

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Б.Н. Ельцина**

Диссертационный совет Д 05.23.664

На правах рукописи
УДК: 699.841:624.21:625

ОСМОНКАНОВ НУРБЕК АНАРБЕКОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ**

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИШКЕК - 2023

Диссертационная работа выполнена на кафедре автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Научный руководитель:

Апсеметов Мухтар Чуканович

кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры автомобильные и
железные дороги, мосты и тоннели
Кыргызского государственного технического
университета им. И. Раззакова

Официальные оппоненты:

Киялбаев Абды Киялбаевич

доктор технических наук, профессор,
директор технопарка Казахского
автомобильно-дорожного института
им. Л.Б. Гончарова

Каримов Эркин Машанович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой прикладной механики
Ошского технологического университета им.
академика М.М. Адышева

Ведущая организация:

**Государственное предприятие проектно-
изыскательский институт
«Кыргыздорттранспроект».**

Адрес: 720020, Кыргызская Республика,
г. Бишкек, ул. Саманчина, 6.

Защита диссертации состоится «26» января 2024 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.23.664 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) технических наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34, б, Большой актов зал, www.kstu.kg, тел: 0(312) 543561, факс: 0(312) 545162. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/052-cxc-nsq-nbk>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66 и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44 и по ссылке: https://vak.kg/diss_sovety/d-05-23-664.

Автореферат разослан «18» декабря 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент

Маданбеков Н. Ж.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В Кыргызской Республике большинство пассажирских и грузовых перевозок производится автомобильным транспортом, поэтому от протяженности и долговечности автомобильных дорог зависит рост экономики страны. Автомобильные и железные дороги включают различные транспортные сооружения, которые являются неотъемлемой частью линейных инженерных сооружений.

Строительство автомобильных и железных дорог связано со строительством большого числа транспортных искусственных сооружений, так как Кыргызская Республика имеет горную локализацию, что характеризуется множественными обструкциями для линейного развития дорог как геоморфологические, гидрогеологические и геосинклинальные структуры. Мостовые сооружения в данном случае являются главным конструктивным решением отмеченных выше гидрогеологических и сейсмологических проблем.

Эффективность строительства этих сооружений во многом зависит от применения технически целесообразных, экономически выгодных конструкций сооружений, внедрение в мостостроении новых более рациональных строительных материалов.

Особенно большую роль в современном мостостроении для сейсмических районов принадлежит применению материалов и конструктивных схем повышающих резистентность мостовых сооружений к сейсмическому воздействию.

В настоящее время широкую практику применения имеют полимерные и композитные материалы, которые своими упругопластическими характеристиками могут решать различные задачи сейсмостойкого строительства. Искусственный каучук, продукт нефтехимии, широко и успешно применяется при устройстве дорожных покрытий, деформационных швов, шарниров, при устройстве опорных частей в качестве резинометаллических опорных частей мостовых сооружений. В районах с высокой сейсмической эмиссией, применение резинометаллических опорных частей для изоляции сейсмической силы (энергии) представляется наиболее **актуальным решением** подобной задачи.

По данной проблеме занимались такие ученые как С.А. Бернштейн (1930-1938 гг.), Г.Н. Карцивадзе (1957-1974 гг.), В.П. Чуднецов (1965-1980 гг.) Л.И. Мешеряков (1960-1963 гг.), В.К. Корчагин (1963-1975 гг.), Г.А. Пассек (1965-1980 гг.), Е.А. Кулиш (1980-1990 гг.), Т.О. Ормонбеков (2005-2011 гг.), У.Т. Бегалиев (2005-2018 гг.), М.Ч. Апсметов (1986-2022 гг.) и другие.

Резинометаллические опорные части в отличие от стальных пластин обеспечивают достаточное число степеней свободы пролетного строения на опорных частях мостового сооружения, что дает возможность обеспечения достаточной резистентности сооружения к сейсмическим воздействиям.

Однако, практика применения плоских резинометаллических опорных частей в мостах, расположенных в сейсмических районах, показывает их конструктивный недостаток как нарушение геометрии и, как следствие,

целостности конструкций пролетных строений при горизонтальных и вертикальных перемещениях грунтов оснований во время землетрясений.

Таким образом, разработка конструктивного решения резинометаллических опорных частей мостовых сооружений и теоретическое обоснование принятых конструктивных решений способных повысить устойчивость сооружений в динамике сейсмических усилий в условиях Кыргызской Республики является **актуальной задачей**.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами:

- Основные направления развития железнодорожного транспорта Кыргызской Республики на 2014-2020 годы, утвержденный постановлением правительства Кыргызской Республики от 30 сентября 2014 года № 558.

- Основные направления развития дорожной отрасли на 2016–2025 годы, утвержденный постановлением правительства Кыргызской Республики от 1 июля 2016 года № 372.

Целью диссертационной работы является разработка конструктивного решения опорных частей мостовых сооружений, повышающих сейсмостойкость транспортных сооружений в сейсмически активных условиях Кыргызской Республики.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи исследования:

- анализ литературных источников по диссертационной работе и обзор текущего состояния исследуемого вопроса с изучением конструкций опорных частей транспортных сооружений в сейсмических районах;

- теоретические и экспериментальные исследования работы балочного моста с резинометаллическими опорными частями для определения несущей способности и жесткости резинометаллической опорной части мостового сооружения;

- структурный анализ балочного моста с резинометаллической опорной частью на сейсмические воздействия в среде САПР;

- разработка рекомендации по расчету и проектированию транспортных сооружений с резинометаллической опорной частью криволинейной поверхностью для сейсмических районов с определением периодов собственных колебаний балочных мостов;

- разработка конструкции резинометаллической опорной части мостового сооружения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана конструкция резинометаллической опорной части мостового сооружения, отличающаяся тем, что опорная поверхность имеет криволинейную цилиндрическую форму с оптимальным радиусом кривизны равным $r = 42$ см;

- разработаны формулы для определения оптимальных параметров резинометаллической опорной части с криволинейной поверхностью при действии сейсмических сил, отличающиеся тем, что описывают диссипацию

сейсмической энергии, снижающей сейсмической нагрузки на опору;

- разработана методика определения периодов собственных колебаний балочных мостов с резинометаллическими опорными частями, отличающаяся тем, что ведет к воспрепятствованию наложения амплитудно-частотных и темпоральных характеристик собственных, вынужденных и преобладающих колебаний среды, что защитит сооружения от опасных резонансных явлений.

Практическая значимость полученных результатов.

Разработанная конструкция снижает сейсмическое воздействие на конструктивные элементы мостового сооружения на 1 балл, что как следствие, приводит к экономии финансовых затрат на капитальное строительство.

Конструкция резинометаллической опорной части с криволинейной поверхности внедрена при проектировании моста через реку Сокулук в селе Сокулук Чуйской области, и в учебный процесс КГТУ для студентов, обучающихся по профилям/специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы» и «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», а также «Мостоотряд» Государственного предприятия «Национальной компании «Кыргыз Темир Жолу» (ГП НК «Кыргыз Темир Жолу»).

Экономическая значимость полученных результатов. Разработанная конструкция опорной части снижает сейсмическую нагрузку на транспортные сооружения и уменьшает расход материалов при строительстве мостовых сооружений в диапазоне от 8 % до 12 % в зависимости от сейсмичности площадки строительства.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- разработанная конструкция резинометаллической опорной части с криволинейной поверхностью;
- методика определения периодов собственных колебаний балочных мостов с резинометаллическими опорными частями;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований работы резинометаллической опорной части с криволинейной поверхностью при сейсмических воздействиях;
- предложенные формулы для определения оптимальных параметров резинометаллической опорной части с криволинейной поверхностью;
- результаты структурного анализа мостового сооружения с резинометаллической опорной частью на сейсмические воздействия.

