

**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 05.19.597

На правах рукописи  
УДК 625.1:534.1

**АСКАР КЫЗЫ НУРАЙЫМ**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В  
ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПОДВИЖНЫХ НАГРУЗОК**

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**БИШКЕК - 2021**

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова.

**Научный руководитель:**

**Болотбек Темир**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Строительные  
конструкции, здания и сооружения»  
Кыргызского государственного университета  
строительства, транспорта и архитектуры им.  
Н.Исанова

**Официальные оппоненты:**

**Киялбаев Абды Киялбаевич**

доктор технических наук, профессор,  
директор Научно-производственного  
департамента Казахской автомобильно-  
дорожной академии им. Л.Б. Гончарова

**Каримов Эркин Машанович**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Прикладная  
механика» Ошского технологического  
университета им. академика М.М. Адышева

**Ведущая организация:**

Государственное предприятие «Проектно-  
изыскательский институт  
«Кыргыздортранспроект» при Министерстве  
транспорта и дорог Кыргызской Республики.  
(720020, г. Бишкек, ул. Саманчина, 6).

Защита диссертации состоится «04» июня 2021 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.19.597 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук 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. А. Малдыбаева, 34, б, ауд. 1/101. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/05--a6k-h99-pgv>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова по адресу: 720020, г.Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720000, г.Бишкек, ул. Киевская, 44 и на сайте: [www.ksucta.kg](http://www.ksucta.kg).

Автореферат разослан « 30 » апреле 2021 г.

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



Маданбеков Н. Ж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Железная дорога является сложным комплексом линейных и сосредоточенных инженерных и искусственных сооружений.

В структуре инфраструктурных объектов, как Кыргызстана, так и любого другого государства, железные дороги занимают ключевое место. Строительство железных дорог в условиях Кыргызской Республики усложняется, помимо прочего, высокой сейсмической эмиссией горных пород Кыргызстана. В этих условиях актуализируются вопросы сохранения устойчивости железнодорожного пути и искусственных сооружений на железных дорогах.

Решением данной задачи может являться внедрение принципов инерционного демпфирования железнодорожного пути. При инерционном демпфировании железнодорожного пути важно предотвратить зарождение опасных резонансных явлений. Важно отметить, что резонансные явления — это совпадение и наложение друг на друга форм, периодов и прочих характеристик преобладающих колебаний среды и собственных колебаний сооружений. Предлагаемая нами решение по инерционному демпфированию железнодорожного пути решает эту актуальную задачу. Инерционное демпфирование железнодорожного пути с применением динамического маятникового гашения колебаний согласуется с концепцией активного противодействия сейсмическим силам, что полностью входит в принципы сейсмостойкого строительства. Концепция активного противодействия сейсмическим силам основана на сокращения массы сооружений, жестких связей несущих элементов конструкций, замене их шарнирно–подвижными опорными элементами, обеспечение упругих смещений конструкций на инерционном гашении, колебаний масс и других. Данной проблемой занимались Сомахин С.А., Чудаков И.Б., Кулешов Б.М., Абдурашитов А.Ю. и другие в 2000-х и 2010-х годах.

**Достоверность результатов работы,** сформулированных в диссертации, базировалась на теоретических и экспериментальных исследованиях и обоснована использованием современных средств и методов численного моделирования, планирования многофакторного эксперимента, инженерных методов проектирования и расчета конструкций, сопоставлением полученных результатов по предлагаемым теоретическим положениям с опытными данными экспериментальных исследований других авторов.

Таким образом разработка нового конструктивного решения железнодорожного пути с инерционным демпфированием является актуальной задачей.

### **Связь темы диссертации с крупными научными программами:**

- Стратегия развития железной дороги Кыргызской Республики по выходу КР из железнодорожного тупика с обеспечением сообщения в КНР и Узбекистан через территорию КР, утвержденный постановлением Правительства от 30.09.2014 г., №558.

