

ШАМШИЕВ Н.У.

¹КГУСТА им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика

SHAMSHIEV N.U.

¹KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic

nurlan-1@mail.ru

СЕЙСМИКАЛЫК ТААСИР АСТЫНДА КӨПҮРӨЛӨРДҮН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ЫЛАЙЫКТАШТЫРУУ

ОПТИМИЗАЦИЯ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

OPTIMIZATION OF BRIDGE STRUCTURES UNDER SEISMIC IMPACTS

Бул макалада өзгөрүлмө параметрдүү көпүрөлөрдүн конструкцияларын толук эмес сейсмикалык маалымат болгон учурда ылайыкташтыруу маселеси каралган.

Өзөк сөздөр: сейсмикалык күч, сейсмикалык жүк, таяныч, өздүк термелүү, динамикалуулуук коэффициенти.

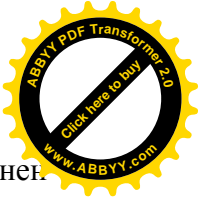
В данной статье рассматривается вопрос оптимизации конструкции мостов с переменными параметрами при неполных сейсмических данных.

Ключевые слова: сейсмическая сила, сейсмическая нагрузка, опора, собственное колебание, коэффициент динамичности.

In this article discusses the issue of optimizing the design of bridges with variable parameters at not complete seismic data.

Keywords: seismic force, seismic load, support, self-oscillation, dynamic coefficient.

Азыркы учурда курулуш конструкцияларын ылайыкташтыруу актуалдуу көйгөй болуп саналат. Узак убакыт бою сейсмикалык аракетти мүнөздөгөн чоңдуктар, мисалы, кыртыштын горизонталдык ылдамдануусу убакыттын белгилүү бир так аныкталган функциялары катары берилип келген. Мындай функциялар үчүн көптөгөн аналитикалык туюнтмалар сунушталган, бирок алардын башаламан мүнөздөгү реалдуу жер титирөөнүн акселерограммалары менен эч кандай байланышы жок болчу. Сейсмикалык таасир кокустук мүнөзгө ээ жана сейсмикалык туруктуулук теориясы ыктымалдуулук теориясынын жана математикалык статистиканын ыкмаларына негизделиши керек. Сейсмикалык таасирлердин математикалык моделдерин түзүү боюнча бир катар окумуштуулардын изилдөөлөрү бар. Азыркы учурда адабияттарда аймактагы бардык күчтүү жер титирөөлөрдү иштетүүнүн натыйжаларына негизделген «орточо спектрлер» ыкмасы талкууланууда. Бул ыкманы толук сейсмологиялык маалымат болгондо гана колдонууга мүмкүн. Толук эмес сейсмологиялык маалымат болгон учурда Я.М.Айзенберг тарабынан сунушталган модель инженердик эсептөөлөр үчүн ыңгайлуу жана жөнөкөй болуп эсептелет /1/. Бул моделдин негизги өзгөчөлүгү сейсмологиялык таасирлер биринчи жолу белгилүү бир жыштык диапазонун ээлеген процесстердин жыйындысы катары берилгендигинде. Моделдин дагы бир маанилүү өзгөчөлүгү – анын ар бир элементинин бардык эсептелген параметрлери үстөмдүк кылуучу жыштыктын жөнөкөй функциялары катары туюнтулгандыгында. Модель мурда катталган жер титирөөлөрдүн басымдуу жыштыктарынын, спектрлеринин жана башка мүнөздөмөлөрүнүн ар түрдүүлүгүн чагылдырат жана келечекте боло турган жер титирөөлөрдү алдын ала айтууга мүмкүндүк берет.



