

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА,  
ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ им. Н. ИСАНОВА

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д 05.17.553

На правах рукописи  
УДК 699.841+624.27+575.21/.25(043.3)

**Курманбек уулу Нурлан**

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ В РЕГИОНАЛЬНЫХ  
УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов,  
мостов и транспортных тоннелей

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Бишкек - 2018

Работа выполнена на кафедре «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» и научно-исследовательском институте «Сейсмостойкое строительство» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова.

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент  
Апсеметов Мухтар Чуканович

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор  
Достанова Сауле Хажигумаровна

кандидат технических наук, доцент  
Каримов Эркинбек Машанович

**Ведущая организация:**

Открытое акционерное общество  
«Промпроект» по адресу: 720000,  
г. Бишкек, пр. Чуй, 219.

Защита состоится «31» мая 2018г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.17.553 при Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720020, г.Бишкек, ул. Малдыбаева 34-б., ауд.1/101, [www.ksucta.kg](http://www.ksucta.kg).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова по адресу: 720020, г.Бишкек, ул. Малдыбаева 34-б.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 05.17.553,  
к.т.н., доцент



Н.Ж. Маданбеков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Кыргызстан расположен в самом центре Центральной Азии и граничит с Казахстаном, Узбекистаном, Таджикистаном и Китаем.

Автомобильный транспорт - основной транспорт, связывающий эти государства. В общем объеме межгосударственных перевозок доля автомобильных перевозок составляет более 85 %. Основные трассы, связывающие Китай со странами Европы, проходят по территории Кыргызстана – по Великому Шелковому пути.

Качественное проектирование и строительство автомобильных дорог, в том числе мостов и других искусственных сооружений играет важную роль для развития экономики и обороноспособности в условиях горного рельефа республики. Стоит задача проектирования и строительства больших чисел инженерно-транспортных сооружений на дорогах, преимущественно мостов балочных систем малых, средних и больших пролетов. Главными несущими элементами пролетных строений простейших балочных мостов служат балки-прогоны, перекрывающие пролет моста и поддерживающие проезжую часть моста с тротуарами и перилами. Мосты, путепроводы, эстакады, виадуки имеют исключительно важное народнохозяйственное значение. Недопустим даже временный выход из строя этих сооружений при землетрясениях.

Территория Кыргызской Республики находится в горной местности и почти все ее районы относятся к сейсмически опасным с близкими возможными очагами землетрясений. В этих местах мосты могут разрушаться от действия и вертикальных составляющих колебания грунта при землетрясениях. В подобных случаях обычно разрушаются опоры, опорные части и пролетные строения. Создание сейсмостойких конструкций мостов и защита их от землетрясений уменьшает человеческие жертвы и материальный ущерб. Разработка конструкций сейсмостойких мостов, которые снизят бы сейсмические воздействия в горизонтальном и вертикальном направлениях, и исследования их при воздействии сейсмических нагрузок является **актуальной проблемой**.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами.** Данная работа выполнена по плановым научно-исследовательским тематикам НИИ «Сейсмостойкое строительство» КГУСТА им. Н.Исанова: «Сейсмостойкость транспортных сооружений» и «Проектирование мостовых сооружений для условий горных районов Кыргызской Республики».

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является повышение сейсмостойкости балочных мостов при воздействии сейсмических нагрузок на основание и фундамент.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи исследования:**

- теоретическое исследование работы балочного моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием при воздействии сейсмических нагрузок;

- натурное экспериментальное исследование колебания балочного моста при взрыве для создания естественной плотины ГЭСа Камбар-Ата-2;

- экспериментальное исследование работы модели фундамента и опор моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием при прохождении подвижного состава по железной дороге, имитирующий сейсмическое воздействие;

- разработка конструкции фундамента балочных мостов на искусственных основаниях;

- разработка методов расчета фундаментов опор балочного моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием на воздействие сейсмических нагрузок.

**Методы исследования.** При теоретическом исследовании рассмотрен вопрос определения сейсмической силы на опору с учетом отражения и преломления сейсмических волн, также математическая модель «грунт – фундамент» и влияние на колебания фундамента грунтов с различными жесткостями. Грунт рассматривается в виде пружины с затуханием, а фундамент с опорой и пролетным строением – жесткого тела; экспериментальные исследования колебания модели опоры балочного моста с сейсмоизолирующими устройствами в основании фундамента на динамическое воздействия подвижного состава.

Натурное экспериментальное исследование колебания фундамента опор железобетонного моста проводилось при взрыве для создания естественной плотины вблизи моста.

При экспериментальном исследовании моделей фундаментов опор сейсмическое воздействие моделировалось подвижным составом, проходящего рядом по железной дороге.

**Научная новизна работы:**

- разработана и предложена конструкция фундамента балочных мостов на искусственных основаниях;

- разработана методика расчета фундаментов опор балочного моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием на воздействие сейсмических нагрузок;

- предложены упрощенные формулы расчета и графические схемы для инженерных задач по подбору жесткостей грунтов искусственного основания.

**Практическая значимость полученных результатов:**

- позволила возводить фундаменты опор балочных мостов на слабых грунтах с использованием искусственного основания;

- уменьшить расчетную сейсмическую силу в 2 раза, тем самым снизить расчетную сейсмичность площадки строительства на 1 балл;

- уменьшить глубину сжатой зоны основания под фундамент балочных мостов и дорог;

- результаты исследований внедрены при строительстве пешеходного балочного моста через реку Коргон-Сай в пгт Кок-Джангак Джалал-Абадской области, подземного перехода по улице Киевской возле ошского рынка и улицы имени Б. Алыкулова в городе Бишкек, а также в учебный процесс студентов по профилям «Автомобильные дороги и аэродромы», «Строительство железных дорог» и «Мосты и транспортные тоннели» КГУСТА им. Н. Исанова.

**Экономическая значимость полученных результатов.** При строительстве вышеуказанных сооружений экономический эффект от снижения сейсмического воздействия на фундамент с опорой составил 15-20 %.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- результаты теоретических исследований работы фундамента балочного моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием на воздействие сейсмических нагрузок;

- результаты экспериментальных исследований работы модели опор фундаментов моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием на воздействие сейсмических нагрузок;

- методика расчета по определению собственных частот опор на искусственных основаниях;

- конструкции фундаментов опор балочных мостов на искусственных многослойных основаниях.

**Личный вклад соискателя:**

- обзор литературных источников и анализ других исследований;

- экспериментальные исследования работы моделей опор моста на искусственных и естественных основаниях при сейсмическом воздействии;

- разработка конструкций фундаментов с искусственным основанием при проектировании балочных мостов.

**Апробация результатов диссертации.**

Основные положения данной диссертационной работы докладывались на следующих международных, республиканских научно-технических и научно-практических конференциях:

- Ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и студентов КГУСТА и КРСУ 2009-2017 гг.;
- Международной конференции по проблеме «Экспертиза и управление недвижимостью», КРСУ, 2009 г.;
- 7-м казахстанско-китайском международном симпозиуме «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска в Центральной Азии» (Алматы, 2010 г.);
- Международной научно-практической конференции «Инновация в области строительства транспортных сооружений: становление, проблемы, перспективы» (Бишкек, 2016г.);
- I международной научно-практической конференции по «Сейсмостойкому строительству» (Бишкек, 2016г.).

### **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Материалы диссертации опубликованы в 15 научных работах, в том числе 1 монография, из них 9 научных статей опубликованы в изданиях РИНЦ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов и приложений. Текстовая часть изложена на 147 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, 8 таблиц и список литературы из 128 наименований, в том числе 4 на иностранных языках.

Автор выражает глубокую благодарность к.т.н., доценту М.Ч.Апсметову и коллективам кафедры «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» и Научно-исследовательского института «Сейсмостойкое строительство» за оказание помощи при выполнении настоящей работы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность работы и дается ее краткая характеристика. Обосновываются недостатки существующих конструкций балочных мостов с сейсмоизолирующими устройствами и поставлены **задачи исследования**.

**В первой главе** охарактеризовано современное состояние вопроса активной сейсмозащиты зданий и сооружений. Приведена сейсмичность территории Кыргызской Республики, которая зависит от региональных условий района и площадки строительства, где могут встречаться прочные и слабые грунты. Выполнен анализ конструктивных решений, направленных на снижение воздействий сейсмических нагрузок.

**Вторая глава** посвящена теоретическим исследованиям, где рассматривается влияние искусственного основания при сейсмическом воздействии на фундамент опоры балочного моста, т.е. вопрос определения сейсмической силы на фундамент с учетом отражения и преломления сейсмических волн.

В данной главе работы рассматривается математическая модель «грунт – фундамент» и влияние на колебания фундамента опоры балочного моста грунтов с различными жесткостями. Грунт рассматривается в виде пружины с затуханием, а фундамент с опорой – жесткого тела.