Личный вклад соискателя. Диссертационное исследование выполнено автором с использованием источников в установленном порядке и при научном руководстве утвержденного научного руководителя. Теоретические исследования, их анализ и обобщение результатов выполнены автором и научным руководителем. Разработка конструктивного решения и экспериментальные исследования выполнены лично автором.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и отдельные разделы работы докладывались и обсуждались на: научно-

технических конференциях КГУСТА им. Н. Исанова с 2015 до 2022 г.; международной научно-практической конференции «Инновации в области строительства транспортных сооружений: Становление, проблемы, перспективы», посвященной 60-летию доктора технических наук, профессора Р.С. Картанбаева (Бишкек, 2016 г.); XIII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (Москва, 2019 г.); IV международной научно-практической конференции по сейсмостойкому строительству (Бишкек, 2023 г.); 65-й международной сетевой научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Бишкек, 2023 г.). Разработано методическое указание по курсовому проектированию «Сейсмостойкость балочных мостов» для студентов по профилям/специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы» и «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Основное содержание диссертации опубликовано в 9 научных статьях из списка НАК КР, в том числе 3 статьи из списка РИНЦ за пределами КР и 1 монографии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Текстовая часть изложена на 218 страницах машинописного текста, включая приложения, содержит 68 рисунков, 28 таблиц и список литературы из 185 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении раскрывается актуальность темы, направление исследований и общая характеристика диссертационной работы. Сформулированы цели, задачи исследования, научная новизна и оценка практической значимости полученных результатов.

В первой главе «Обзор текущего состояния исследуемого вопроса» рассмотрен обзор текущего состояния исследуемого вопроса. Также рассмотрены вопросы практики применения резинометаллических опорных частей и обзор теоретических и экспериментальных исследований других авторов в этой области науки.

Вопросы сейсмической резистентности зданий и инженерных сооружений и их реакция в динамике нагрузок получили широкое распространение в работах Абдужабарова А.Х., Айзенберга Я.М., Апсаметова М.Ч., Жунусова Т.Ж., Завриева К.С., Карцивадзе Г.Н., Кутуева М.Д., Маруфия А.Т., Назарова А.Г., Рашидова Т.Р., Рухадзе А.В., Бегалиева У.Т., Зулпуева А.М., Исакова О.А. и других авторов.

Транспортные сооружения и дорожная инфраструктура нашли отражение в работах Киялбаева А., Асанова А.А., Гибшмана М.Е., Достановой С.Х., Маданбекова Н.Ж., Каримова Э.М., Жумабаева Р.А. и других.

Опорные части балочных мостов влияют на характер разрушения мостов при сейсмических воздействиях, при этом, плоские резинометаллические опорные части изолируют массу пролетного строения от опоры, но не эффективно обеспечивают против соскакивания пролетного строения с опоры во время землетрясения. Для противодействия соскакивания пролетного строения с опоры можно применить резинометаллические опорные части с криволинейной поверхностью.

Вторая глава «Теоретические исследования напряженного состояния резинометаллических опорных частей с криволинейной поверхностью» посвящена теоретическим аспектам исследований напряженного состояния резино-металлических опорных частей с криволинейной поверхностью. Рассмотрены вопросы напряжения при центральном и внецентренном сжатии опорных частей, их жесткости и анализ напряженно-деформированного состояния опорных частей мостовых сооружений с круглоцилиндрической поверхностью.

Объект исследования: Транспортные сооружения, мостовые сооружения на дорогах.

Предмет исследования: Опорная часть мостовых сооружений, резинометаллические опорные части мостовых сооружений.

Методы исследования: В диссертации использован комплексный метод, включающий теоретические и экспериментальные исследования, численное моделирование на основе Метода конечных элементов, а также постановка физического эксперимента нового конструктивного решения резинометаллической опорной части.

Анализ теоретических исследований напряженного состояния резино-металлических опорных частей с цилиндрической поверхностью проводим преобразованием закона Гука:

$$P = \Delta h_i \cdot \frac{a^3 \cdot b \cdot G \cdot m_r}{C_h \cdot h_i^3} = \frac{\Delta h \cdot F \cdot 3G}{h_p} \cdot \left(\frac{a}{h_i}\right)^2 \cdot \frac{m_r}{3C_h} = \frac{\Delta h \cdot F \cdot 3G}{h_p} \cdot M_p$$

где зависимость M_p :

$$M_p = \left(\frac{a}{h_i}\right)^2 \cdot \frac{m_r}{3C_h} \quad (1)$$

представит собой коэффициент характеризующий ужесточение резиновой пластинки в следствие введенных допущений, что резиновая пластинка по своей поверхности в плане не может деформироваться, а сохранение постоянного объема резины обеспечивается за счет выпучивания ее боковой поверхности. Такое допущение равносильно тому, что резиновая прослойка в опорной части по своим контактным поверхностям с металлической арматурой накрепко склеена и эти поверхности не могут деформироваться.

На графике (рис. 1) представлена зависимость M_p от отношения $\frac{a}{h_i}$ при различных значениях $\frac{a}{b}$ и $m_r = 0,95$.

Более кучная зависимость получается, если M_p выразить через коэффициент формы Φ (1):

$$\Phi = \frac{a \cdot b}{2(a+b) \cdot h_i} \quad (2)$$

Такая зависимость изображена на графике (рис. 2). Практически можно пользоваться одной кривой с отношением $\frac{a}{b} = 2,33$.

Если учесть кривизну опорной части при отношении $\frac{a}{b} = 2,33$, то для приближенных расчетов можно пользоваться графиком (рис. 2) с $m_r = 0,95$ или более точно, если необходимо учесть фактическую кривизну – по таблице 1:

Таблица 1 – Фактическая кривизна

$\frac{a}{r}$	1,5	1,0	0,83	0,5
m_r	0,81	0,93	0,95	0,98

Промежуточные значения принимаются по интерполяции.