Көпүрөлөр учурда долбоорлоо уюмдары тарабынан сейсмикалык таасирге негизинен ченемдик документтерге ылайык эсептелинет /2, 3/. Бул ченемдик эсептөөлөр салыштырмалуу катуу эмес жер титирөөлөр үчүн, б.а. күчү аймактын сейсмикалык күчүн аныктаган максималдуу мүмкүн болгон күчүнөн 1,5 - 2,5 баллга төмөн болгон жер титирөөлөр үчүн болгон эсептөөлөр. Муну СНиП II-7-81* боюнча аныкталган эсептик ылдамдануулар тийиштүү баллдагы жер титирөөлөрдүн учурунда байкалган ылдамдануулардан 4-5 эсе кичине экендиги ырастап турат. Бирок, катталган жер титирөөлөр көрсөткөндөй, көпчүлүк учурларда инженердик ченемдерге ылайык долбоорлонгон жана курулган көпүрөлөр тиешелүү долбоордук интенсивдүүлүктүн термелүүсүнө канааттандырырлык түрдө туруштук бере алат. Бул эсептөө, катуу эмес, бирок тез-тез кайталануучу жер титирөөлөр үчүн ийкемдүү стадияда жүргүзүлгөнү менен түшүндүрүлөт. Ошону менен бирге, катуу жер титирөөлөр учурунда пайда боло турган ийкемсиз деформациялар, жаракалар жана жергиликтүү бузулуулар, ошондой эле конструкциялардын сейсмикалык таасирлерге ыңгайлашуусуна мүмкүндүк берүүчү башка резервдер эске алынбайт.

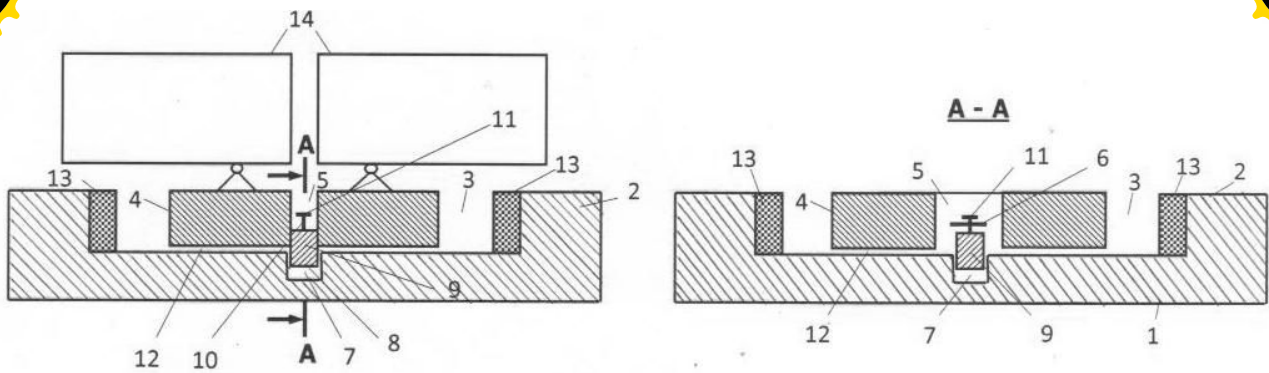
Жер титирөө учурунда имараттарда көтөрбөөчү элементтердин (панелдер, түйүндөр ж.б.) жарым-жартылай бузулушуна, ал эми көпүрөлөрдө таяныч бөлүктөрүнүн жылышуусуна мүмкүндүк берүү менен резонанстык зонадан алыстап, сейсмикалык таасирлерге ыңгайлашкан, аракетке келтирүүчү жана токтотуучу байланыштары бар конструкциялар көп.

Көпүрөлөрдө кээ бир элементтердин мындай жарым-жартылай бузулушуна жол берилбейт, анткени алардын бардык элементтери негизги жүк менен байланышкан. Ошондуктан, жер титирөө учурунда резонанстык зонадан алыстоо менен сейсмикалык таасирлерге ыңгайлашкан системанын параметрлери өзгөрө турган, таянычтардын же таяныч бөлүктөрүнүн атайын конструкцияларын колдонуу зарыл.

Автомобиль көпүрөлөрүн сейсмикалык обочолоонун ар кандай жолдору бар, мисалы, фундаменттин деңгээлинде жана ферма астындагы аянтчанын деңгээлинде таянычтарды сейсмикалык обочолоо. /5/ эмгекте фундаменттин деңгээлинде сейсмикалык обочолоонун артыкчылыгы көрсөтүлөт. Бирок бул жол катуу оор таянычтар үчүн гана натыйжалуу колдонулат. /4/ эмгекте таянычтын $T > 0,5$ сек болгон табигый термелүү мезгилдеринде фундаменттин деңгээлиндеги сейсмикалык алкак иш жүзүндө иштебей тургандыгы эксперименталдык түрдө аныкталган, ошондуктан ийкемдүү таянычтарды фундаменттин деңгээлинде сейсмикалык обочолоо натыйжалуу эмес, ал эми /6/ эмгекте устундуу көпүрөлөр үчүн көпүрө таянычынын конструкциясы сунушталат.