Применение пористого грунта и подстилающего слоя с природным (галечниковым) грунтом в конструкции фундамента играет роль сейсмоизоляции при сейсмическом воздействии в горизонтальном направлении.

Рассматривается влияния грунтов с различными жесткостями на частоты собственного колебания фундамента с опорой балочного моста и коэффициента затухания при сейсмических воздействиях на фундамент и раскрывается физический смысл коэффициента затухания  $\varepsilon$  грунтов.

Полученные результаты можно использовать при сейсмоизоляции балочных мостов и обработке экспериментальных исследований.

Расчетная схема «грунт – фундамент» на рис.1 моделируется в виде пружин с различными жесткостями с затуханием, а фундамент с опорой – сосредоточенной массой «m».

При свободных колебаниях фундаментов опор балочных мостов происходит более или менее быстрое затухание процесса движения. Быстрому затуханию способствуют трения между частицами грунта основания и грунтов, расположенных вокруг фундамента.

Уравнение системы при свободном колебании для рис.1а будет

$$\ddot{x} + 2\varepsilon\dot{x} + \omega^2 x = 0 \quad (1)$$

Уравнение (1) описывает свободное колебание фундамента с одной степенью свободы с затуханием. Здесь  $\varepsilon = \frac{\mu}{2m}$  - коэффициент затухания грунтов (вязкого сопротивления, демпфирования), 1/с;  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  - круговая частота собственных колебаний системы, 1/с.

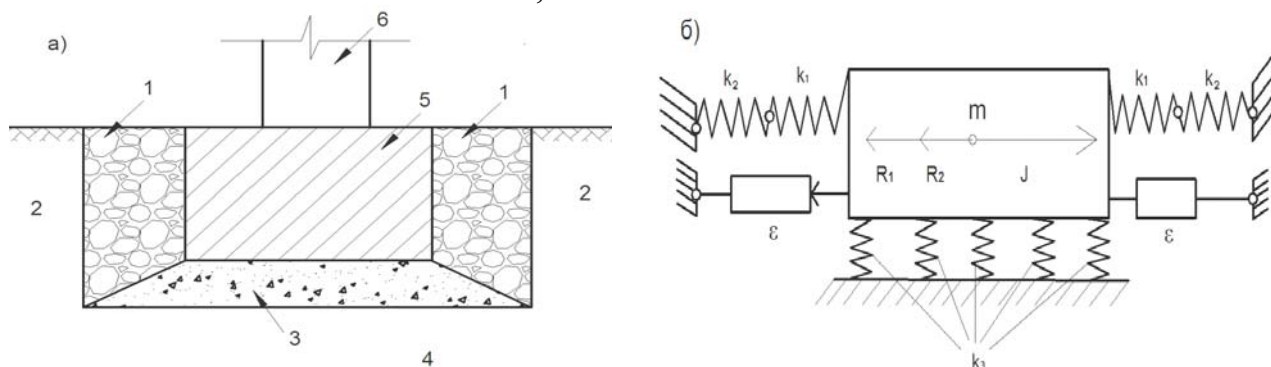


Рис. 1. Конструкция фундамента с основанием и расчетная схема.

а) Конструкция фундамента и основания; б) Расчетная схема модели «грунт – фундамент с опорой» сосредоточенной массой m; 1 – слабый или рыхлый грунт; 2 – галечниковый грунт; 3 – гравийно – песчаный грунт (с подстилающий слой); 4 – основания фундамента; 5 – фундамент с массой; 6 – опора балочного моста;  $k_1$ ;  $k_2$  – коэффициенты жесткостей слабого и галечникового грунтов, определяемые через коэффициенты постели.  $\varepsilon$  – коэффициент затухание грунтов;  $k_3$  – приведенный коэффициент жесткости подстилающего слоя основания.

При определении коэффициента жесткости грунтов k используется формулы параллельного и последовательного соединения пружин:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}} + k_3 = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} + k_3 \quad (2)$$

Приведенная жесткость подстилающего слоя  $k_3$  в горизонтальном направлении определяется из условия равенства силы упругости  $F_y = \frac{k_3 \cdot \Delta^2}{2}$  и силы трения  $F_{тр} = f \cdot N \cdot \Delta$  фундамента с грунтом:

$$\frac{R_3 \Delta^2}{2} = f \cdot N \cdot \Delta \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения фундамента по грунту,  $f = \operatorname{tg} \varphi$ ;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта под подошвой фундамента;  $N$  – сила нормального давления, равной  $N = m \cdot g$ ;  $\Delta$  – максимальное относительное перемещения фундамента, принимается в зависимости от балльности площадки строительства.

Из (3) имеем  $k_2 = \frac{2f \cdot N}{\Delta}$ , тогда формула (2) примет вид

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} + \frac{2f \cdot N}{\Delta} = \frac{\Delta k_1 k_2 + 2 \operatorname{tg} \varphi N (k_1 + k_2)}{(k_1 + k_2) \Delta} \quad (4)$$

Тогда, круговая частота собственных колебаний будет:

$$\omega = \sqrt{\frac{\Delta k_1 k_2 + 2 \operatorname{tg} \varphi N (k_1 + k_2)}{m (k_1 + k_2) \Delta}} \quad (5)$$

Решение уравнения (1) будет выглядеть так:

$$x = A \cdot e^{-\varepsilon t} \sin(\omega_1 t + \alpha) \quad (6)$$

где,  $A$  – амплитуда колебания, м;  $\alpha$  – начальная фаза колебания, рад.

Выражение (6) описывается синусоидой, следовательно, колебание фундамента гармоническое с периодом колебания  $T_1$ :

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{\Delta k_1 k_2 + 2 \operatorname{tg} \varphi N (k_1 + k_2)}{m (k_1 + k_2) \Delta}\right)^2 - \varepsilon^2}} \quad (7)$$

На практике сейсмостойкого строительства считают, что коэффициент затухания  $\varepsilon$  намного меньше от круговой частоты собственного колебания  $\omega$ , и при расчетах принимают  $\omega_1 \approx \omega$ ,  $T_1 \approx T$ . Такое приравнивание нельзя производить при колебании фундамента с грунтом, так как трения между частицами грунтов увеличивают коэффициент затухания  $\varepsilon$  и период собственных колебаний  $T_1$ .

Для исследования сейсмического воздействия рассматривается вынужденные колебания с затуханием. Расчетная схема показана на рис.2. Для удобства чтения масштаб горизонтального абсолютного перемещения массы « $m$ » ( $x + x_0$ ) преувеличен.

Уравнение колебания системы будет:

$$\ddot{x} + 2\varepsilon \dot{x} + \omega^2 x = -\ddot{x}_0, \quad (8)$$

где  $\varepsilon$ ,  $\omega$  – коэффициент затухания, круговая частота собственного колебания системы соответственно;  $\ddot{x}_0$  – ускорение основания;  $x$ ,  $\dot{x}$ ,  $\ddot{x}$  – перемещение, скорость, ускорение массы  $m$ .

Для удобства обозначим  $-\ddot{x}_0 = f(t)$ , где  $f(t)$  – функция от времени, которая может быть задана в виде акселерограммы, ряда или аналитическими выражениями, тогда выражение (8) примет вид:

$$\ddot{x} + 2\varepsilon \dot{x} + \omega^2 x = f(t). \quad (9)$$

Решение (9) будет:

$$x = A \cdot e^{-\varepsilon t} (\sin \omega_1 t + \alpha) + \frac{1}{\omega_1} \int_0^t f(\tau) e^{-\varepsilon(t-\tau)} \cdot \sin \omega_1 (t - \tau) d\tau, \quad (10)$$



где  $\tau$  - время интегрирования. В случае, когда  $f(t) = A_0 \cdot \sin(\theta t + \beta)$ , где  $A_0$  – амплитуда вынужденных колебаний;  $\theta$  - круговая частота вынужденных колебаний;  $\beta$  - начальная фаза вынужденных колебаний, решение (10) приводит к следующей формуле:

$$x = A \cdot e^{-\varepsilon t} \sin(\omega_1 t + \alpha) + B \cdot e^{-\varepsilon t} [\sin(\beta - \vartheta) \cdot \cos \omega_1 t + \frac{\theta}{\omega_1} \left[ \cos(\beta - \vartheta) + \frac{\varepsilon}{\theta} \sin(\beta - \vartheta) \right] \sin \omega_1 t] + B \cdot \sin(\theta t + \beta - \vartheta), \quad (11)$$

где

$$B = \frac{A_0}{L}; \quad \sin \vartheta = \frac{2\varepsilon\theta}{L}; \quad \cos \vartheta = \frac{\omega^2 - \theta^2}{L}; \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{2\varepsilon\theta}{\omega^2 - \theta^2}; \quad L = \sqrt{(\omega^2 - \theta^2)^2 + 4\varepsilon^2\theta^2}.$$

При нулевых начальных значениях  $x_0, V_0, \alpha = 0, \beta = 0$  формула (12) упрощается и может быть представлена в виде:

$$x = \frac{A_0}{L} \left\{ \frac{\theta}{L} e^{-\varepsilon t} \left[ 2\varepsilon \cos \omega_1 t - \frac{1}{\omega_1} (\omega^2 - \theta^2 - 2\varepsilon^2) \cdot \sin \omega_1 t \right] + \sin(\theta t - \vartheta) \right\}. \quad (13)$$

На рис.2 показана расчетная схема вынужденных колебаний системы с затуханием.