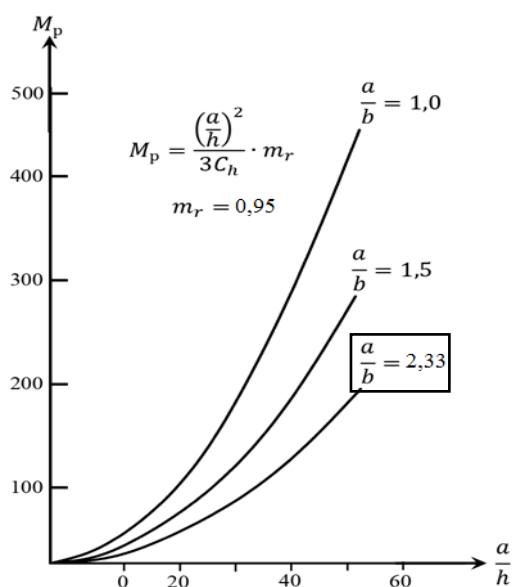


Рисунок 1 – График зависимости M_p от $\frac{a}{h}$

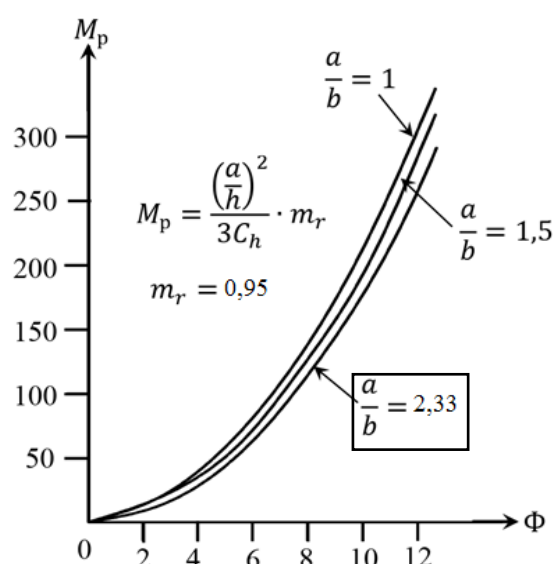


Рисунок 2 – График зависимости M_p от Φ

Вертикальная жесткость резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью очень мало зависит от отношения $\frac{C_x}{C_y}$, в то время, как горизонтальная жесткость увеличивается в несколько раз, и тем больше, чем больше отношение $\frac{C_y}{C_x}$.

При внецентренном сжатии, также возможно получить коэффициент ужесточения:

$$M = C_m \cdot \frac{a^5 \cdot b \cdot G \cdot \alpha_i}{h_i^3} = \frac{b a^3 \cdot 3G \cdot \alpha}{12 \cdot h_p} \cdot 4 \left(\frac{a}{h_i} \right)^2 \cdot C_m$$

Коэффициент ужесточения будет:

$$M_{\varphi_1} = 4 \left(\frac{a}{h_i} \right)^2 \cdot C_m \quad (3)$$

Полученное выражение коэффициента ужесточения при внецентренном сжатии справедливо как для плоской опорной части, так и для опорной части с цилиндрической или наклонной поверхностью.

Однако эффект работы резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью при угловых деформациях концевых сечений пролетного строения моста состоит в том, что при повороте опорного сечения резиновая опорная часть работает не на внецентренное сжатие, а на сдвиг.

Момент при этом будет равен:

$$M = r \cdot ab \cdot \tau_\alpha = r \cdot ab \cdot \frac{G \cdot r_\alpha}{h_p} \quad (4)$$

Если преобразовать выражение момента подобно выражению для внецентренного сжатия, то будем иметь

$$M = \frac{ba^3 \cdot G \cdot \alpha}{4h_p} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\left(\frac{a}{r}\right)^2} = \frac{ba^3 \cdot G \cdot \alpha}{4h_p} \cdot M_{\varphi_2} \quad (5)$$

Сравнивая оба полученных коэффициента ужесточения, представляется возможным убедиться в эффективной работе опорных частей с цилиндрической поверхностью на угловые деформации опорных сечений пролетного строения моста. При $\frac{a}{b} = 2,33$ и $\frac{a}{r} = 0,83$ получаем (табл. 2):

Таблица 2 – Угловые деформации опорных сечений

a/h	10	30	40	60
M_{φ_1}	4,2	38,1	67,8	152,5
M_{φ_2}	1,3	1,3	1,3	1,3

Если при угловых деформациях пролетного строения опорные части с цилиндрической поверхностью практически не ужесточаются, то при горизонтальных деформациях пролетного строения жесткость опорных частей с цилиндрической поверхностью по сравнению с плоскими выше.

Коэффициент ужесточения будет равен:

$$M_T = 1 + \left(\frac{a}{h_i} \right)^2 \cdot \frac{h_i}{r} \cdot C_{T\varphi} \quad (6)$$

Этот коэффициент может сравниваться с единицей для плоских опорных частей.

Графическая зависимость для отношения $\frac{a}{b} = 1$ показана на (рис. 3).

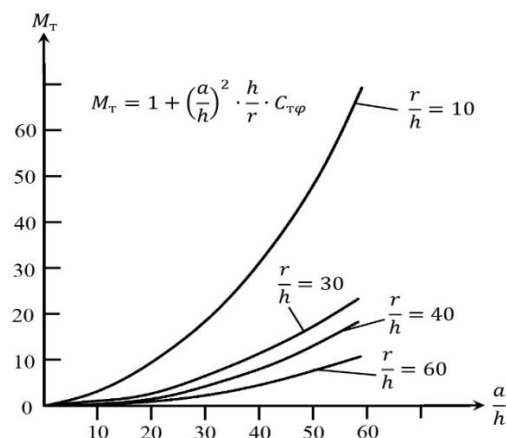


Рисунок 3 – График ужесточения M_p в зависимости от $\frac{a}{h}$

Повышенная горизонтальная жесткость опорных частей с цилиндрической поверхностью требует некоторого увеличения размеров опорных частей в плане по сравнению с плоскими или увеличения толщины резиновой прослойки в них.

В этой связи возникает необходимость не в выборе оптимальных размеров радиуса кривизны опорной части с цилиндрической поверхностью, а назначения его максимальных размеров, таких которые бы отвечали требованиям сейсмостойкости опорных частей и в то же время максимально приближали их конструкцию к конструкции плоских опорных частей. Таким требованиям, на наш взгляд, является конструктивное требование, разработанное автором, конструкция резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью (рис. 4).

Максимально возможный радиус кривизны должен быть назначен таким образом, чтобы возможные нарушения работы резины в опорной части, во время сейсмического толчка (смятие, срез по линии АВ), не дали возможности соскользнуть пролетному строению.

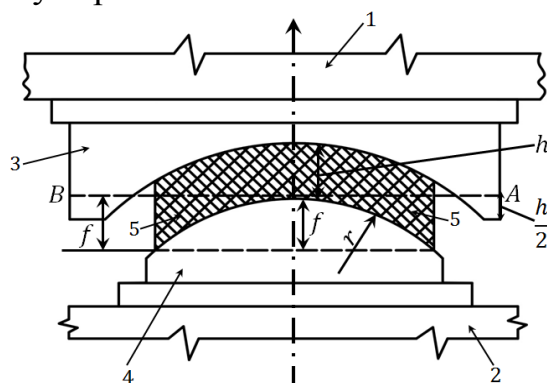


Рисунок 4 – Резиновая опорная часть с цилиндрической поверхностью:

1- пролетное строение; 2-опора; 3-вверхний балансир;
4-нижний балансир; 5-резинометаллическая опорная часть с цилиндрической поверхностью

Такое условие получается, если принять f – высоту сегмента равным толщине резиновой опорной части h , а над линией АВ нарастить площадку на толщину h_p которая и будет являться жестким упором при сдвиге.

Получены формулы для определений напряжений и перемещений в резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью при сжатии, сдвиге и кручении опорной части. Из расчета напряжений получены формулы и графики для определения высоты и радиуса кривизны резинометаллической опорной части с определением жесткости и оптимальных размеров геометрических характеристик опорной части. Теоретически обоснованы коэффициенты ужесточения в зависимости от коэффициентов формы опорной части с РМІ, которая имеет цилиндрическую поверхность, что можно применить для транспортных сооружений при сейсмоизоляции опор и пролетных строений при сейсмических воздействиях.