Азыркы учурда устундуу көпүрөлөрдө негизинен ийилчээк таянычтар колдонулат, ушуга байланыштуу сейсмикалык жүктөрдү, алардын аракетинин мүнөзүн аймактык өзгөчөлүктөрдү эске алуу менен тактоо жана мындай таянычтарга болгон сейсмикалык күчтөрдү конструктивдүү түрдө азайтуу актуалдуу болуп саналат. Мындай таянычтардагы сейсмикалык күчтөрдү азайтуу алардын конструкцияларын ылайыкташтыруу аркылуу ишке ашат.

Сейсмикалык таасирлер спектрдик курамы боюнча ар түрдүү болушат. Жогорку жыштыктагы жер титирөөлөрдүн таасири ийкемдүү таянычтардын бузулушуна олуттуу таасирин тийгизбейт, анткени жер титирөөлөрдүн басымдуулук кылган доминанттык жыштыктары резонанстык зонадан алыс жайгашкан. Ал эми төмөнкү жыштыктагы жер титирөөлөрдүн таасири таянычтын табигый термелүү жыштыгы менен жер титирөөнүн доминанттык жыштыгы дал келгендиктен ийкемдүү таянычтардын бузулушуна алып келиши мүмкүн. Бул жер титирөө учурунда каркас имараттарынын бузулушу менен тастыкталат.



1-сүрөт. Устундуу көпүрөнүн конструкциясы

1 – таянычтын телосу; 2 – таянычтын бөркү; 3 – оюк; 4 – ферма астындагы такта; 5 – өтмө тешик; 6 – пластиналуу урчуктар; 7 – вертикалдык тешик; 8 – фиксатор; 9 – вертикалдуу элемент; 10 – өзөк; 11 – бекитүүчү пластина; 12 - жылмышчаак прокладка; 13 – демпферлөөчү прокладка; 14 – пролеттук курулма.

1 сүрөттө устундуу көпүрөнүн таянычынын конструкциясы көрсөтүлгөн. Бул конструкцияны сейсмикалык аймактарда ийилчээк таянычтарда колдонсо болот.

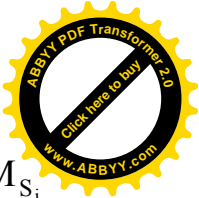
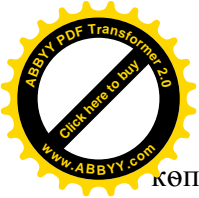
Эксплуатациянын кадимки шарттарында ферма астындагы такта 4 кыймылсыз таяныч бөлүктөрүнүн 15 ишине эч кандай тоскоол болбойт, анткени токтотуучу күчтөр узатасынан кеткен багытта гана аракет кылышат, ал эми фиксатор 8 горизонталдык жылышууну көпүрөнүн туурасынан кеткен багытында гана камсыз кылгандыгына байланыштуу ферма астындагы тактанын 4 таянычтын телосунун 1 бөркүнө 2 карата жылышуусуна тоскоол болот.

Жер титирөөдө узата багытта таянычка алгачкылардан болуп интенсивдүүлүгү азыраак узата сейсмикалык толкундары таасир этет, бул учурда таяныч менен ферма астындагы такта 4 бир бүтүн тело сыяктуу бирге термелишет, интенсивдүүлүгү катуураак туура толкундун келиши менен таянычтын телосу 1 бир мезгилде туура толкундун таасирин кабыл алат, бул ферма астындагы тактанын 4 таянычтын телосунун 1 бөркүнө 2 карата жылышуусуна алып келет, ошону менен бирге өзөк 10 бекитүүчү пластина 11 менен пластиналык урчуктардын 6 чегинен чыгып, өз салмагынын таасири менен вертикалдык элемент 9 төмөн тешикке 7 түшөт жана пролеттук курулманы 14 узата сейсмикалык таасирлерден толук обочолотууну камсыз кылат.