**Целью диссертационной работы** является разработка устойчивого конструктивного решения железнодорожного пути в динамике сейсмических и подвижных нагрузок.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи исследования:

- анализ литературных источников по исследуемой теме и обзор текущего состояния исследуемого вопроса;
- анализ сейсмических колебаний и подвижных нагрузок в условиях горной местности;
- разработка нового конструктивного решения железнодорожного пути устойчивого к сейсмическим нагрузкам;
- численное моделирование конструктивных и динамических параметров нового конструктивного решения железнодорожного пути;
- постановка физического эксперимента нового конструктивного решения железнодорожного пути с инерционным демпфером.

### **Научная новизна работы:**

- теоретически обоснована методика расчета линейных инженерных сооружений на основе Метода конечных элементов, с применением численной среды САПР Autodesk Revit/Robot, отличающаяся тем, что разработанная методика расчета аппроксимируется для линейных инженерных сооружений – железных дорог;

- разработано новое конструктивное решение железнодорожного пути с применением инерционного демпфирования динамических усилий, отличающееся тем, что несущее подрельсовое основание жестко защемлено в корпус демпфера – в опорную часть, содержащий внутри металлический цилиндр и являющийся маятником, весом 100 кг, подвешенный на металлических тросах. Конструктивное решение защищено патентом КР;

- результаты расчетов в численной среде САПР Revit/Robot на основе Метода конечных элементов, отличающиеся тем, что учитывают реальные деформации элементов конструкций железнодорожного пути и напряжения от сейсмических и подвижных нагрузок по двум предельным состояниям.

**Практическая значимость полученных результатов.** Полученные результаты и выводы в виде нового конструктивного решения железнодорожного пути и результаты его экспериментального подтверждения,

имеют возможность практического применения при строительстве новых железных дорог или реконструкции существующих.

Внедрение результатов научных исследований запланировано при строительстве межгосударственной железной дороги из КНР в Узбекистан. Соответствующие акты о принятии результатов научных исследований приняты со стороны Национальной компании «Кыргыз темир жолу». При практическом применении конструктивного решения авторов, позволит, повысить сейсмостойкость железной дороги в диапазоне от 1 до 3 баллов в зависимости от геологии местности.

**Экономическая значимость полученных результатов.** При практической реализации конструктивного решения «Инерционный демпфер железнодорожного пути» позволит снизить эксплуатационные затраты на 35%, а срок службы железной дороги увеличивается на 14% (на 2 года) или до 17 лет, в абсолютных числах по грузонапряженности составит 570 млн. т. брутто/км.

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

- методика расчета линейных инженерных сооружений на основе Метода конечных элементов с применением САПР Revit/Robot;
- новое конструктивное решение железнодорожного пути с инерционным демпфированием динамических усилий;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований отражающие реальные условия работы железнодорожного пути при сейсмических и подвижных нагрузках.

**Личный вклад соискателя.** Диссертационное исследование выполнено автором с использованием источников в установленном порядке и при научном руководстве утвержденного руководителя. Теоретические и экспериментальные исследования, их анализ и обобщение результатов, разработка конструктивного решения, теоретическое и экспериментальное подтверждение результатов исследований выполнены автором единолично.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и отдельные разделы работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Инновации в области строительства транспортных сооружений: Становление, проблемы, перспективы» (г.Бишкек, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Экономические связи Великого шелкового пути в свете Кыргызско-Китайского сотрудничества» (г.Бишкек, 2018 г.); Международная научно-практическая конференция «Проектирование строительных конструкций на основе BIM технологий» (г.Бишкек, 2019 г.); Международная научно-практическая конференция «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации» (г.Бишкек, 2019 г.).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** Основное содержание диссертации опубликовано в 9 научных статьях из списка ВАК КР, в том числе 2 статьи из списка РИНЦ за пределами КР, а также один патент КР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Текстовая часть изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 27 таблиц и список литературы из 135 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** раскрывается актуальность темы, направление исследований и выделяет общие характеристики диссертационной работы. Сформулированы цели, задачи исследования, научная новизна и оценка практической значимости полученных результатов.