В третьей главе «Экспериментальные исследования статических характеристик и напряженного состояния резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью» приведены результаты экспериментальных исследований статических характеристик и напряженного состояния резино-металлических опорных частей мостовых сооружений с круглоцилиндрической поверхностью. На центральное сжатие проводилось испытание всех образцов опорных частей с цилиндрической поверхностью и плоских тип II (0) и тип II (4) (табл. 3). При испытании нагрузка прикладывалась ступенями по 8 тонн в одинаковые промежутки времени 0,5 минуты, после чего считывался отсчет по прогибомерам системы Аистова с точностью до 0,01 мм. Температура во время эксперимента была $t = 22^\circ\text{C}$ (рис. 5, 6).

Таблица 3 – Модуль сжатия резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью в различном количестве стальных арматурных пластинок

Вертикальное давление кг/см ²	Модуль сжатия $E_{сж}$ кг/см ²				
	Без стальн. пластинок	1 стальная пластинка	2 стальные пластинок	3 стальных пластинок	4 стальных пластинок
0 – 12,8	123,1	192,0	300,0	395,9	540,8
12,8 – 25,6	155,8	265,7	441,4	556,5	711,1
25,6 – 38,4	-	323,6	551,2	715,5	866,2
38,4 – 51,2	-	368,3	632,1	848,6	997,4
51,2 – 64,0	-	417,4	688,2	984,6	1109,8

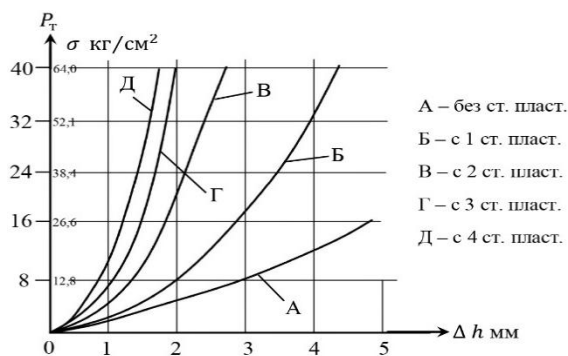


Рисунок 5 – Зависимости между напряжениями и деформации при центральном сжатии для цилиндрических опорных частей

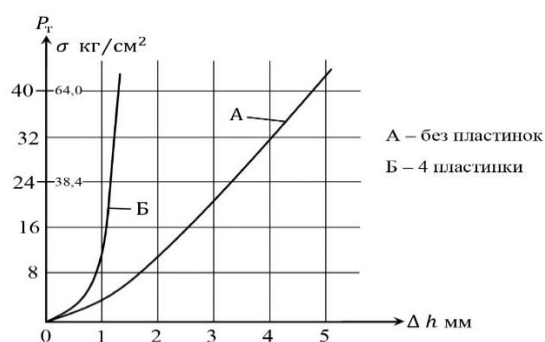


Рисунок 6 – Зависимости между напряжениями и деформации при центральном сжатии для плоских опорных частей

На внецентренное сжатие проводилось испытание образцов: тип I (0), тип I (4) и тип II (0) и тип II (4). Таким образом характер работы опорных частей на внецентренное сжатие определялся на четырех образцах, причем два образца не имели арматуры, а два образца имели арматуру в виде четырех стальных пластин толщиной 2 мм. Кроме того, два из них были применены плоские и два образца с цилиндрической поверхностью. Такие параллельные испытания двух типов опорных частей призвано подтвердить полученные теоретические результаты свидетельствующие о почти аналогичной работе двух видов опорных частей на внецентренное сжатие (рис. 7, 8).

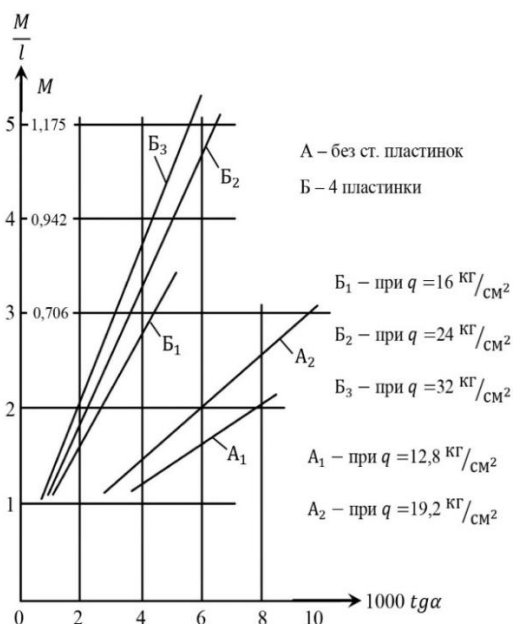


Рисунок 7 – График результатов испытаний на внецентренное сжатие при центральном давлении на 16 кг/см², 24 кг/см² и 32 кг/см²

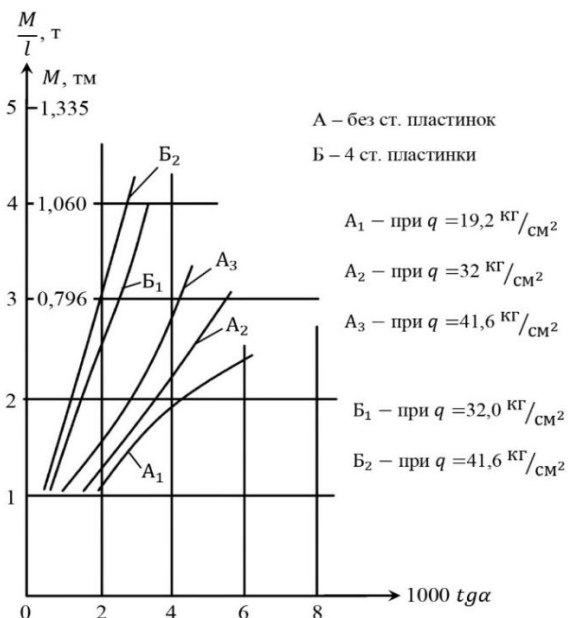


Рисунок 8 – График результатов испытаний на внецентренное сжатие при центральном давлении на 32 кг/см² и 41,6 кг/см²

При исследовании резинометаллических опорных частей с цилиндрической поверхностью на сдвиг было применено приспособление

обеспечивающее размещение одновременно двух резиновых прокладок между тремя железобетонными плитами, причем средняя железобетонная плита имеющая двояко выпуклую цилиндрическую поверхность – подвижная, при действии на нее в горизонтальном направлении домкрата она может смещаться, вызывая тем самым сдвиг в резиновых опорных частях с цилиндрической поверхностью. Испытания проводились на прессе П-125. Горизонтальное и вертикальное перемещение в процессе эксперимента замерялись прогибомерами системы Аистова (точность 0,001 см). На основании данных эксперимента получена зависимость между горизонтальной силой T или напряжениями сдвига τ и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью (рис. 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15).