Пластиналык урчуктардын 6 кендиги менен пролеттук курулма 14 жана таянычтын телосунун 1 туура байланышын өчүрүүчү амплитуданы жөнгө салууга болот. Таянычтын бөркү 2 элемент 9 төмөн түшкөндөн кийин ферма астындагы тактага 4 карата жылмышуучу прокладкалар 12 боюнча эки багытта тең эркин жылыша алат. Термелүүнүн амплитудасы такта 4 менен оюктун 3 ички беттеринин ортосундагы алдын ала калтырылган аралыктан ашып кеткен учурда термелүүнүн аяк ченинде таянычтын бөркүнө 2 демпферлөөчү прокладка 13 менен басаңдатылган сокку урулат.

Устундуу көпүрөнүн таянычынын конструкциясы көпүрөнүн бекемдүүлүгүн бир эле мезгилде токтотуучу күчтөргө көпүрөнүн каршылык көрсөтүүсүнүн чоңоюшунун жана жер титирөө учурунда пролеттук курулмалардын салмагын обочолотуунун эсебинен жогорулатууга мүмкүндүк берет.

Толук эмес сейсмологиялык маалыматта бул конструкцияга болгон сейсмикалык таасирди жыштыктардын көптүгүндө $\omega_{\min} < \varpi < \omega_{\max}$ аныкталган процесстердин M_{Φ_j} көптүгү катары элестетели, процесстердин ар бири болушу мүмкүн деп эсептелет. Мындай сейсмологиялык маалыматтын толук эместик шартында конструкцияга таасир этчү ылайыктуу сейсмикалык жүктү издеп табуу керек. Ылайыктуу системанын критерийи катары системанын баштапкы абалынын (БА) жана чектик абалынын (ЧА) орточо квадраттык реакциясы S_j каралат. Бул учурда Φ_j сейсмикалык таасирлердин M_{Φ_j}



көптүгүнө туура келген максималдык реакциянын орточо квадраттык спектрлеринин M_{S_j} көптүгүнөн пайдалансак болот. Эсептик спектр катары ылайыктуулук шартынан орточо квадраттык реакциянын максималдуу маанисинен минимумду алабыз.

$$S = \min(\max S_{\phi} \text{ или } S_{\psi}), \quad (1)$$

мында S_{ϕ} - системанын $T = T_{\phi}$ мезгилдеги сейсмикалык реакциясы; S_{ψ} - системанын $T = T_{\psi}$ мезгилдеги сейсмикалык реакциясы; T_{ϕ} - баштапкы абалдагы мезгил; T_{ψ} - чектик абалдагы мезгил.

Спектралдык коэффициенттин дисперсиясы мындайча аныкталат:

$$\sigma_{\xi_j}^2 = \frac{\sigma_{x_j}^2}{\sigma_{\phi_j}^2}; \quad (2)$$

мында $\sigma_{x_j}^2$ - сызыктык осциллятордун чыгышындагы процесстин дисперсиясы; $\sigma_{\phi_j}^2$ - M_{ϕ_j} эсептик көптүгүнүн кирүүдөгү процессинин дисперсиясы.

Анда, орточо квадраттык спектралдык динамикалуулуку коэффициенттери төмөнкү формула боюнча аныкталат:

$$\xi_j = \sqrt{\sigma_{\xi_j}^2}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

Мында j кабыл алынган $\Phi(t, \varpi_j)$ дискреттик эсептик таасирлердин – M_{ϕ_j} эсептик көптүгүнүн элементтеринин саны.

Сызыктык осцилляторго таасир этүүчү сейсмикалык күчтүн максимумунун орточо квадраттык мааниси төмөнкүдөй аныкталат:

$$S_j = m \ddot{x}_{\phi_j} \xi_j = \frac{\ddot{x}_j}{g} \cdot \xi_j \cdot Q = K_c \cdot \xi_j \cdot Q; \quad (4)$$

мында $\ddot{x}_{\phi_j} = \sqrt{\sigma_{\phi_j}^2}$, m и Q - осциллятордун массасы жана салмагы.

