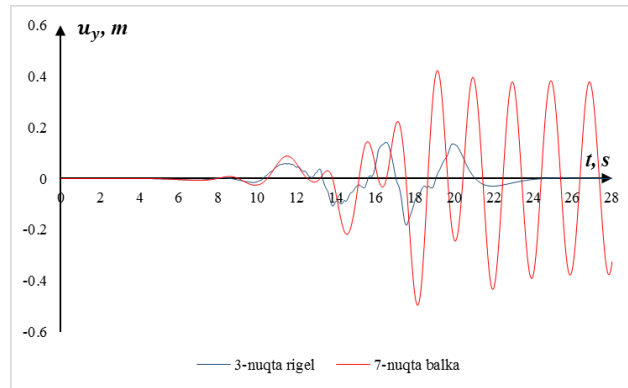
6-расм. Локомотив массаси таъсирида темир йўл кўприги балкасининг ўртасида жойлашган элементда вақт ўзгариши давомида нормал кучланиш ҳолати

Юқоридаги натижалар ШНК 2.05.03-12 норматив ҳужжатида кўра бетон синфлари бўйича рухсат этилган кучланиш миқдори билан солиштириб кўрилди. Темир йўл кўпригининг 11.5 м ли намунавий балкаси учун ишлатилган бетон синфи В25 бўлиб, рухсат этилган кучланиш миқдори 13 МПа га тенг [12]. Биз олган натижаларга кўра, темир йўл кўприги ҳар иккала ҳолатда ҳам норматив белгиланган кучланиш миқдори талабига жавоб бермоқда.

Зилзила содир бўлган вақтда таянч қисмларда пайдо бўладиган зўриқишлар сейсмоҳимоя воситаларининг ишлаш принципи оралиқ қурилмалар, таянчларга ва қўшни бўлган оралиқ қурилмаларга нисбатан кўндаланг йўналишда ортиқча силжишга олиб келиш оқибатлари ўрганилди. Юқорида кўриб чиқилган масаладан фарқли равишда бу ҳолатда балка ва ригель орасида силжиш йўналиши бўйича резина материалидан тайёрланган таянч қисмдан фойдаланилди. Темир йўл кўпригига локомотив массаси таъсир этмаган ҳолатда, Ох йўналиши бўйича кўчишлари ригель учун максимал қиймати $t=15.92$ секундда 0.149 м, минимал қиймати $t=18.345$ секундда -0.178 м, балка учун максимал қиймати $t=22.07$ секундда 0.3 м, минимал қиймати $t=14.17$ секундда -0.242 м бўлди. Улар орасидаги нисбий кўчиш фарқи: максимал қиймати $t=17.665$ секундда 0.2387 м, минимал қиймати $t=22.105$ секундда -0.2431 м.

Худди шунингдек, кўндаланг йўналишда балка ва ригельнинг резинали таянч қисм қўйилган ҳолда ишлаш ҳолати таҳлилларига кўра, ригель учун кўчишнинг максимал қиймати $t=16.395$ секундда 0.136 м, минимал қиймати $t=17.545$ секундда -0.183 м, балка учун эса максимал қиймат $t=19.12$ секундда 0.423 м, минимал қиймат $t=18.105$ секундда -0.496 м (7-расм).

Улар орасидаги нисбий кўчиш фарқи максимал қиймати $t=18.135$ секундда 0.4281 м, минимал қиймати $t=19.06$ секундда -0.4105 м га тенг. Бу ҳолат сейсмоҳимоя вазифасини бажариши керак бўлган резина материалли таянч қисми ўз вазифасини бажара олмаяпти ва бунинг натижасида кўндаланг ҳолатда балканинг силжиб кетишига сабаб бўлмоқда. Нисбий фарқ бўйича натижани оладиган бўлсак, 0.4281 м га сурилиш бу темир йўл кўпригининг бузилишига олиб келувчи қиймат ҳисобланади.