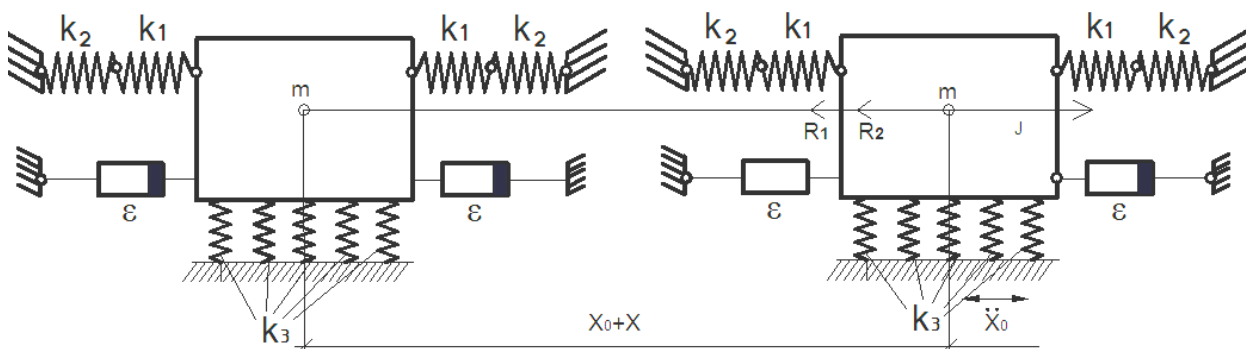


Рис.2. Расчетная схема вынужденных колебаний системы с затуханием:  
 $x$  – относительное перемещение фундамента;  $x_0$  – перемещение основания;  $(x_0 + x)$  – абсолютное перемещение фундамента;  $\ddot{x}_0$  - ускорение основания

Установившаяся часть колебаний (после затухания колебаний с частотой  $\omega_1$ ) имеет амплитуду:

$$x_d = \frac{A_0}{\sqrt{(\omega^2 - \theta^2)^2 + 4\varepsilon^2\theta^2}} = \frac{x_c}{\sqrt{(1 - z^2)^2 + 4\eta^2 z^2}}, \quad (14)$$

где  $A_0$  – максимальная амплитуда сейсмического ускорения,  $z = \frac{\theta}{\omega}$ ;  $\eta = \frac{\varepsilon}{\omega}$ ;  $x_c = \frac{A_0}{\omega^2}$  - статическое перемещение.

Из (14) найдем величину коэффициента динамичности  $1 + \mu = \frac{x_d}{x_{ct}}$ .

$$1 + \mu = \left| \frac{1}{\sqrt{(1 - z^2)^2 + 4\eta^2 \cdot z^2}} \right|. \quad (15)$$

Анализ формулы (15) позволяет сделать вывод:

1. Величина  $(1 + \mu)$  ни при каких значениях  $z$  не стремится к  $\infty$ .

2. Максимум  $(1 + \mu)$  соответствует значению  $z = \sqrt{1 - 2\eta^2}$ , а не  $z = 1$ , и равен (см. рис.3)

$$1 + \mu = \frac{1}{2\eta(1 - \eta^2)^{0,5}}. \quad (16)$$

Формула (15) получается из формулы (14), исследуя функцию на экстремум. Для этого первое производное функции  $(1 + \mu)$  по  $z$  приравниваем к нулю и находим критическую точку  $z = \sqrt{1 - 2\eta^2}$ . Потом, подставляя это значение  $z$  в формулу (14), находим формулу (15), при которой функция имеет максимум.

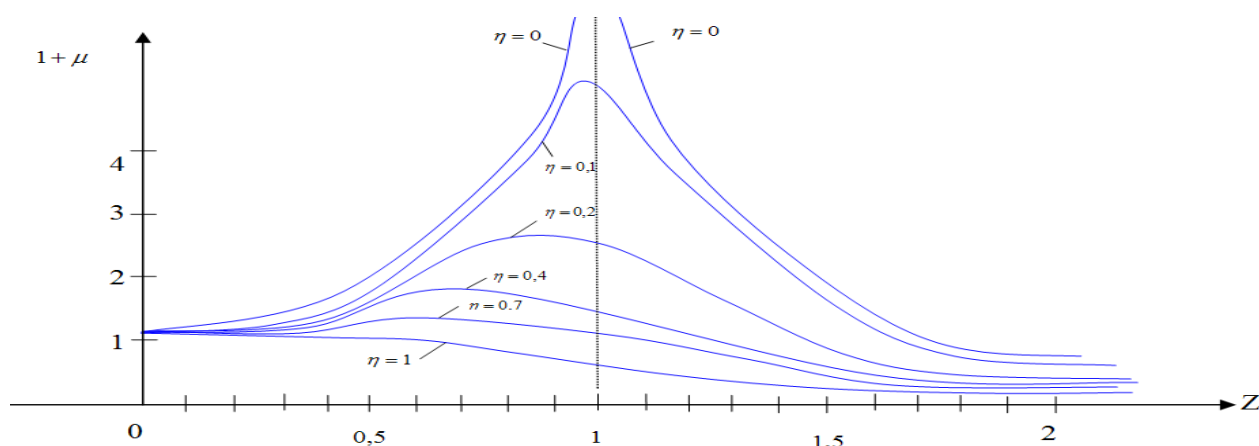


Рис.3. График коэффициента динамичности при различных  $\eta$

3. При небольших значениях  $\eta$  величина  $z \approx 1$ . Обычно при этом в качестве резонанса рассматривают случай, когда  $z = 1$ , и тогда  $1 + \mu = \frac{1}{2\eta} = \frac{\omega}{2\varepsilon} = \frac{2\pi}{T \cdot 2\varepsilon} = \frac{\pi}{\delta}$ .

Таким образом, если в результате испытания системы известна величина  $(1 + \mu)$ , то можно найти и величину логарифмического декремента колебаний

$$\delta = \frac{\pi}{1 + \mu}. \quad (17)$$

4. Из рис.3 видно, что максимум кривых коэффициента динамичности для больших значений коэффициента  $\eta = \frac{\varepsilon}{\omega}$  (коэффициента затухания) как это бывает в грунтах лежит левее единицы: при малых значениях  $\eta$  максимум соответствует при значениях  $z \approx 1$ , а при  $\eta = 0$ ,  $z = 1$  динамический коэффициент стремится к бесконечности.

5. В модели «грунт – фундамент» в сейсмостойком строительстве расчеты на сейсмическую нагрузку надо делать, определяя действительные коэффициенты затухания и периоды собственных колебаний системы «грунт – фундамент», так как эти величины больше, чем коэффициенты затухания и периоды собственных колебаний мостов и сооружений, принимаемых в расчетах.

На рис. 4 представлены расчетные схемы опор балочного моста с традиционной схемой и с сейсмоизолирующим фундаментом. Для традиционной схемы на рис. 4а - опора жестко защемлена в грунт, а на рис. 4б – упруго соединена с основанием. Приведенный коэффициент жесткости грунтов  $k$  учитывает горизонтальные и сдвиговые жесткости оснований, который определяется по формуле (4), и характеризует жесткостные характеристики грунтов оснований.

Единичные перемещения для схемы на рис. 4а будут:

$$\delta_{11} = \frac{H^3}{3EI}, \delta_{22} = \frac{H^3}{24EI}, \delta_{12} = \delta_{21} = \frac{5H^3}{48EI}, \quad (18)$$

а для схемы на рис 4б:

$$\delta_{11}^I = \frac{kH^3 + 3EI}{3EI k}, \delta_{22}^I = \frac{kH^3 + 24EI}{24EI k}, \delta_{12}^I = \delta_{21}^I = \frac{5kH^3 + 48EI}{48EI k} \quad (19)$$

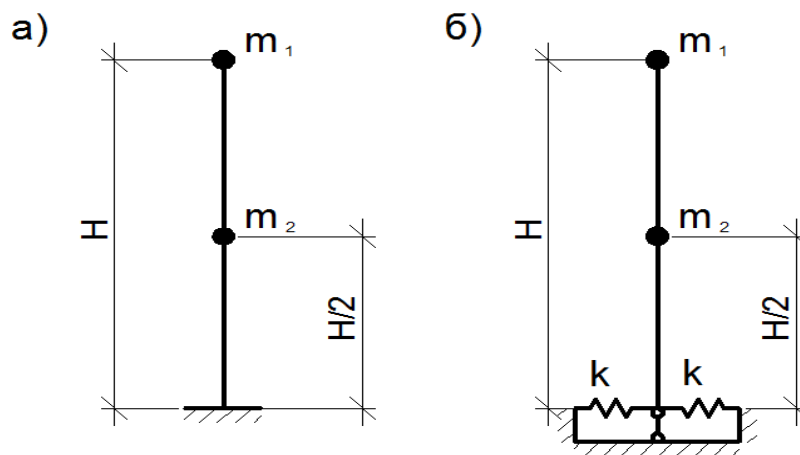


Рис.4. Расчетные схемы опоры балочного моста для определения собственных частот:

а) фундамент опоры с жестким защемлением; б) фундамент опоры с упругой связью.