**В первой главе «Современное состояние исследуемого вопроса»** произведены обзор и анализ современного состояния исследуемого вопроса, существующая инфраструктура железнодорожного транспорта, принципы активного противодействия сейсмическим и подвижным компонентам нагрузок. Исследованы фундаментальные и новейшие конструктивные разработки в области сейсмостойкого строительства.

Вопросы сейсмостойкости искусственных сооружений и реакция различных инженерных сооружений в динамике нагрузок получили широкое распространение в работах Абдужабарова А.Х., Айзенберга Я.М., Апсметова 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., Семенова В.С. и других авторов.

Искусственные сооружения и дорожная инфраструктура нашли отражение в работах Асанова А.А., Гибшмана М.Е., Джылкычиева А.И., Достановой С.Х., Жумабаева Р.А., Кайнарбекова А., Киялбаева А., Маданбекова Н.Ж. и других.

Результаты научных исследований отмеченных выше авторов внесли огромный вклад в развитие строительной индустрии и позволили нам вести дальнейшие научные изыскания с целью разработки резистентных конструктивных решений искусственных сооружений дорожной инфраструктуры в динамике различных компонентов нагружений.

**Вторая глава «Теоретические основы сейсмических колебаний»** посвящена теоретическим аспектам сейсмических колебаний и природы зарождения подвижных нагрузок. Описаны различные методы расчета сейсмических нагрузок, создана динамическая расчетная схема Building

structures. Приведены расчеты сосредоточенных инерционных грузов и расчеты единичных перемещений для точек приложения сосредоточенных нагрузок, а также определены нормальные компоненты колебаний и собственные периоды/формы собственных колебаний искусственных сооружений. Подробно описан метод расчета откоса земляного полотна с учетом резистентности к сейсмике Шахунянца Г.М., а также методы расчетов Маслова Н.Н., Цшохера В.О. и других.

**Объект исследования:** Динамика подвижных и сейсмических явлений.

**Предмет исследования:** Инерционный демпфер железнодорожного пути.

**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 железнодорожного пути.

Таким образом произведен анализ динамики подвижных нагрузок и получены данные для дальнейшего моделирования конструкций железнодорожного пути, резистентных к сейсмическим и подвижным усилиям.

В третьей главе «Сейсмостойкий демпфер колебаний железнодорожного пути» приводится демпфирование колебаний железнодорожного пути и новое конструктивное решение «Инерционный демпфер железнодорожного пути». В динамике процессов железнодорожный путь воспринимает как сейсмические, так и подвижные нагрузки. Сейсмический компонент в динамике нагрузок в Кыргызстане является преобладающим.

Железнодорожный путь - это сложная система, состоящая из различных конструктивных элементов нижнего и верхнего строения пути, а также элементов грунтового полотна. Очень высокая линейная и протяженность железных дорог является причиной пластических деформаций земляного полотна, так как отдельные участки земляного полотна из-за действий землетрясений воспринимают разные по частотным и амплитудным характеристикам усилия. В случае структурной деформации грунтов основания, верхней и нижней строения пути лишаются опорных контактов, что вызывает потери целостности и устойчивости конструкции в целом. Если железнодорожный путь разрушается при движении поездов сход составов с рельсов является причиной остановки технологической деятельности всей транспортной системы, а иногда и смежных инфраструктурных объектов.