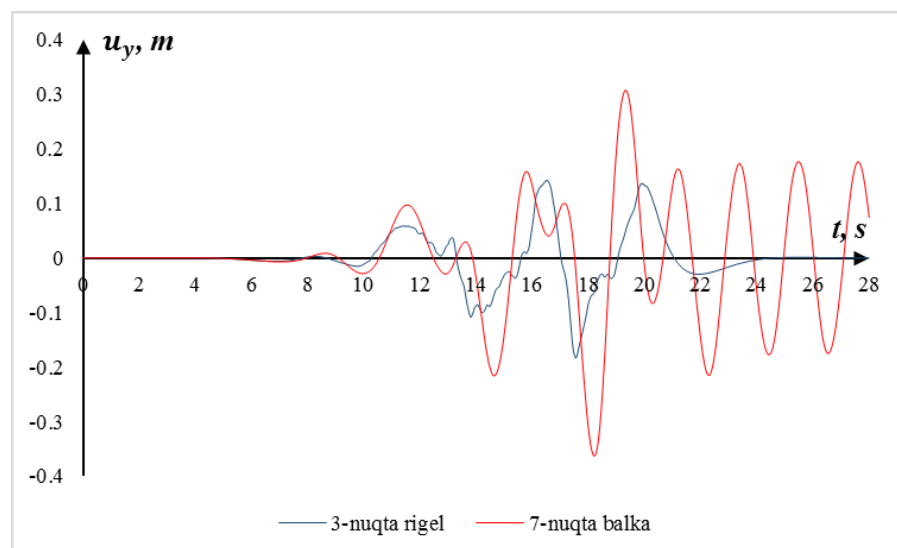
7-расм. Темир йўл кўпригининг балка ва ригель орасида резинали таянч қисм қўлланилган ҳолатда вақт ўзгариши давомида кўндаланг кўчишлари

Кўприк узунлиги бўйлаб кетма – кет қўйилган балкалар зилзила вақтида биргаликда ишлаш жараёнида балкаларнинг қўшни учларининг Ох йўналиши бўйича нисбий кўчишининг максимал қиймати $t=27.66$ секундда 0.0955 м, минимал қиймати $t=26.695$ секундда -0.0851 м. Бу натижалар кўрсатмоқдаки, зилзила вақтида кўприк ўз ўқи бўйлаб катта масофага силжиб кетмоқда, бунинг натижасида балкаларнинг учлари тўқнашишига олиб келади, яъни 0.05 метрли масофа етарли бўлмайди. Шунинг учун балкаларнинг иккала учларини бир пайтда ригельга нисбатан нисбий силжишга ишлашига имкон бермаслик керак.

Темир йўл кўпригига локомотив массаси таъсир этган ҳолатда, Ох йўналиши бўйича кўчишлар ригель учун максимал қиймати $t=15.985$ секундда 0.155 м, минимал қиймати $t=18.345$ секундда -0.178 м, балка учун эса максимал қиймати $t=22.14$ секундда 0.258 м, минимал қиймати $t=14.265$ секундда -0.263 м бўлди. Улар орасидаги нисбий кўчишлар фарқи: максимал қиймат $t=23.3$ секундда 0.1977 м, минимал қиймат $t=22.145$ секундда -0.203 м. Кўприк ўз ўқи бўйлаб зилзила вақтида сезиларли масофага силжиб кетди, бунда локомотив массасини ҳисобга олишимиз янада каттароқ силжишга олиб келди.

Кўндаланг йўналишда чап томондаги балка ва ригельнинг ишлаш ҳолатлари бўйича натижаларга кўра, уларнинг силжишлари ригель учун максимал қиймати $t=16.495$ секундда 0.142 м, минимал қиймати $t=17.545$ секундда -0.183 м, балка учун максимал қиймати $t=19.31$ секундда 0.307 м, минимал қиймати $t=18.205$ секундда -0.363 м бўлди (8-расм).

Улар орасидаги нисбий кўчиш фарқи максимал қиймати $t=18.295$ секундда 0.3053 м, минимал қиймати $t=19.25$ секундда -0.2655 м га тенг.



8-расм. Локомотив массаси таъсирида темир йўл кўпригининг балка ва ригель орасида резинали таянч қисм қўлланилган ҳолатда вақт ўзгариши давомида кўндаланг кўчишлари

Зилзила пайтида кўндаланг ҳолатда катта масофага силжиш ҳолати рўй берди ва кўприкнинг ишдан чиқишига олиб келди. Бу бузилиш ҳолати кўприкнинг бошланиш нуқтасида бўлаётганини ҳисобга олиб, кўприк узунлиги бўйлаб кейинги қисмларда кетма – кет қўйилган балкалар зилзила вақтида бир – бирига урилиб кетиш ҳолатлари бўлиши ёки бўлмаслигини ўрганилиш жараёнида нисбий кўчиш максимал қиймати $t=26.895$ секундда 0.03 м, минимал қиймати $t=27.95$ секундда -0.033 м. Ушбу натижага тайаниб хулоса қилинса, бу ҳолатда балканинг ўрганилган қисмида жойлашган 0.05 м ли деформацион чок ўз вазифасини бажаради ва балкалар бир – бирига урилмаган ҳолда тебранади. Бундан шундан хулоса қилиш мумкинки, зилзила вақтида деформацион чок локомотив оғирлиги таъсир этмаганда бузилиш эҳтимолини кўрсатмоқда, кўприк устида локомотив бўлганда эса бузилиш ҳолати кузатилмади.