2 сүр. спектралдык динамикалуулуку коэффициентинин (2) жана (3) формулалары боюнча аныкталган, Φ_j сейсмикалык процесстердин тийиштүү M_{ϕ_j} көптүк элементи, көрсөткүчү бар графиктери келтирилген

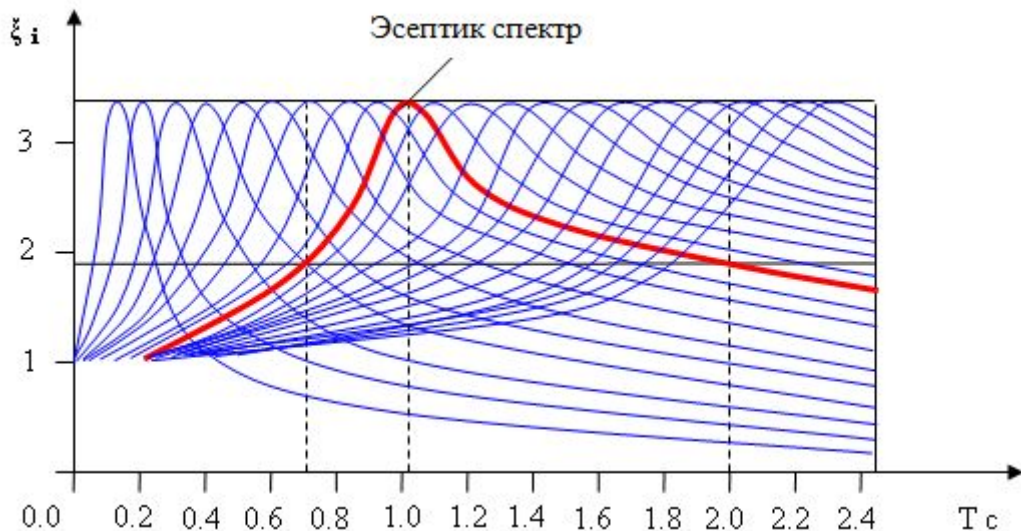
$$\theta = \frac{\alpha_i}{\varpi_c} = 0,5,$$

мында α_i и ϖ_c - кокустук процесстин корреляциялык функциясынын параметрлери.

2 сүрөттө график үчүн айкын мисал келтиребиз.

Мисал: 1 сүр. устундуу көпүрөнүн таянычындагы сейсмикалык жүктү ылайыкташтыруу. Баштапкы абалы катары штырь ылдый түшүп, таяныч пролеттук курулманын массасынан обочолонгон абалды кабыл алабыз. Чектик абал катары термелүүнүн амплитудасы аралыктын чоңдугунан ашып, таяныч пролеттук курулмага кошулган абалды кабыл алабыз.

Таянычтын өздүк термелүүлөрүнүн мезгилдери эки абал үчүн тиешелүү түрдө T_{ϕ} жана T_{ψ} . Эсептик схеманы бир боштондук даражалуу сызыктык осциллятор түрүндө кабыл алабыз. Топтолгон масса $m_2 = m_1 + m_{пр}$, где $m_{пр}$ - пролеттук курулманын массасы, m_1 - таянычтын эсептик массасы, m_2 акыркы система үчүн кабыл алынат. 3 сүр. баштапкы жана чектик абалдардын эсептик схемалары келтирилген.



2-сүрөт. Спектралдык динамикалуулук коэффициентинин графиги



3-сүрөт. Эсептик схема: а) баштапкы абал; б) чектик абал

Баштапкы жана чектик абалдар үчүн таянычтын өздүк термелүүлөрүнүн мезгилдерин төмөнкү формулалар боюнча аныктайбыз:

$$T_6 = 2\pi\sqrt{m_1\delta} \quad \text{жана} \quad T_4 = 2\pi\sqrt{m_2\delta}, \quad \delta = \frac{H^3}{3EJ}, \quad C_T = \frac{1}{\delta},$$

мында δ - системанын бирдик күчтүн таасиринен жылышы, H - таянычтын бийиктиги, EJ - кесилиштин катуулугун мүнөздөөчү турактуу чоңдук, C_T - таянычтын катуулугу.

Көрүнүктүү мисал үчүн сандык маанилерди кабыл алабыз:

$$T_6 = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{C_T}} = 0,8 \text{ сек}, \quad T_4 = 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{C_T}} = 2,0 \text{ сек}.$$

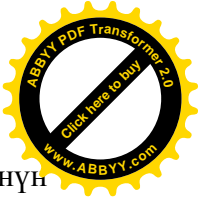
Адегенде сейсмикалык күчтү нормалар боюнча эсептейбиз. Сейсмикалык күч төмөнкү формула боюнча аныкталат:

$$S = mg \cdot k \cdot \beta, \quad \beta = \frac{1,1}{T}, \quad \text{мында } m - \text{сызыктык осциллятордун массасы; } g - \text{оордук}$$

күчүнүн ылдамдануусу; k - коэффициент, 7, 8, 9 баллдар үчүн тишелүү түрдө 0,025; 0,05; 0,1 кабыл алынат; β - динамикалуулук коэффициенти.