Частотные уравнения для опоры с традиционной схемой с жестким фундаментом и сейсмоизоляцией будут:

$$\lambda^2 - B\lambda + C = 0; \lambda'^2 - B'\lambda' + C' = 0 \quad (20)$$

а корни уравнений:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} (B \pm \sqrt{B^2 - 4C}), \lambda'_{1,2} = \frac{1}{2} (B' \pm \sqrt{B'^2 - 4C'}) \quad (21)$$

где,  $\lambda_i = \frac{1}{\omega_i^2}$ ,  $\lambda'_i = \frac{1}{(\omega'_i)^2}$ ;  $\omega'_i$  и  $\omega_i$  - круговые частоты собственных колебаний опоры с сейсмоизолирующим фундаментом и жестким фундаментом, соответственно.

Собственные частоты опоры балочного моста через р. Коргон-Сай. Круговые

частоты первого и второго форм колебаний будут:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = 480,5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}} \text{ и } \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = 2298,85 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}, \text{ соответственно.}$$

Периоды:  $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0,013 \text{ сек}$ ,  $T_2 = 0,0027 \text{ сек}$ .

Круговые частоты собственного колебания опоры балочного моста с двумя степенями свободы будут для первой формы:

$$\omega_1^I = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = \frac{1}{\sqrt{16485,655 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{128,4} = 7,79 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}; \quad (22)$$

$$T_1^I = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{6,28}{7,79} = 0,806 \text{ сек}. \quad (23)$$

Для второй формы:

$$\omega_2^I = \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = \frac{10^3}{2,195} = 455,58 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}; \quad (24)$$

$$T_2^I = \frac{2\pi}{\omega_2} = \frac{6,28}{455,58} = 0,014 \text{ сек}. \quad (25)$$

Отсюда следует для жестких опор балочных мостов расчет произвести только по первой форме колебаний. Изгибные жесткости жестких опор не влияет на работы сейсмоизолирующего фундамента.

Период собственного колебания опоры по первой форме колебаний совпадает с периодом собственного колебания фундамента с опорой, рассмотренный в параграфе 2.2. диссертационной работы, по формуле (5) автореферата.

Отсюда следует что, при сейсмоизоляции жестких опор с фундаментом балочных мостов можно использовать формулу (5) и опоры с фундаментом и пролетным строением рассматривать как жесткое тело массой  $m$ .

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию: колебание фундамента моста при взрыве и модели фундамента опоры при прохождении подвижного состава на железной дороге.

Экспериментальные исследования:

- натурное экспериментальное исследование колебания фундамента опор железобетонного моста при взрыве для создания естественной плотины вблизи моста, сейсмическое воздействие моделировалась взрывом;

- экспериментальные исследования горизонтального колебания модели фундамента опоры балочного моста с сейсмоизолирующими устройствами в основании фундамента на сейсмические воздействия. Сейсмические воздействия моделировались при движении подвижного состава на железной дороге Бишкек – Балыкчы.

Экспериментальные исследования влияния сейсмического воздействия на фундамент балочного моста при взрыве на ГЭС Камбар-Ата-2. Эксперимент проводился сотрудниками кафедры «АиЖД,МиТ» КГУСТА с участием автора данной работы, в рамках проведения обследования и испытания моста через реку Нарын на 318 км автодороги Бишкек – Ош при взрыве для создания естественной плотины на ГЭС Камбар-Ата-2.

Мост расположен на 318 км автодороги Бишкек – Ош. Расстояние от места взрыва до моста составляет 3,5 км. Мост шестипролетный, разрезные пролетные строения из железобетона, длина моста 206,8 м.

Район расположения моста относится к сейсмически опасным районам. Сейсмостойкость района, где расположен мост, 9 баллов, категория грунта II по сейсмическим свойствам.

В результате взрыва получены записи смещения ускорения грунта, фундамента, опоры и пролетного строения моста.

По записям можно определить периоды свободного колебания или частоты, коэффициент затухания и динамический коэффициент сооружения, которые в дальнейшем используются при расчете мостового перехода на динамические нагрузки.

Взрывная волна пришла с восточной стороны моста ( $7,230 \text{ см/с}^2$ ). Поэтому амплитуда ускорения В-3 больше, чем амплитуды ускорения С-Ю ( $3,889 \text{ см/с}^2$ ). Интенсивность взрывной волны по шкале MSK-64 возле моста по максимальным ускорениям составляет 3,5-4 балла.

По результатам данного эксперимента установлено, что на фундаменте промежуточной опоры №6, который был расположен на конусе насыпи (т.е. опирался на искусственное основание), по записям сейсмометрических приборов ускорение было на 40% меньше, чем ускорение грунта возле фундамента. В т.н.5 максимальная амплитуда ускорения –  $7,230 \text{ см/с}^2$ , а в т.н.6 –  $3,889 \text{ см/с}^2$ . Это объясняется преломлением и отражением сейсмических волн при переходе от грунта к фундаменту.

Проведение эксперимента на моделях опор на искусственном и естественном основаниях. Эксперимент проводился в июне месяце 2016 года на моделях фундамента опор, которые были возведены в районе станции «Джиль-Арык» железной дороги Бишкек-Балыкчы.

Фундамент бетонный с параметрами 40х40х60 (в см), класс бетона В20. Опоры – из металлических труб высотой 120см, диаметром 100мм и толщиной стенок 4мм.

На удалении 8м от железнодорожного пути возводились две одинаковые модели фундаментов опор. Одна опиралась на естественный грунт, другой – на искусственное основание (ГПС мощностью 0,2м). Помимо этого, фундамент второй модели по периметру был окружен защитным экраном из гравийно-песчаной смеси толщиной 0,2м. Глубина заложения фундаментов – 0,5м.

Обе модели опор были загружены сосредоточенной нагрузкой по 100кг в виде груза из щебня в мешках. Сейсмоприемники были установлены на обрезах фундаментов, на специальной площадке над опорой и под шпалой – источника колебания.

Целью данного испытания являются:

- определение величин динамических воздействий, создаваемых реальными подвижными нагрузками;

- определение основных динамических параметров моделей фундаментов и опор, в частности, частот собственных колебаний, коэффициента затуханий колебаний.

При динамическом испытании использованы следующие приборы:

- сейсмоприемник СМ-3 (динамический датчик);
- сейсмоприемник ОСП;
- сейсмоприемник СГ-10, СМВ-30S;
- шунтовая коробка с усилителем;
- компьютер.

В комплекте приборы записывают динамические колебания фундаментов и опор моделей, источником колебания применен локомотив и порожние вагоны.

По записям определены периоды свободного колебания или частоты, коэффициент затухания и динамический коэффициент фундаментов опор моделей, которые в дальнейшем используются при анализе эффекта сейсмоизоляции фундаментов.

Перед началом регистрации колебания фундаментов и опор моделей проводилась проверка на идентичность каналов.

Сейсмоприемники соединяются усилителем E14-440 AD/DA converter через ШК-2 кабелем и запись производится на компьютере.

Сейсмоприемники установлены на фундаменты и опоры моделей. При движении подвижного состава различной скоростью от 40 до 60 км/ч регистрировались колебания фундаментов и опор каждой модели.

После обработки экспериментальных наблюдений по методике представленной в главе 3 диссертации получены следующие результаты:

- период собственных колебаний 1- модели на прочном основании  $T=0,41$ сек, а круговая частота собственного колебания  $\omega=15,22$  рад/сек;
- период собственных колебаний 2 - модели на искусственном основании  $T=0,65$ сек, а круговая частота собственного колебания  $\omega=9,66$  рад/сек.

При использовании сейсмоэкрана коэффициент затухания по записям смещения составил  $\varepsilon=1,22 \frac{1}{сек}$ . Ускорения в грунте и опоре первой модели были  $12,5 \text{ см/с}^2$  и  $9,11 \text{ см/с}^2$ , соответственно. Ускорения в грунте и опоре второй модели были  $7,83 \text{ см/с}^2$  и  $5,09 \text{ см/с}^2$ , соответственно. Это значит, снижается сейсмическое воздействие на фундамент в  $9,11/5,09 = 1,8$  раза  $\approx 2$  раза. Это подтверждается из графика коэффициента динамичности на рис. 5, т.е.  $\eta_1=1,22/15,22=0,08$ ;  $\eta_2=1,22/9,66=0,13$ ;  $2,5/1,4=1,8 \text{ раза} \approx 2 \text{ раза}$ .