Бу кўринишдаги натижалар юқоридаги Туркияда содир бўлган Дузче зилзиласи оқибатида Болу виадуксининг бузилиш ҳолатини такрорламоқда. Бундан шундай хулоса қилиш мумкинки, Болу виадуксида содир бўлган бузилиш натижаларига сабаб юқори интенсивликка ишлаши талаб қилинган таянч қисми етарли даражада тўғри танланмаган.

Кўприк пойдеворларининг юмшоқ грунт билан ўзаро таъсирини Винклер кўринишида олинганда ва унинг бикрлиги пойдеворнинг грунтга тиралган сирти бўйича ҳисобланган. Бу ҳолда зилзила таъсирида балканинг марказий қисмининг юқори (σ_{max}) қисмида нормал кучланишнинг максимал қиймати $t=16.315$ секундда 2.0998 МПа, минимал қиймати $t=16.245$ секундда -1.8766 МПа, пастки (σ_{min}) қисмда эса максимал қиймати $t=16.245$ секундда 3.5744 МПа, минимал қиймати $t=16.18$ секундда -4.02 МПа кучланишга эга бўлиб чиқди. Бу кўрсаткич юқорида кўриб чиқилган кучланиш натижаларига нисбатан каттароқ, чунки грунт конструкциянинг хос частоталарини ўзгартиради ва натижада инерция кучлари ошади, нисбатан кучлироқ тебранишга олиб келади. Лекин нормал кучланишларнинг ҳисоблаб чиқарилган қийматлари рухсат этилган кучланиш миқдори бўйича нормага тўғри келмоқда.

Хулосалар. “Навоий – Бухоро” темир йўл участкасида жойлашган перегондаги узунлиги 29.6 метрни ташкил этувчи темир йўл кўпригининг зилзилабардошлиги бўйича Газли зилзиласининг мавжуд ёзувлари асосида олинган ҳисоб натижаларига кўра, оралик қурилмалардаги нормал кучланишлар амалдаги меъёрий ҳужжатлар талабларига жавоб беради.

Агар оралик қурилмаларининг ён томонга кўчиши чегараланмаса, кучли зилзилада катта силжишларга олиб келади. Шунингдек, кўприк ўз ўқи бўйича деформацион чокларнинг зилзила таъсирида ўз масофасини сақлаб қолиши учун эса оралик қурилманинг бир томонидан бўйлама кўчишига чегара қўйилиши зарур. Зилзила мавжуд ёзувларида ҳисоблаш учун асос қилиб олинган фойдаланишдаги темир йўл кўприги зилзилабардошлиги бўйича талабларга жавоб беради.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Салиханов С.С. Темир йўллардаги темирбетон кўприклар ва қувурлар: дарслик, 1-том. – Тошкент: ТошТЙМИ, 2017. – 398 б.
2. Кузнецова И.О., Уздин А.М., Долгая А.А., Фрезе М.В., Шульман С.А. Обеспечение сейсмостойкости железнодорожных мостов. Научный журнал // Наука и транспорт. Транспортное строительство. – 2012. – №4. – С. 43-47.
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 30 майдаги “Ўзбекистон Республикаси сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора – тадбирлари тўғрисида” ги ПФ – 144-сонли Фармони.
4. Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., Мирзаев И. Прикладные задачи сейсмодинамики сооружений. Книга 1. – Ташкент.: Навруз, 2019. – 268 с.
5. Рашидов Т.Р., Кузнецов С.В., Мардонов Б.М., Мирзаев И. Прикладные задачи сейсмодинамики сооружений. Книга 2. – Ташкент.: Навруз, 2021. – 172 с.