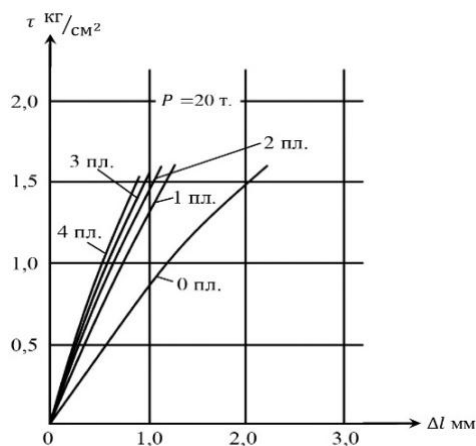


Рисунок 9 – График зависимости между напряжениями сдвига τ и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью при $P = 20$ т

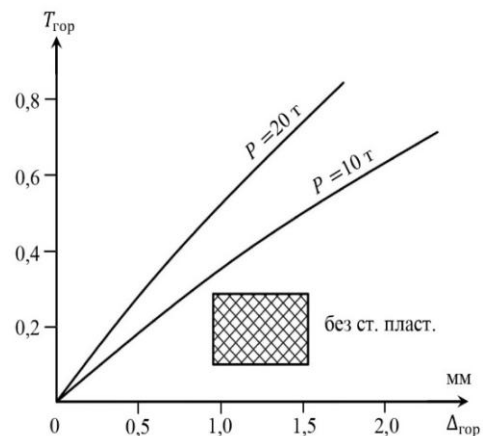


Рисунок 10 – График зависимости между горизонтальной силой T и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью без стальных пластинок при $P = 10$ т и $P = 20$ т

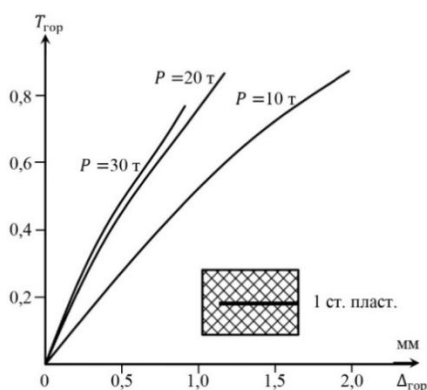


Рисунок 11 – График зависимости между горизонтальной силой T и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью с одной стальной пластинкой при $P = 10$ т, $P = 20$ т и $P = 30$ т

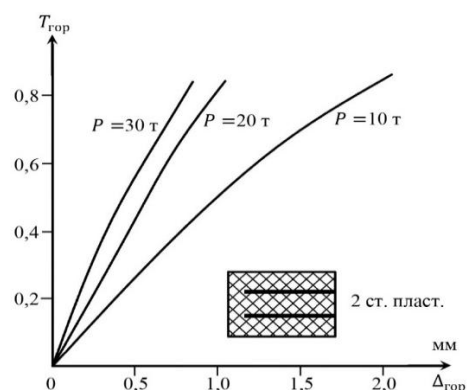


Рисунок 12 – График зависимости между горизонтальной силой T и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью с двумя стальными пластинками при $P = 10$ т, $P = 20$ т и $P = 30$ т

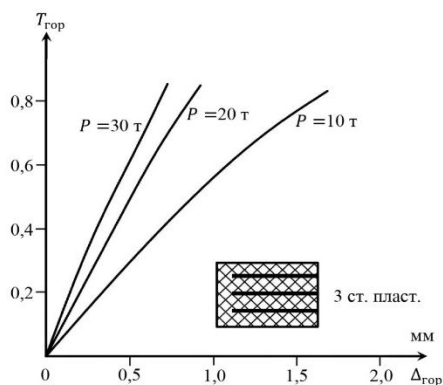


Рисунок 13 – График зависимости между горизонтальной силой T и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью с тремя стальными пластинками при $P=10$ т, $P=20$ т и $P=30$ т

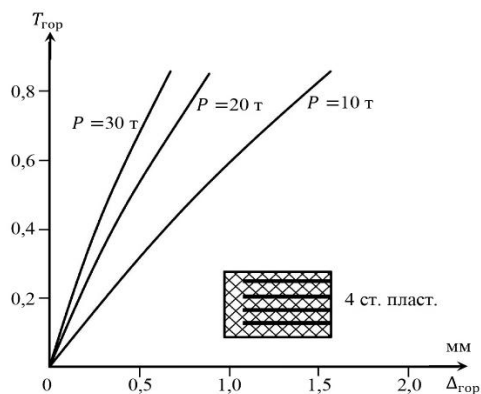


Рисунок 14 – График зависимости между горизонтальной силой T и горизонтальным смещением Δl ($\Delta_{гор}$) опорной части с цилиндрической поверхностью с четырьмя стальными пластинками при $P=10$ т, $P=20$ т и $P=30$ т

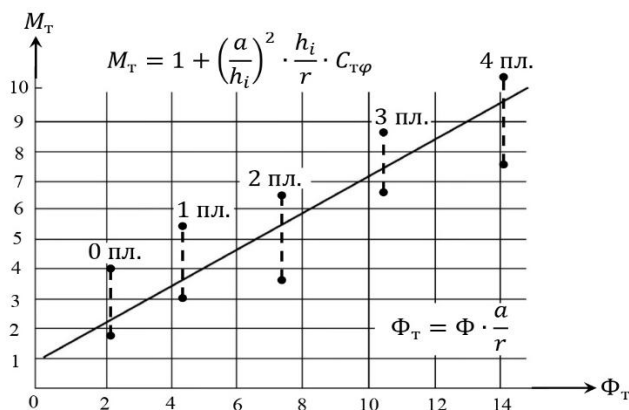


Рисунок 15 – Линейный график теоретической зависимости данных эксперимента

Основные жесткостные характеристики РМІ опорной части с активной кругло цилиндрической поверхностью совпадает с плоской опорной частью. При этом, в цилиндрической поверхности возникают при сжатии горизонтальные перемещения в опорной части, за счет радиальных перемещений. Экспериментальные данные показали, что несущие способности плоской и цилиндрической опорных частей совпадают и, после снятия горизонтальных нагрузок в цилиндрической опорной части, пролетное строение принимает первоначальное положение за счет гравитационных сил, при этом не происходит соскакивание пролетного строения с опоры.

В четвертой главе «Конструктивные решения для повышения сейсмостойкости транспортных сооружений и расчет мостов с резинометаллическими опорными частями с цилиндрической поверхностью» приведены конструктивные решения для повышения сейсмостойкости транспортных сооружений и расчет мостов с

резинометаллическими опорными частями с цилиндрической поверхностью в численной среде САПР (рис. 16, 17, 18).