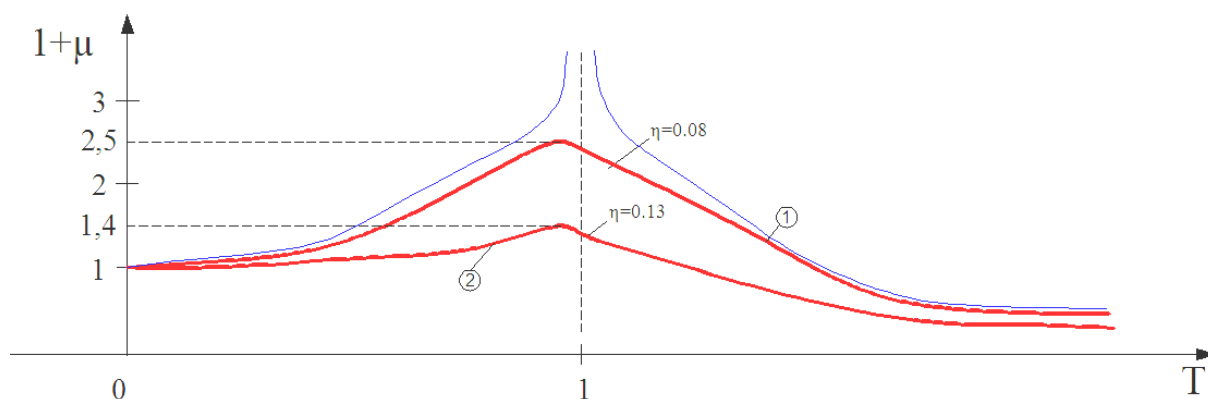


Рис. 5. График коэффициента динамичности модели с различными коэффициентами затухания: 1-кривая для модели I; 2-кривая для модели II.

**В четвертой главе** представлены конструкции сейсмоизоляции мостовых сооружений с искусственным основанием и их практическое применение.

Влияние искусственного основания на сейсмостойкость подземного перехода по улице Киевской возле Ошского рынка. На практике применяются искусственные основания на слабых грунтах. Но в сейсмических районах слабый грунт, искусственное основание и фундамент работают в комплексе при землетрясениях. При этом слабый грунт работает как сейсмоизолирующий элемент.

В литологическом строении объекта принимают участие техногенные и пролювиальные суглинки верхнечетвертично-современного возраста (р-а QIII-IV).

В соответствии со СНиП КР 20:02:2009 «Сейсмостойкое строительство» - участок проектируемой дороги находится на территории с сейсмичностью 8 баллов. Категории грунтов по сейсмическим свойствам - II, кроме насыпных грунтов из строительного мусора - III, которые рекомендуется снять или уплотнить.

Под фундаментом промежуточных опор при строительстве обнаружен насыпной грунт из строительного мусора, который образовался при строительстве здания торгового центра «Берекет-Грант». Мощность данного слоя составляет 4метра. Этот слой рекомендуется убрать до глубины 2метров и уплотняется оставшийся слой грунта из строительного мусора. Затем вместо извлеченного грунта возводится искусственное основание из гравийно-песчаной смеси оптимальной фракции мощностью 2м.

Участок проектируемого подземного перехода расположен в зоне средних инженерно-геологических условий. Современные процессы и явления существенного влияния оказывать не будут. Грунт гравийно-песчаной смеси оптимальной фракции рекомендуется предварительно уплотнить:  $\rho_n = 2,25 \text{ т/м}^3$ ,  $W = 0.12\%$ , коэффициент уплотнения рекомендуется принять - 0,95, при толщине слоя не более 0,3 м. Сейсмичность участка работ - 8 баллов.

Рассмотрим влияние слабого грунта (строительного мусора) на фундамент при сейсмическом воздействии (см. рис. 6 и 7).

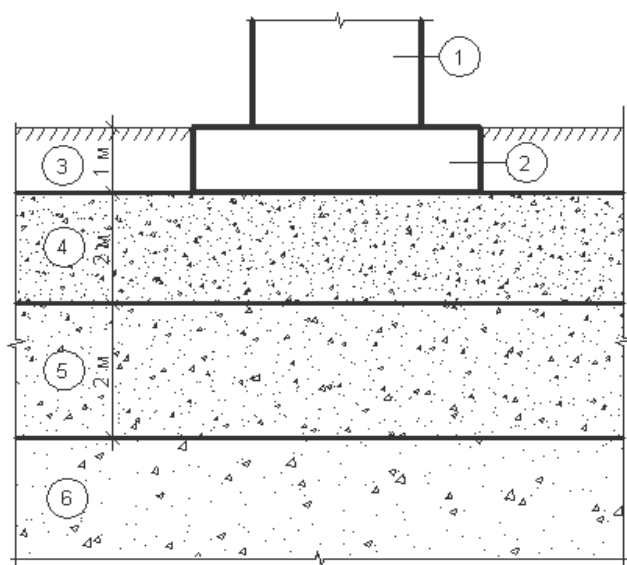


Рис. 6. Фундамент и основания промежуточной опоры подземного перехода.

1-опора; 2-фундамент; 3-обратная засыпка;  
4-гравийно-песчаная смесь оптимальной фракции(ГПС); 5-строительный мусор;  
6-галечниковый грунт.

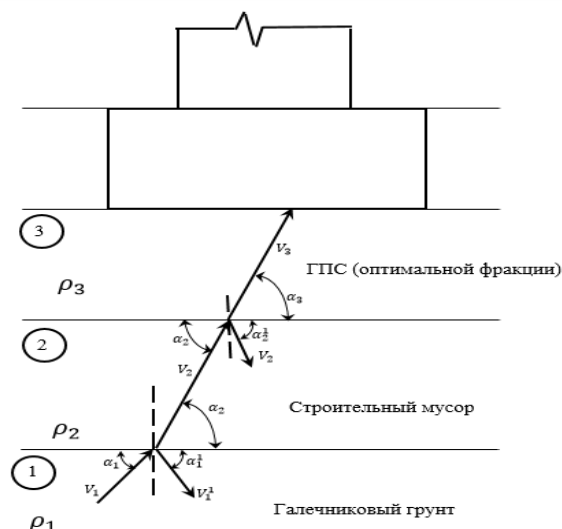


Рис.7. Схема воздействия сейсмической волны

На основе использования закона преломления волн в твердых средах должно соблюдаться условие

$$\frac{\cos \alpha_1}{V_1} = \frac{\cos \alpha_2}{V_2}; \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}. \quad (26)$$

Для снижения скорости падающей волны должно соблюдаться условие

$$\frac{V_1}{V_2} > 1 \quad \text{или} \quad V_1 > V_2, \quad \text{тогда по (26)} \quad \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2} > 1 \quad \text{или} \quad \cos \alpha_1 > \cos \alpha_2, \quad \text{у}$$

нас  $\alpha_1$  меняется от

$$0^\circ \text{ до } 90^\circ. \quad (27)$$

Из условия (27) имеем,

$$\alpha_2 > \alpha_1. \quad (28)$$

При соблюдении условия (28), угол преломления должен быть больше угла падения тогда, когда  $V_1 > V_2$  или  $\rho_1 > \rho_2$ .

Сравниваем энергии падающих и преломленных сейсмических волн.

Энергия волны на единицу длины волны вычисляется по формуле

$$E = \frac{1}{8} \rho g A^2 \lambda, \quad (29)$$

где,  $\rho$  – плотность грунта,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  ускорение свободного падения,

$A$  – полный размах амплитуды волны.  $\lambda$  – длина волны,  $\lambda = V \cdot T$ , где  $V$  – скорость,  $T$  – период волны.

Энергия падающей волны



$$E_1 = \frac{1}{8} \rho_1 g A^2 \lambda_1 = \frac{1}{8} \rho_1 g A^2 V_1 T. \quad (30)$$

Энергия преломленной волны на втором участке

$$E_2 = \frac{1}{8} \rho_2 g A^2 V_2 T; \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2}. \quad (31)$$

Для плотного гравийно-песчаной смеси оптимальной фракции принимаем  $\rho_1 = 2200 \text{ кг/м}^3$ ;  $V_1 = 230 \text{ м/с}$ .

Для пористого материала, например, плотность пористого материала (шлака или отходы строительного материала) и скорость волны в этом грунте будут соответственно  $\rho_2 = 2000 \text{ кг/м}^3$  и  $V_2 = 140 \text{ м/с}$ .

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{2200 \cdot 230}{2000 \cdot 140} = 1,81. \text{ Отсюда видно, что энергия при преломлении волны}$$

уменьшается в  $1,81 \approx 2$  раза.