Следующая актуальная проблема для железнодорожного пути это – подвижная динамическая нагрузка. Железнодорожный путь в процессе своей работы воспринимает значительные нагрузки от грузовых и пассажирских составов. Из-за постоянного роста торговли грузовые перевозки по железным

дорогам ожидаемы будут расти, что вызовет развитие еще больших подвижных нагрузок. В первой приближении действие подвижной нагрузки и реакция пути на нее можно сопоставить со сейсмическими усилиями. О подобии двух этих динамических компонентов обусловлено развитием явления резонанса. Так, и под действием землетрясений, и под действием тяжелого груза могут развиваться опасные резонансные явления, когда периоды и частоты собственных колебаний конструкций могут совпасть с периодами и частотами преобладающих колебаниями среды.

В этой связи необходима и вполне обоснованно защитить железнодорожный путь от опасных явлений. В рамках данного диссертационного исследования мы предлагаем внедрить перспективное направление из области сейсмостойкого строительства, а именно инерционное демпфирование.

Конструктивное решение «Инерционный демпфер железнодорожного пути» является примером активного противостояния сейсмическим усилиям. Указанное техническое решение можно использовать на железных дорогах Кыргызской Республики. Инерционный демпфер размещается на отдельных блоках – фундаментах. В Кыргызстане, где железнодорожный транспорт является не электрифицированным, устройство и создание отдельной инфраструктуры для инерционного демпфирования можно реализовать в тех областях и районах где землетрясениям подвержены наиболее сильно, а также на критических участках, таких как пересечения дороги со сложными гидрогеологическими условиями. Это могут быть участки где сооружаются мостовые конструкции, водопропускные трубы, противолавинные галереи и прочие. Если ожидаемое строительство трансграничный внутриконтинентальный железнодорожные магистрали из Китайской Народной Республики в Узбекистан через Кыргызстан будет реализовано, в то предлагаемое нами конструктивное решение будет актуальным и своевременным.

Если раскрыть конструктивные особенности инерционного демпфера железнодорожного пути, представляет собой стальной цилиндр 8 весом 100 кг подвешенный на стальные тросы 9 и опираемый на основание из пружин 10, внутренняя грань корпуса демпфера 12 покрыт демпфирующим материалом (геотекстиль, полиуретан), что предотвратит и уменьшит ударные нагрузки от цилиндра 8. Стальные тросы 9 жестко защемлены в узле сопряжения 14, они нижними концами несут груз 8. Пружинный узел 10 груза 8 жестко защемлен в основании демпфера посредством узла сопряжения 13, вся конструкция локализуется внутри круглоцилиндрического корпуса демпфера 12, который размещается на железобетонном основании 15. Транзакция колебаний от железнодорожного пути к инерционному демпферу производится через



поперечную балку 7, которая жестко защемлена к опорной части 12 и которая замещает собой одно из шпал в эюре. Поперечная балка опирается на балластную призму 4, которая в свою очередь покоится на грунтовом полотне 1 и является основанием верхнего строения пути 6 (рисунок 1).