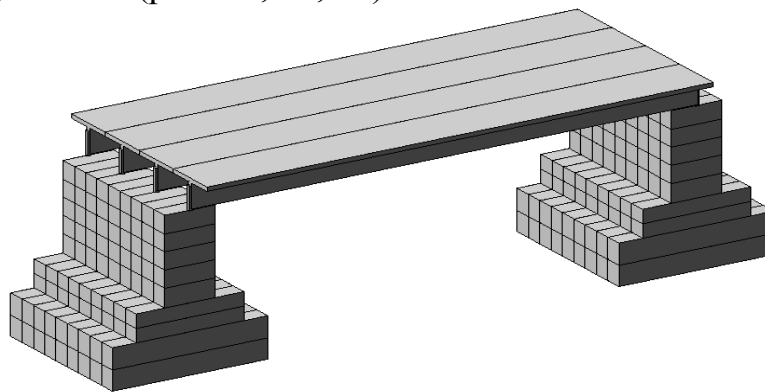


Рисунок 16 – Конечно-элементная 3-D модель моста

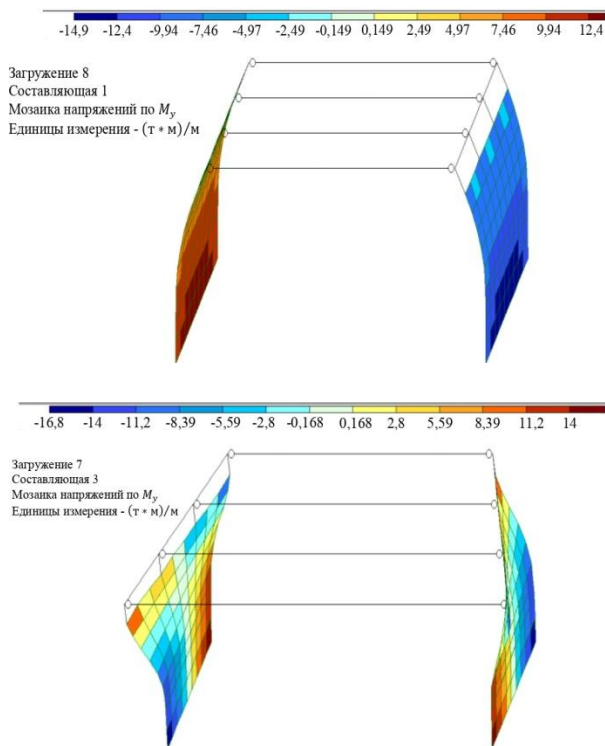


Рисунок 17 – Результаты численного моделирования схемы моста без РМО

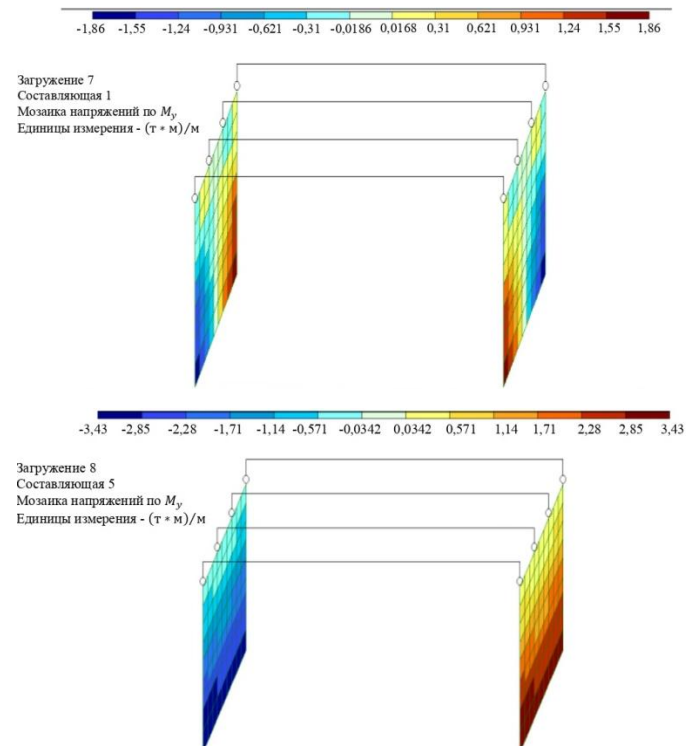


Рисунок 18 – Результаты численного моделирования схемы моста с РМО

На рис. 19 показаны разновидности конструкций резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью в рабочем положении, разработанные нами. Преимуществом этой опорной части является, что атмосферные осадки и пылеватые частицы от транспорта на мосту не попадают на поверхности резины. Используются обычные плоские резинометаллические опорные части, выпускаемые в Кыргызской Республике. Резинометаллическая опорная часть расположена между верхними и нижним балансирами с цилиндрическими поверхностями, причем она в рабочем положении имеет

выпуклую форму, повторяя цилиндрические поверхности верхних и нижних балансиров. Предлагаемая конструкция проста и удобно в применении, увеличивает срок эксплуатации резины, не нарушает типовые конструкции опор и пролетных строений и предотвращает падение пролетного строения с опор моста при сильных землетрясениях. Резинометаллическая опорная часть расположена в цилиндрической выемке на поверхности опоры. Верхняя конструкция опирается на него через железобетонную плиту с такой же цилиндрической поверхностью. Последний крепится к главной балке пролетного строения. Предложенные конструкции на рис. 19 называется резинометаллической опорной частью с цилиндрической поверхностью в рабочем положении, потому что здесь используется обычная плоская резинометаллическая опорная часть. Она примет выпуклую форму под давлением верхнего и нижнего балансиров.

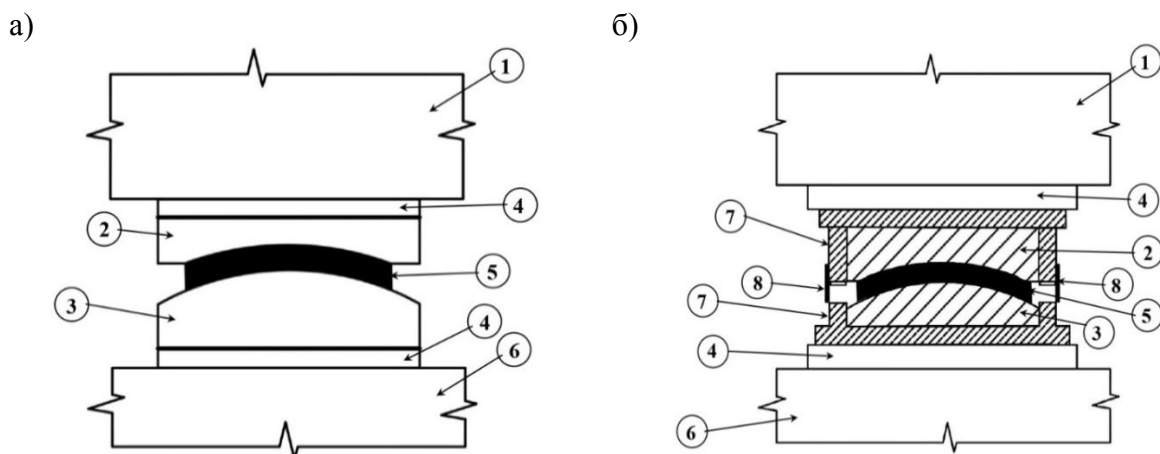


Рисунок 19 – Резинометаллические опорные части с цилиндрической поверхностью в рабочем положении:

- а) резинометаллическая опорная часть с железобетонными балансиром;
- б) резинометаллическая опорная часть с металлическими балансиром внутри металлических ящиков.

1 – пролетное строение; 2 – железобетонный верхний балансир с цилиндрической поверхностью; 3 – железобетонный нижний балансир с цилиндрической поверхностью; 4 – закладные детали из металлических пластин; 5 – резинометаллическая опорная часть с цилиндрической поверхностью в рабочем положении; 6 – опора моста; 7 – металлические ящики; 8 – металлическая нержавеющая пластина для защиты резины от влаги и пыли.