Вычислим, какая часть энергии волны преломляется и отражается при переходе от первого участка на второй участок.

$E_1$  – энергия падающей волны на первом участке;

$E_2$  – энергия преломленной волны на втором участке;

$E'_1$  – энергия отраженной волны на первом участке.

Если считать энергию падающей волны  $E_1$  за 100%, тогда  $\frac{E_2}{E_1} = 0,553$ ,

отсюда следует, что энергия  $E_2$  преломленной волны составляет 53,3% энергии падающей волны. Тогда энергия  $E'_1$  отраженной волны составляет 44,7% энергии падающей волны.

Мы установили, что энергия отраженной волны составляет 44,7% от энергии падающей волны, тогда энергия  $E'_1$  отраженной волны будет

$$E'_1 = E_1 \cdot 0,447; \quad E_2 = E_1 \cdot 0,553; \quad (32)$$

Рассмотрим закон преломления на втором участке или при переходе волны от пористого материала к гравийно-песчаному (участок 3). При переходе от пористого участка грунта (участок 2) к плотному участку (участок 3) скорость преломленной волны возрастает.

$V_3 > V_2$ , тогда должно соблюдаться условие

$$\frac{\cos \alpha_3}{\cos \alpha_2} > 1 \quad \text{или} \quad \cos \alpha_2 < \cos \alpha_3 \quad (33)$$

Из (33) следует, что

$$\alpha_3 < \alpha_2. \quad (34)$$

$$\frac{E_2}{E_3} = \frac{V_2 p_2}{V_3 p_3} = \frac{140 \cdot 2000}{230 \cdot 2250} = 0.54; \quad V_3 p_3 = \frac{V_2 p_2}{0.54} = 1.85 V_2 p_2; \quad E_3 = E_1 - E'_1 - E_2$$

Отсюда видно, что сейсмическая жесткость увеличивается, а энергия сейсмической волны уменьшается.

$$\frac{E_1}{\Delta E_3} = \frac{E_1}{0,47E_1} = \frac{1}{0,3} = 2,13 \approx 2 \text{ раза,}$$

На основании сравнения энергии падающей и преломленной сейсмической волны установлено, что плотность гравийно-песчаной смеси насыпи и строительного мусора должно быть  $\rho_{\text{мусор}} < \rho_{\text{пс}}$ .

Расчетным путем выявлено, что энергия сейсмической волны в гравийно-песчаной смеси без строительного мусора составляет

$$\frac{E_{\text{пс}}^{\text{⓪}}}{E_{\text{пс}}^{\text{Ⓢ}}} = 1, \text{ а с строительным мусором это соотношение равно,}$$

$\frac{E_{\text{пс}}^{\text{⓪}}}{E_{\text{мусор}}^{\text{Ⓢ}}} = 2,13$  т.е. это значит, что сейсмическое воздействие на фундамент в 3 участке уменьшается на 1 балл.

Отсюда следует, что строительный мусор с меньшей плотностью играет роль экрана при защите фундамента от сейсмических воздействий.

Применение искусственного основания при строительстве пешеходного моста через реку Коргон-Сай в пгт Кок-Жангак Жалал-Абадской области. В 2015 году в НИИ «Сейсмостойкое строительство» КГУСТА им. Н. Исанова был разработан проект пешеходного моста через р. «Коргон-Сай» на основании договора с региональным департаментом по предупреждению ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ПЛПЧС) МЧС Кыргызской Республики, по материалам изысканий выполненных отделом инженерных изысканий ошского филиала Кыргыз ГИИЗ в июне 2014г.

При проектировании пешеходного моста в соответствии с действующими нормами принято:

1. Габарит пешеходного моста Г-2,4 (СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»);
2. Нормативные временные вертикальные нагрузки приняты 400кгс/м<sup>2</sup> (СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»).

Пешеходный мост запроектирован в соответствии со следующими строительными нормами и техническими условиями:

1. СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы»;
2. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
3. СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений»;
4. СНиП 20:02:2009 «Сейсмостойкое строительство».

Конструктивные решения. До строительства демонтируются бетонные блоки опор старого моста. Берега реки, где будет строиться мост, разрабатываются до заданной отметки и подлежат тщательному уплотнению (коэффициент уплотнения  $k=0,9$ ). После уплотнения основания возводиться послойно уплотненная гравийно-песчаная смесь мощностью до 3м (коэффициент уплотнения  $k=0,9$ ).

Опоры моста железобетонные диванного типа, класс бетона В25. Опоры опираются на основание через подушки из гравийно-песчаной смеси, т.е. на искусственное основание. Подферменники и сейсмоупоры – железобетонные,

класс бетона В25. Связь между ними осуществляются с помощью анкеров заранее предусмотренных в опорах.

Пролетное строение состоит из металлической фермы длиной 20м и высотой 2м. Элементы металлических ферм состоят из швеллера и уголков: пояса – спаренный швеллер №10П, раскосы и поперечные связи – уголок 100х100х10, стойки и продольные связи – уголок 80х80х8. Раскосы и стойки, работающие на сжатие – спаренные. Верхний пояс фермы усиливается с ребрами жесткости с шагом 1000мм. В поперечном сечении пролетное строение моста состоит из 2-х металлических ферм. Расстояние между продольными осями ферм 1700 мм. Фермы объединяются между собой горизонтальными и вертикальными связями из выше указанных уголков, над которыми устанавливается металлический рифленый лист настила толщиной 12мм с консолями по краям. Консоли будут поддерживаться подкосами.

Над подферменниками устанавливаются резинометаллические опорные части, над которыми предусмотрены металлические пластины 150х350х20 для равномерного распределения нагрузки на РОЧ, передающиеся через нижние пояса ферм. Места нижних поясов ферм, непосредственно, где опираются на РОЧ усиливаются ребрами жесткости для предотвращения местных деформаций.

Сопряжение моста с насыпью и подходы к мосту осуществляются с помощью из насыпного грунта и лестничных сходов. Грунт II группы. Насыпи подходов расположены между обратными стенками и удерживаются последними. Лестничные сходы, с рабочей шириной 2,5м монолитные железобетонные, с закладными деталями по краям для приваривания металлического перильного ограждения.

Русло реки укрепляется монолитным железобетоном толщиной 20см. Класс бетона В25, морозостойкость F300, бетон гидротехнический.

Конструкция фундамента для уменьшения касательных напряжений по периметру подошвы. Напряжения в подошве фундамента возникают от вертикального давления фундамента. Вертикальные нормальные и касательные напряжения определяются по формулам представленных в работах Б. И. Далматова и Н. А. Цытовича.

Рассмотрим влияние вогнутой подошвы фундамента на величину касательных и нормальных напряжений. На рис. 8 представлена расчетная схема определения напряжений под краями подошвы фундамента. При классических подошвах, т.е. когда подошва плоская и горизонтальная, наибольшие касательные напряжения возникают под краями подошвы, а это приводит к сдвигу и выпучиванию грунтов оснований при больших давлениях или при слабых грунтах.

Касательные и нормальные напряжения на схеме рис. 8(б) можно определить по формулам сопротивления материалов:

$$\tau_{\beta} = \tau_x \cos 2\beta - \frac{\delta z}{2} \sin 2\beta; \quad \delta_{\beta} = \delta_z \cos^2 \beta + \tau_x \sin 2\beta \quad (35)$$

где,  $\tau_\beta$  и  $\delta_\beta$  – касательные и нормальные напряжения в точке В под вогнутой поверхностью подошвы фундамента (см. рис.8),  $\tau_x$  и  $\delta_z$  - касательные и нормальные напряжения действующие на горизонтальную площадку;  $\beta$ -угол наклона касательной в точке В на горизонтальную ось.

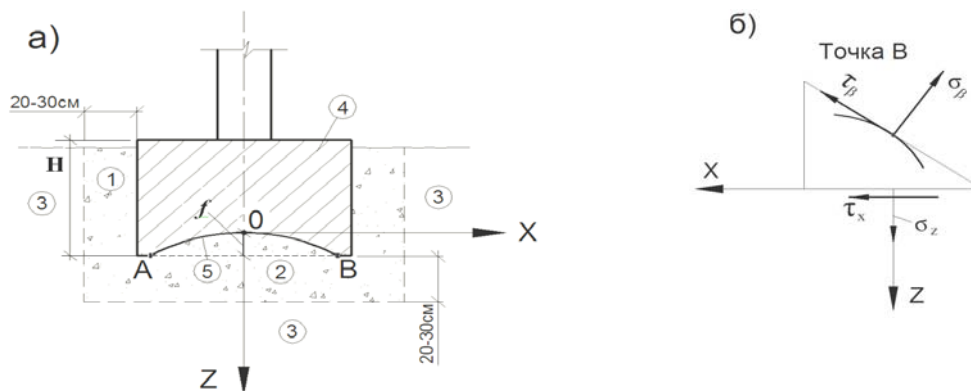


Рис. 8. Конструкция фундамента вогнутой подошвой с сейсмоизолирующим песчаным слоем а) 1-песчаный экран, 2-песчанная подушка, 3-надежное основание, 4-фундамент вогнутой подошвой, 5-вогнутая поверхность подошвы фундамента ( $f=1/3-1/2$  от  $H$ , где  $f$  – высота стрелы свода и  $H$  – высота фундамента); б) расчетная схема для определений напряжений под вогнутой подошвы фундамента.