6. Шермухамедов У.З. Гашение продольных сейсмических колебаний опор балочных мостов с сейсмоизолирующими опорными частями: монография. – Ташкент, 2020. – 180 с.
7. Мирзаев И., Шермухамедов У.З. Каримова А.Б. Результаты расчетов монолитного путепровода, строящегося в Узбекистане, по записям реальных землетрясений. Научный журнал // Проблемы механики. – 2021. – №4. – С. 18-25.
8. Buckle I., Constantinou M., Dicleli M., Ghasemi H. Seismic Isolation of Highway Bridges. // University at Buffalo. The State University of New York. –2016. – 194 p. – ISBN: 9781626239777. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: <https://www.eng.buffalo.edu/mceer-reports/06/06-SP07.pdf>
9. Суконникова Т.В. Специальная сейсмозащита железнодорожных мостов: Дис....канд. тех.наук. – Санкт-Петербург, 2016. – 155 с.
10. ҚМҚ 2.01.03-19. Сейсмик ҳудудларда қурилиш. Тошкент, 2019.
11. ШНК 2.01.20-16. Сейсмик ҳудудларда транспорт иншооти қурилиши. Тошкент, 2016.
12. ШНК 2.05.03-12. Қўприқлар ва қувурлар. Тошкент, 2012.
13. Ulugbek Shermukhamedov, Ibrakhim Mirzaev, Anora Karimova, Dilbarkhon Askarova. Calculation of the stress-strain state of monolithic bridges on the action of real seismic impacts. // 1st International Scientific Conference “Modern Materials Science: Topical Issues, Achievements and Innovations” (ISCMMSTIAI-2022). Tashkent. Mart 4-5, 2022. – 314-321 p.
14. Liu Hao, Wang Ping, Wei Xiankui, Xiao Jiuling, Chen Rong. Longitudinal seismic response of continuously welded track on railway arch bridges. Journal // Applied Sciences. – 2018. – Volume 8, Issue 5. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.3390/app8050775
15. Jia Hongyu, Yang Jian, Zheng Shixiong, Zhao Canhui, Du Xiuli. A review on aseismic bridges crossing fault rupture regions. Journal // Xinan Jiaotong Daxue Xuebao. Journal of Southwest Jiaotong University. – 2021. – Volume 56, Issue 5. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.20200162
16. Marefat M. S., Yazdani M., Jafari, M. Seismic assessment of small to medium spans plain concrete arch bridges. Journal // European Journal of Environmental and Civil Engineering. – 2019. – Volume 23, Issue 7. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.1080/19648189.2017.1320589
17. Jahangiri Vahid, Yazdani Mahdi. Seismic reliability and limit state risk evaluation of plain concrete arch bridges Seismic assessment of small to medium spans plain concrete arch bridges. Journal // Structure and Infrastructure Engineering. – 2021. – Volume 17, Issue 2. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.1080/15732479.2020.1733030
18. Xie Mingzhi, Yang Yongqing, Zhang Ming, Zhao Jingang, Li Xiaobin, Zheng Kechuan. Identification of seismic dominant modes for long-span low-pylon cable-stayed bridge of high speed railway. // Journal of Railway Engineering Society. ISSN: 10062106. – 2020. – Volume 37, Issue 7. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: <https://www.mendeley.com>
19. Уздин А.М., Мажиев Х.Н., Андреев Б.А., Андереева Е.И. Обеспечение сейсмостойкости железнодорожных мостов на основе демпфирующей сейсмоизоляции с применением фрикционно – подвижных болтовых соединений для обеспечения сейсмостойкости и их программная реализация в SCAD office. Научная газета // Земля России. – №77. – 175 с. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: <https://ppt-online.org/938489>
20. Shermuxamedov U., Shaumarov S., Uzdin A. Use of seismic insulation for seismic protection of railway bridges. // Conference: E3S Web of Conferences. – 2022. – Volume 264. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.1051/e3sconf/202126402001
21. Mirzaev I., Yuvmitov A., Turdiev M., Shomurodov J. Influence of the Vertical Earthquake Component on the Shear Vibration of Buildings on Sliding Foundations. // Conference: E3S Web of Conferences. – 2021. – Volume 264. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.1051/e3sconf/202126402022

22. Mirzaev I., Turdiev M. Vibrations of Buildings with a Sliding Foundation Having Lateral Yielding Contact under Real Seismic Impacts. // Conference: AIP Conference Proceedings. – 2022. / [Электрон ресурс]. – Доступ: URL: DOI: 10.1063/5.0089584

23. Ambraseys N. N., Smit P., Douglas J., Margaris B., Sigbjörnsson R., Ólafsson S., Suhadolc P., Costa G. Internet site for European strong-motion data. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata. 2004. 45(3).

24. Anil K. Chopra. Dynamics of structures. Theory and applications to earthquake engineering. Fourth edition. // University of California at Berkley – 2012. – 944 p.

25. Уздин А.М., Кузнецова И.О. Сейсмостойкость мостов. Книга. Саарбрюкен (Германия). Palmarium, 2014. – 450 с.

Информация о авторах / Information about the authors

Аскарова Дилбархон Содирали кизи – докторант кафедры “Прикладная механика”, Ташкентского государственного транспортного университета. E-mail: dilbarkhon1120@gmail.com

Мирзаев Ибрахим – доктор физико – математических наук, профессор кафедры “Прикладная механика”, Ташкентского государственного транспортного университета. E-mail: ibrakhim.mir@mail.ru

Askarova Dilbarkhon Sodirali kizi - doctoral student of the Department of “Applied Mechanics”, Tashkent State Transport University. E-mail: dilbarkhon1120@gmail.com

Mirzaev Ibrakhim - doctor of physical and mathematical Sciences, Professor of the Department of “Applied Mechanics”, Tashkent State Transport University. E-mail: ibrakhim.mir@mail.ru