Оптимальный радиус кривизны цилиндрической резинометаллической опорной части подбирается из условия равенства тормозных и сейсмических сил, по предложенной нами формуле (рис. 20):

$$r = \frac{1}{\alpha_g} \left(\Delta - \frac{h_p \cdot T}{F \cdot G \cdot M_H} \right) \quad (7)$$

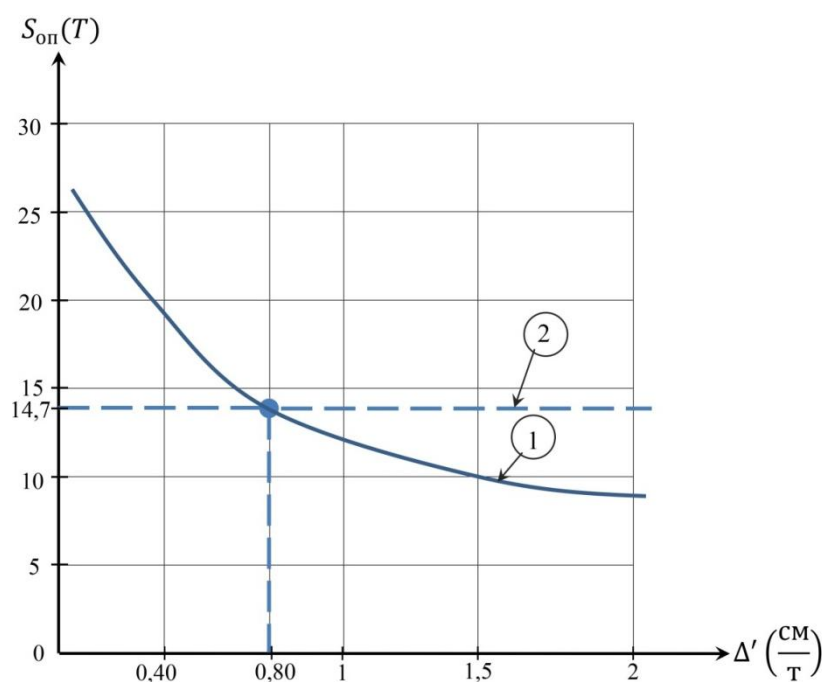


Рисунок 20 – График подбора податливости резинометаллической опоры с цилиндрической поверхностью:

1 – кривая сейсмической силы на опору; 2 – прямая тормозной силы на опору

Предложены конструктивные решения транспортных сооружений для повышения их сейсмостойкости, которая отличается применением резинометаллической опорной части с цилиндрической поверхностью с выпуклостью вверх, что защищает конструкцию от атмосферных осадков и противодействует соскакиванию пролетного строения во время землетрясения. Радиус кривизны опорной части определяется из условия равенства сейсмической и тормозной силы. При этом опора моста рассчитывается только на тормозную силу.

Предложенная конструкция моста при практическом применении приведет к экономии расхода материала на изготовление опоры и пролетного строения от 8% до 12 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам диссертационного исследования сделаны следующие научно обоснованные выводы:

- разработана резинометаллическая опорная часть с криволинейной поверхностью предотвращающий соскакивание пролетного строения с опоры моста. В процессе расчета мостов с упругими опорами на сейсмические воздействия учитывали тормозные силы подвижной нагрузки, а полученные коэффициенты ужесточения опорной части, демонстрирует линейную зависимость от горизонтальных перемещений, что отражено в коэффициентах зависимости момента относительного перемещения M_T от отношения a/h . При

значениях a/h в диапазоне от 30 до 60 M_T не превышает 25 тонн.

- определены коэффициенты ужесточения, зависящие от коэффициентов формы опорной части с использованием радиуса изгиба (RMI), который имеет цилиндрическую поверхность и применены для транспортных сооружений при сейсмоизоляции опор и пролетных строений, охватывая диапазон от 1,0 до 2,33.

- результаты структурного анализа, проведенного с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР), показывают, что опора без резинометаллической опорной части (РМО) подвергается изгибающему моменту в пределах от 13,4 до 16,8 тм/м на погонный метр фундамента по M_u , тогда как опора с РМО получает аналогичные моменты в диапазоне от 6,12 до 8,37 тм/м, что свидетельствует о снижении изгибающих моментов в 2 раза.

- разработанная конструкция мостового сооружения снижает сейсмическую нагрузку на 1 балл по шкале интенсивности в пределах соответствующего диапазона преобладающих колебаний по шкале магнитуд. Разработанная методика определения периодов собственных колебаний определены с использованием решения однородного дифференциального уравнения второго порядка с упрощением формул и введением коэффициентов k_1 , k_2 , D_1 и D_2 , облегчающих расчеты для проектировщиков при определении периодов собственных колебаний.

- разработанное конструктивное решение резинометаллической опорной части выделяется использованием цилиндрической формы с выпуклостью вверх, обеспечивающей защиту конструкции от атмосферных осадков, а оптимальный радиус кривизны разработанной конструкции составляет $r = 42$ см, выбранный из условия равенства сил торможения и сейсмической силы.

- результаты исследования успешно внедрены в проектирование моста через реку Сокулук в селе Сокулук и приняты для использования при проектировании мостов в "Мостоотряде" Государственного предприятия "Кыргыз Темир Жолу", а также в учебном процессе Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова. Предложенная конструкция моста, при её практическом применении, приведет к экономии материалов для изготовления опоры и пролетного строения в пределах от 8% до 12%.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шекербеков, У.Т. Сейсмостойкость конструкций балочных мостов [Текст] / У.Т. Шекербеков, **Н.А. Осмонканов** // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2014. – Вып. 1 (43). – С. 170-173. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24282382>.
2. Сейсмоизолирующие опорные устройства зданий и мостов [Текст]: монография / [М.Ч. Апсеметов, А.Ж. Андашев, Н.У. Шамшиев, **Н.А. Осмонканов**]. – Б.: Авангард, 2015. – 118 с.
3. 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, **Н.А. Осмонканов**] // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2015. – Вып. 3 (49) – С. 35-43. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26583569>.
4. Болотбек, Темир. Устойчивая конструкция подпорных стенок в условиях оптимального распределения горного давления [Текст] / Т. Болотбек, Д.К. Аубакирова, **Н.А. Осмонканов** // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2016. – Вып. 1 (51) – С. 140-146. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25895672>
5. Болотбек, Темир. Конструктивное решение подводных тоннелей [Текст] / Т. Болотбек, **Н.А. Осмонканов** // Научно-технический журнал. Естественные и технические науки. – Москва, 2016. – Том №12. – С. 282-284. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28766847>.
6. Болотбек, Темир. Конструкция железнодорожных виадуков [Текст] / Т. Болотбек, **Н.А. Осмонканов** // Научно-технический журнал. Естественные и технические науки. – Москва, 2016. – Том №12. – С. 285-287. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28766848>.
7. Апсеметов, М.Ч. Сейсмоизоляция зданий и мостов в Кыргызской Республике [Текст] / М.Ч. Апсеметов, А.Е. Айдаралиев, **Н.А. Осмонканов** / В книге: XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию. Сборник материалов конференции (с международным участием). Российская Ассоциация по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий РАСС. – Москва, 2019. – С. 214-217. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43785231>.
8. Резиновые опорные части балочных мостов в сейсмических районах [Текст] / [М.Ч. Апсеметов, **Н.А. Осмонканов**, Т.К. Муктаров, С. Турдубай уулу] // Вестник КГУСТА. – Бишкек 2019. – Вып. № 3 (65). – С. 484-488. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41754841>.
9. Характерные повреждения дорожных сооружений при землетрясениях [Текст] / [М.Ч. Апсеметов, А.Б. Курбанбаев, **Н.А. Осмонканов** и др.] // Вестник КГУСТА. – Бишкек 2020. – Вып. № 1 (67). – С. 6-9. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44336291>.
10. Опорные части балочных мостов для сейсмических районов [Текст] / [М.Ч. Апсеметов, **Н.А. Осмонканов**, Г.Ч. Тонуева, А.А. Ташбаева] // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2022. – Вып. № 1 (75). – С. 179-185. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48339913>.

РЕЗЮМЕ

диссертации Осмонканова Нурбека Анарбековича на тему: «Повышение сейсмостойкости транспортных сооружений с применением упругих опорных частей» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Ключевые слова: балочный мост, опорная часть, резинометаллическая опорная часть, цилиндрическая поверхность, сейсмические воздействия, балльность землетрясений.

Объект исследования: Транспортные сооружения, мостовые сооружения на дорогах.