Из формулы (35) видно, что вогнутая поверхность уменьшает касательные напряжения  $\tau_\beta$ , чем касательные напряжения  $\tau_x$  действующая в горизонтальной плоскости для классических фундаментах, тем самым увеличивается сопротивляемость грунта к сдвиговым напряжениям.

Предлагаемая конструкция фундамента не только увеличивает сопротивляемость основания к сдвигу, но и уменьшает изгибающего момента возникающих в фундаменте при сейсмических воздействиях в горизонтальном направлении по оси  $X$ . Причем, угол  $\beta$  должен изменяться по поверхности подошвы в пределах  $0 \leq \beta \leq 25^\circ$ .

На табл. 1 представлены значения касательных и нормальных напряжений в зависимости от угла наклона касательной к точкам поверхности подошвы фундамента на горизонтальную ось  $X$ .

Таблица. 1 - Значение касательных и нормальных напряжений в зависимости от угла вогнутости  $\beta$  фундамента

Угол $\beta$ в град.	$\tau_x$ , (МПа)	$\sigma_z$ , (МПа)	$\tau_\beta$ , (МПа)	$\sigma_\beta$ , (МПа)
0	0,30	0,48	0,30	0,48
5	0,30	0,48	0,25	0,53
10	0,30	0,48	0,20	0,57
15	0,30	0,48	0,14	0,60
20	0,30	0,48	0,08	0,617
25	0,30	0,48	0,007	0,623

На рис. 9 показана эпюра давлений и схема определения осадок фундамента.

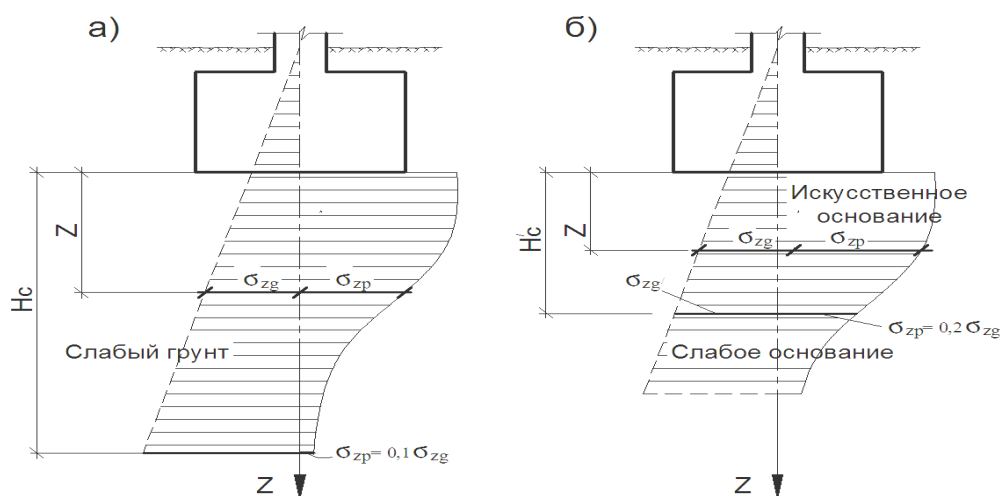


Рис. 9. Эпюра давлений и схема определения осадок фундамента.

а) эпюра давлений фундамента на слабом основании;

б) эпюра давлений фундамента на искусственном основании;

$H_c$  и  $H_c^I$  – глубина сжатой зоны на слабом и искусственном основании,  $H_c^I < H_c$

## ВЫВОДЫ

1. Предложены формулы для определения частот и периода собственного колебания системы «грунт - сооружения», теоретическое исследование работы балочного моста показало, что применение сейсмоизолирующих искусственных оснований увеличивает периоды и коэффициент затухания системы «грунт-сооружения» и тем самым снижают сейсмическое воздействие на фундамент опоры мостов.

2. По результатам эксперимента проведенного на мосту через р. Нарын на 318км автодороги Бишкек-Ош установлено, что на фундаменте промежуточной опоры №6, который был расположен на конусе насыпи (т.е. опирался на искусственное основание), по записям сейсмометрических приборов ускорение было на 40% меньше, чем ускорение грунта возле фундамента. В п.н.5 максимальная амплитуда ускорения –  $7,230 \text{ см/с}^2$ , а в п.н.6 –  $3,889 \text{ см/с}^2$ . Это объясняется преломлением и отражением сейсмических волн при переходе от грунта к фундаменту.

3. Проведения эксперимента на моделях опор на искусственном и прочном основаниях показал: при использовании сейсмоэкрана коэффициент затухания по записям смещения составил  $\varepsilon = 1,22 \frac{1}{\text{сек}}$ ; ускорения в грунте и опоре первой модели были  $12,5 \text{ см/с}^2$  и  $9,11 \text{ см/с}^2$ , соответственно; ускорения в грунте и опоре второй модели были  $7,83 \text{ см/с}^2$  и  $5,09 \text{ см/с}^2$ , соответственно. Это объясняется преломлением и отражением короткопериодных волн от подвижного состава и увеличением периода собственного колебания, также коэффициента затухания модели.

4. Разработанная конструкция фундамента на искусственном основании и с сейсмоизолирующим экраном по периметру - снижает сейсмическое воздействие на балочный мост в 2 раза. Экономический эффект от разработанной конструкции фундамента составляет 15-20%.

5. По разработанной методике расчета фундаментов опор моста на воздействие сейсмических нагрузок установлено, что сейсмическая сила в опоре с сейсмоизолирующим искусственным основанием меньше, чем в опоре с жестким основанием.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Апсеметов, М. Ч. Дерево для строительства мостов в Иссык-Кульской области [Текст] / М. Ч. Апсеметов, П. Т. Кошумбаев, **Н. Курманбек уулу** // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2008. – Вып. 1 (19). – С. 76-79.

2. **Курманбек уулу Н.** Землетрясение и его воздействия на транспортные сооружения [Текст] / Н. Курманбек уулу // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2009. – Вып. 1(23). – Т.2. – С. 140-145.

3. Апсеметов, М. Ч. Результаты обследования и испытания моста на проспекте Рыскулова в г. Алматы [Текст] / М. Ч. Апсеметов, У. Т. Шекербеков, **Н. Курманбек уулу** и др. // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2009. – Вып. 4(26). – Т.2. – С. 65-70.

4. **Курманбек уулу Н.** Искусственные сооружения, исходные условия проектирования и основные требования к их сейсмостойкости [Текст] / Н. Курманбек уулу // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2010. - Вып. 1(27). – С. 24-28.

5. Апсеметов, М. Ч. Колебания моста через реку Нарын на 318 км автомобильной дороги Бишкек-Ош при взрыве в ГЭС Камбар-Ата – 2 [Текст] / М. Ч. Апсеметов, А. Е. Айдаралиев, **Н. Курманбек уулу** и др. // Вестник КРСУ. – Бишкек, 2011. – Т.11, №9. – С. 75 – 79.

6. Апсеметов, М. Ч. Конструкции насыпи к подходу моста для сейсмических районов с интенсивностью 9 и более баллов [Текст] / М. Ч. Апсеметов, Б. С. Ордобаев, **Н. Курманбек уулу** и др. // Вестник КРСУ. – Бишкек, 2012. – Т.12, № 6. – С. 79-82.

7. Апсеметов, М. Ч. Сейсмостойкость береговых опор и конусов насыпи балочных мостов [Текст] / М. Ч. Апсеметов, Н. Ж. Маданбеков, **Н. Курманбек уулу** и др. // Илим. - Бишкек, 2015. -168с.

8. Апсеметов, М. Ч. Испытание моста через реку Нарын на 318км автомобильной дороги Бишкек-Ош для перевозки сверхнормативного груза [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу**, Н. У. Шамшиев и др. // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2015. - №3(49). - С. 28-34.

9. Апсеметов, М. Ч. Определение динамических параметров моста через реку Нарын на 318 км автомобильной дороги Бишкек-Ош при натурных испытаниях [Текст] / М. Ч. Апсеметов, У. Т. Шекербеков, **Н. Курманбек уулу** и др. // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2015. – Вып. 3(49). – С. 35-43.