9 балл үчүн сейсмикалык күчтөр:

$$S_6 = m_1 \cdot g \cdot k \cdot \beta_6 = 25919 \text{ Н}, \quad S_4 = m_2 \cdot g \cdot k \cdot \beta_4 = 90017 \text{ Н}.$$



2 сүр. графикти колдонобуз. Ар бир аныкталган $S_p = S(T)$ үчүн M_{S_j} көптүгүнүн элементинин эсептик спектри туура келет. Минимумдун шарты катары системанын эки абалынын каалаганындагы орточо квадраттык реакциянын максималдык маанисинин минимумун кабыл алабыз. (1) шартына төмөнкү шарт:

$$\xi(T_6) = \xi(T_4), \quad (5)$$

б.а. $\xi(T_6) = \xi_3$ болгондогу системанын баштапкы жана чектик абалындагы орточо квадраттык спектралдык динамикалуулук коэффициенттеринин маанилеринин барабардык шарты аткарыла тургандай динамикалуулук коэффициентинин спектри ξ_i ылайык келээрин көрсөтсөк болот.

Алынган жыйынтыктардын СНиП II-7-81 боюнча жүктөрдүн деңгээлине туура келерин байкоо максатында көпүрөлөр үчүн максималдык маанини кабыл алабыз:

$$\bar{\xi}_{\max} = \beta_{\max} = 2,8.$$

Эми каралып жаткан өзгөрүлүүчү параметрлери бар системага карата ылайыктуу эсептик жүктү табабыз. 2 сүр. графиктерди колдонобуз. Эки түз сызык жүргүзөбүз:

$$T = T_6 = 0,8 \text{ сек}, T = T_4 = 2,0 \text{ сек}. \text{ Бул мисалда (5) шарт боюнча:}$$

$$\xi(0,8 \text{ сек}) = \xi(2,0 \text{ сек}).$$

Мындай шартка доминанттык мезгили $T = 1,0$ сек болгон (2 сүр. кара) динамикалуулук коэффициентинин спектри дал келээрин байкайбыз. Бул спектрди эсептик спектр катарында кабыл алабыз. Пропорциядан ξ_p чоңдугун аныктайбыз:

$$\frac{\xi_3}{2,8} = \frac{\beta(2,0 \text{ сек})}{\beta(1,0 \text{ сек})}, \quad \text{мындан} \quad \xi_3 = \beta_6 = 2,8 \cdot 0,49 \approx 1,37 \quad \text{жана}$$

$$S_3 = 0,1 \cdot \xi_3 \cdot m_1 \cdot g = 0,1 \cdot 1,37 \cdot 16530 \cdot 9,8 = 22193 \text{ Н}.$$

$$\text{Эсептик жүк катарында алабыз: } S_3 = 22193 \text{ Н}.$$

Бул мисалда эсептик сейсмикалык жүк таянычтын конструкциясын ылайыкташтыруунун натыйжасында азайганы көрүнүп турат.

Адабияттар тизмеси

1. Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов [Текст] / Я.М. Айзенберг. - Москва: Стройиздат, 1976. - 232 с.
2. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». – М.: Стройиздат, 1991.
3. СНиП 02-20: 2009 КР «Сейсмостойкое строительство». Бишкек, 2009.
4. Хучбаров З. Г. Сейсмоизоляция автодорожных мостов [Текст] /З. Г. Хучбаров // КиргИНТИ. – Фрунзе: 1986. – 60 с.
5. Чуднецов В.П. Исследование работы опоры моста с сейсмоизолирующими поясами на сейсмическую нагрузку [Текст] / В.П.Чуднецов, М.Ч. Апсеметов // Сборник научных трудов ФПИ. – Фрунзе: 1986.
6. Чуднецов В.П. Опора балочного моста [Текст] / В.П.Чуднецов А.с. СССР № 804754, 1981.