Предмет исследования: Опорная часть мостовых сооружений, резинометаллические опорные части мостовых сооружений.

Целью диссертационной работы является разработка конструктивного решения опорных частей мостовых сооружений, повышающих сейсмостойкость транспортных сооружений в сейсмически активных условиях Кыргызской Республики.

Методы исследования. В диссертации использован комплексный метод, включающий теоретические и экспериментальные исследования, численное моделирование на основе Метода конечных элементов, а также постановка физического эксперимента нового конструктивного решения резинометаллической опорной части.

Полученные результаты и их новизна: разработано конструкция резинометаллической опорной части мостового сооружения, отличающаяся тем, что опорная поверхность имеет криволинейную цилиндрическую форму с оптимальным радиусом кривизны равным $r = 42$ см. Предложена формула для определения оптимальных параметров резинометаллической опорной части с криволинейной поверхностью при действии сейсмических сил, отличающиеся тем, что описывают диссипацию сейсмической энергии, снижающей сейсмической нагрузки на опору. Предложена методика определения периодов собственных колебаний балочных мостов с резинометаллическими опорными частями, отличающаяся тем, что ведет к воспрепятствованию наложения амплитудно-частотных и темпоральных характеристик собственных, вынужденных и преобладающих колебаний среды, что защитит сооружения от опасных резонансных явлений.

Степень использования. Предложенная конструкция упругой опорной части применена при проектировании балочного моста через реку Сокулук в селе Сокулук и в учебный процесс КГТУ им. И.Раззакова. Также результаты исследований приняты государственным предприятием «Национальная компания «Кыргыз темир жолу»».

Область применения: автодорожные и железнодорожные мосты и инфраструктура автомобильных и железных дорог.

Осмонканов Нурбек Анарбековичтин «Серпилгичтүү таяныч бөлүкчөлөрдү колдонуу менен унаа курулмаларынын сейсмотуруктуулугун жогорулатуу» темасындагы 05.23.11 – жолдорду, метрополитендерди, аэродромдорду, көпүрөлөрдү жана транспорттук тоннелдерди долбоорлоо жана куруу адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты окумуштуулук даражасын изденип алууга диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Түйүндүү сөздөр: устундуу көпүрө, таяныч бөлүк, резина-металлдык таяныч бөлүк, цилиндрдик бети, сейсмикалык таасирлер, жер титирөөнүн баллдуулугу.

Изилдөөнүн объектиси: Жолдордогу транспорттук курулмалар, көпүрө курулмалары.

Изилдөөнүн предмети: Көпүрө курулмаларынын таяныч бөлүгү, көпүрө курулмаларынын резина-металлдык таяныч бөлүктөрү.

Диссертациялык иштин максаты болуп Кыргыз Республикасынын сейсмикалык активдүү шарттарында транспорттук курулмалардын сейсмикалык туруктуулугун жогорулатуучу көпүрө курулмаларынын таяныч бөлүктөрүнүн конструктивдүү чечимин иштеп чыгуу саналат.

Изилдөөнүн усулдары. Диссертацияда теориялык жана эксперименталдык изилдөөлөрдү, чектүү элементтердин методунун негизинде сандык моделдөө, ошондой эле резина- металлдык таяныч бөлүгүнүн жаңы конструктивдүү чечиминин физикалык экспериментин түзүүнү камтыган комплекстүү ыкма колдонулган,

Алынган натыйжалар жана алардын жаңычылдыгы: көпүрө курулмасынын резина-металлдык таяныч бөлүгүнүн конструкциясы иштелип чыккан, ал $r = 42$ см ге барабар болгон ийрейгендиктин оптималдуу радиусу менен үстү ийри тилкелик цилиндр формасындагы таянычка ээ болгондугу менен айырмаланат. Сейсмикалык күчтөрдүн аракетин астында үстү ийри тилке болгон резина-металлдык таяныч бөлүгүнүн оптималдуу параметрлерин аныктоо үчүн формула сунушталган, ал сейсмикалык энергиянын диссипациясын сүрөттөп, таянычка карата сейсмикалык оорчулдукту азайткандыгы менен айырмаланат. Курулмаларды коркунучтуу резонанстык кубулуштардан коргой турган чөйрөнүн өздүк, аргасыз жана басымдуу термелүүлөрүнүн амплитудалык-жыштык жана убактылуу мүнөздөмөлөрүн коюуга тоскоолдук кылууга алып келүүсү менен айырмаланылуучу резина-металлдык таяныч бөлүктөрү менен устундан көпүрөлөрдүн өздүк термелүү мезгилдерин аныктоонун методикасы сунушталган.

Колдонуу даражасы. Сунушталган серпилгич таяныч бөлүгүнүн конструкциясы Сокулук айылындагы Сокулук суусу аркылуу өтүүчү көпүрөнү долбоорлоодо жана И.Раззаков атындагы КМТУнун окуу процессинде колдонулган. Ошондой эле изилдөөнүн жыйынтыктары «Кыргыз Темир Жолу» Улуттук компаниясы» мамлекеттик ишканасы тарабынан кабыл алынган.

Колдонуу аймагы: автомобиль жана темир жол көпүрөлөрү жана автомобиль жана темир жол инфратүзүмү

SUMMARY

of the thesis of Osmonkanov Nurbek Anarbekovich on the theme: «Increasing the Seismic Resistance of Transport Structures with the using of Elastic Support Parts» for the doctoral degree (phd) of technical sciences in specialty 05.23.11 - design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

Key words: girder bridge, supporting part, rubber-metal support part, cylindrical surface, seismic impacts, earthquake score.

Object of research: Transport structures, bridge structures on roads.

Subject of research: Supporting part of bridge structures, rubber-metal support parts of bridge structures.

The purpose of the dissertation is to develop a constructive solution for the supporting parts of bridge structures that increase the seismic resistance of transport structures in seismically active conditions of the Kyrgyz Republic.

Research methods. The dissertation uses a complex method, including theoretical and experimental research, numerical modeling based on the Finite Element Method, as well as setting up a physical experiment of a new design solution for a rubber-metal support part.

The results obtained and their novelty: the design of the rubber-metal support part of the bridge structure has been developed, which is distinguished by the fact that the supporting surface has a curvilinear cylindrical shape with an optimal radius of curvature r equal to $= 42$ cm. A formula is proposed to determine the optimal parameters of a rubber-metal support part with the curvilinear surface under the action of seismic forces, which differ in that they describe the dissipation of seismic energy that reduces the seismic load on the support. A method for determining the natural vibration periods of girder bridges with rubber-metal support parts is proposed, which is distinguished by the fact that it leads to the prevention of the imposition of the amplitude-frequency and temporal characteristics of the intrinsic, forced and prevailing vibrations of the medium, which will protect the structures from dangerous resonance phenomena.

Degree of use. The proposed design of the elastic support part was used in the design of the girder bridge over the Sokuluk River in Sokuluk village, as well as in the educational process of the KSTU named after I. Razzakov. In addition, the results of the research were approved by the “Kyrgyz Temir Jolu” National Company” State Enterprise.

Field of application: road and railway bridges and road and railway infrastructure.

ОСМОНКАНОВ НУРБЕК АНАРБЕКОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ**

Специальность: 05.23.11 - проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редактор: Аманкулова А.А.

Подписано в печать 18.12.2023 г.

Формат 60x84 1/16. Объем 1,43 уч.-изд.л.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ № 84

720044, г.Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66
Кыргызский государственный технический
университет имени И.Раззакова