10. Апсеметов, М. Ч. Влияние искусственного основания на сейсмостойкость подземного перехода по улице Киевской возле Ошского рынка [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу** // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2016. - №1(51). - С. 23-28.
11. Апсеметов, М. Ч. Расчет пешеходного висячего моста пролетом 50м через р.Чаткал Чаткальского района [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу**, А. М. Апсеметов и др. // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2016. - №2(52). - С. 78-85.
12. Апсеметов, М. Ч. Натурное испытание пролетного строения железобетонного моста [Текст] / М. Ч. Апсеметов, У.Т. Шекербек, **Н. Курманбек уулу** и др. // Сборник научных трудов КазНИИССА. - Алматы, 2016. - №24 (34). - С. 49-61.
13. Апсеметов, М. Ч. Натурное испытание моста при взрыве для создания естественной платформы [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу**, У. Т. Шекербек // Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». – Москва, 2017. –Т.1, №1. – С. 13-17.
14. Апсеметов, М. Ч. Натурные испытания моста на подвижные нагрузки [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу**, У. Т. Шекербек // Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». – Москва, 2017. – Т.2, №2. – С. 36-42.
15. Апсеметов, М. Ч. Обследование и испытание железобетонного путепровода в г. Алматы [Текст] / М. Ч. Апсеметов, **Н. Курманбек уулу**, Н. А. Осмонканов // Вестник КРСУ. - Бишкек, 2017. – Т.17, №5. - С. 126-130.

## **КОРУТУНДУ**

**Курманбек уулу Нурландын «Кыргыз Республикасынын регионалдуу шарттарына ылайык устундуу копурулордун сейсмотуруктуулугу» аттуу темасындагы диссертациясына. Диссертация 05.23.11 – «жолдорду, аэродромдорду, копурулорду жана транспорттук туннелдерди долбоорлоо жана куруу» адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасына изденууго.**

**Түйүндүү сөздөр:** сейсмоболуу, сейсмоболуучу таяныч жана сейсмоболуучу тузулуш, сейсмоболуу коэффициент, жасалма негиз, сейсмоторгоочу экран, долбоорлоо, сейсмикалык толкун, токундардын сынуусу жана чагылуусу, термелуунун амплитудасы, ылдамдануу, тажрыйба, негиздин кыртышы, таяныч, пайдубал, устундуу копуру.

**Изилдөөнүн объектиси:** КРдин регионалдуу шарттарына ылайык устундуу копурулордун сейсмотуруктуулугу

**Изилдөөнүн предмети:** устундуу копурулордун жасалма негиздеги пайдубалдарынын конструкциялары.

**Изилдөөнүн максаты:** негизге жана пайдубалга сейсмикалык таасир болгондо, устундуу копурунун сейсмотуруктуулугун жогорулатуу.

**Изилдөөнүн методдору:** коюлган максаттарды жана милдеттерди чечүү үчүн заманбап ыкмалар жана техникалык каражаттар менен ишке ашырылган, теориялык жана эксперименталдык изилдөөлөрдү камтыган комплекстүү ыкма колдонулган. Колдонулган каражаттар: сейсмокабыл алгыч СМ-3; сейсмокабыл алгыч ОСП; сейсмокабыл алгыч СГ-10, СМВ-30S; шунттук коробка кучтонткучу менен; ПК ж.б.у.с.

**Изилдөөнүн натыйжалары жана илимий жаңылыгы:** жасалма негиздеги копурулордун пай дубалдарынын конструкциясы иштелип чыккан жана сунушталган; сейсмикалык таасир болгондо, жасалма негиздуу устундуу копурунун пайдубалдарын эсептоо методикасы иштелип чыккан; жасалма негиздин катмарларынын катуулугун тандоодогу инженердик тапшырмаларды чыгаруудагы онойлотулган формулалар жана графикалык схемалар сунушталган.

**Колдонуунун денгээли:** изилдоонун жыйынтыктары Кыргыз республикасынын туштук региондорундагы устундуу копурулорду долбоорлоодо жана курууда, Бишкек шаарындагы Киевский кочосундогу жер астындагы отмокту салууда, жана ошондой эле Н.Исанов атындагы КМКТАУнун «Автомобиль жолдору жана аэродромдор», «Темир жолдорду куруу», «Копурулор жана транспорттук тоннельдер» адистиктеринин студенттеринин окуу иштеринде синирилген.

**Колдонулуучу тармактар:** келечекте илимий изилдоонун жыйынтыктарын автомобиль жана темир жолдорундагы инженердик транспорттук курулмаларды (М.: копурулорду, отмокторду, эстакадаларды, галереяларды ж.б.у.с.) долбоорлоодо колдонууга болот.



## РЕЗЮМЕ

**диссертации Курманбек уулу Нурлана на тему: «Сейсмостойкость балочных мостов в региональных условиях Кыргызской Республики» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей**

**Ключевые слова:** сейсмоизоляция, сейсмоизолирующая опора и сейсмоизолирующее устройство, коэффициент сейсмоизоляции, искусственное основание, сейсмоизолирующий экран, конструирование, проектирование, сейсмическая волна, преломление и отражение волн, амплитуда колебаний, ускорение, эксперимент, литологическое строение, грунты основания, опоры, фундамент, пролетное строение.

**Объект исследования:** сейсмостойкость балочных мостов в региональных условиях КР.

**Предмет исследования:** конструкция фундамента балочных мостов с искусственным основанием.

**Цель работы:** повышение сейсмостойкости балочных мостов, при воздействии сейсмических нагрузок на основание и фундамент.

**Методы исследования.** Для решения поставленной цели и задач использован комплексный метод, включающий теоретические и экспериментальные исследования, выполненные с применением современных методов, технических средств и приборов, как: сейсмоприемник СМ-3 (динамический датчик); сейсмоприемник ОСП; сейсмоприемник СГ-10, СМВ-30S; шунтовая коробка с усилителем; ПК и т.д.

**Полученные результаты и их новизна:** разработана и предложена конструкция фундамента балочных мостов на искусственных основаниях; разработана методика расчета фундаментов опор балочного моста с сейсмоизолирующим искусственным основанием на воздействие сейсмических нагрузок; предложены упрощенные формулы расчета и графические схемы для инженерных задач по подбору жесткостей грунтов искусственного основания.

**Степень использования:** полученные результаты данной научной работы были реализованы при проектировании и строительстве балочных мостов в южных регионах КР, при строительстве подземного перехода в г. Бишкек, а также в учебный процесс студентов по профилям «Автомобильные дороги и аэродромы», «Строительство железных дорог» и «Мосты и транспортные тоннели» КГУСТА им. Н. Исанова.

**Область применения:** Результаты научных исследований можно применить при проектировании и строительстве инженерно-транспортных сооружений (Н.: мостов, путепроводов, эстакад, галерей, подземных переходов и т.п.), как на автомобильных, так и на железных дорогах.

## SUMMARY

**Kurmanbek uulu Nurlans dissertation on the topic of «Seismic resistance of beam bridges in the regional context of the Kyrgyz Republic». Thesis submitted for confer the scholarly degree of “Candidate of technical sciences” by specialty 05.23.11 – design and construction of roads, subways, airports, bridges and transport tunnels**

**Keywords:** seismic isolation, Seismic support and the seismic isolation device, seismic coefficient artificially base seismic isolation screen, design, engineering, seismic waves, refraction and reflection of waves, the amplitude of the vibrations, acceleration, experiment, lithology, foundation soils, supports, foundations, span structure.

**Object of investigation:** Seismic resistance of beam bridges in the regional context of the Kyrgyz Republic.

**Subject of investigation:** construction of the foundation of beam bridges with an artificial base.

**The purpose of the work** is to increase the seismic stability of beam bridges, under the influence of seismic loads on the foundation and foundation.

**Methods of research:** to solve the set goal and tasks, a complex method is used, including theoretical and experimental studies, carried out using modern methods and technical means: geophone CM-3, OCII, CT-10, CMB-30S and computer.

**The obtained results and their novelty:** the design of the foundation of the beam bridges on artificial substrates was developed and proposed; a technique for calculating the foundations of the beam bridge supports with a seismically insulating artificial base for the effect of seismic loads; Simplified calculation formulas and graphical schemes for engineering tasks on selection of hardness of artificial substrate grounds were proposed.

**Degree of use:** the results of this scientific work were realized during the design and construction of beam bridges in the southern regions of the KR, during the construction of the underground passage to Bishkek, as well as in the students' learning process on the profiles "Roads and airfields", "Railway construction" and "Bridges and Transport Tunnels" KSUCTA them. N.Isanova.

**Application area:** The results of scientific research in the future can be applied in the design and construction of engineering and transportation facilities (for exemple: bridges, overpasses, overpasses, galleries, underground passages), both on roads and on railways.

**Курманбек уулу Нурлан**

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ В РЕГИОНАЛЬНЫХ  
УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Подписано в печать 26.04.2018

Формат бумаги 60х84 1/16. Объем 1,5 п.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 513

---

Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры им. Н. Исанова  
г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, Б