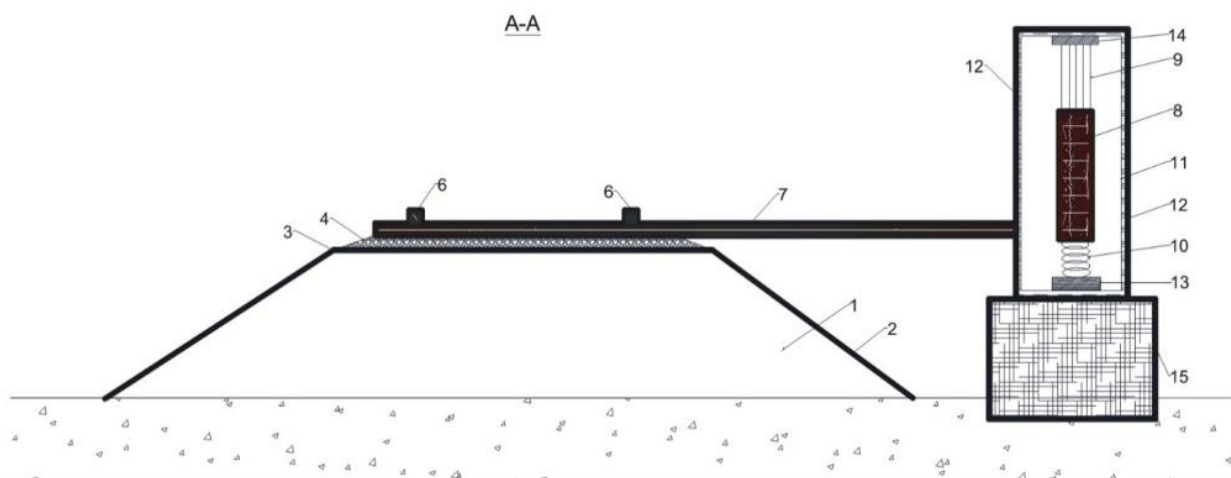


Рисунок 1 - Конструкция железнодорожного пути с демпфером:

- 1 – грунтовое сооружения земляного полотна, 2 – откос земляного полотна,
- 3 – бровка земляного полотна, 4 – балластный слой из щебеночного грунта,
- 5 – железобетонные шпалы, 6 – рельсы, 7 – поперечная балка-шпала, 8 – груз,
- 9 – стальные тросы, 10 – пружинный узел основания груза,
- 11 – демпфирующая обшивка из геотекстиля или полиуретана, 12 – корпус опорной части, 13 – узел сопряжения пружин в основании опорной части,
- 14 – узел сопряжения тросов в верхнем сегменте опорной части,
- 15 – железобетонное основание демпфера.

При эмиссии сейсмических и подвижных нагрузок, возбуждаемые ими усилия транзактируются по поперечным балкам к опорной части демпфера. Эти усилия воспринимает демпфер, которым является груз, колеблется с отличными амплитудно-частотными и темпоральными характеристиками (АЧХ) от преобладающих характеристик землетрясения и подвижной нагрузки, что не позволяет процессу зарождения явления резонанса в теле конструкции железнодорожного пути. Резюмируя можно отметить что инерционный демпфер воспринимает усилия пути на себя, колеблется сам и в конечном счете затухает. АЧХ параметры имеют прямую зависимость от массы демпфера, количества транзактируемой энергии и геометрических пределов колебаний самого груза. Теоретически и экспериментальные исследования, симуляции в среде программного продукта Revit/ Robot и лабораторные испытания на сейсмо платформе показали нам вес груза в 100 кг, что является оптимальным. Еще одним условием является то, что суммарная масса подвижного состава не должно превышать 5 тыс. тонн. Число инерционных демпферов, размещаемых линейно в пути мы рекомендуем с шагом в 50 метров.

Активный принцип противодействия сейсмическим усилиям реализуется по аналогичной схеме, лишь с поправкой, что эмиссионные сейсмические усилия транзактируются вертикально из грунтов основания. Механизм транзакции сейсмических сил происходит на основе вертикальной передачи усилий.

В целях инерционного успокоения в здании и сооружении, которые имеют собственный период колебаний  $T_0 \geq 2$  сек. и длиной волны собственных колебаний  $f \leq 0,5$  Гц, целесообразно использовать маятниковые демпферы, математическое такое колебание можно записать следующим образом:

$$\ddot{\varphi} + 2n\dot{\varphi} + \frac{g}{m_1 + m_2} \left( \frac{m_1}{l_2} - \frac{m_2}{l_2} \right) \varphi = 0 \quad (1)$$

где  $\varphi$  — радиальное смещение демпфера от равновесного состояния;  $m_1$  — вес демпфера;  $m_2$  — вес груза;  $l_1$  и  $l_2$  — соответственно протяженность верхнего и нижнего троса;  $g$  — гравитационное постоянное;  $n = \alpha/[2(m_1 + m_2)]$ ,  $\alpha$  — коэффициент воспрепятствования работе демпфера. Расчетная схема предлагаемого сооружения представлена на рисунке 2.

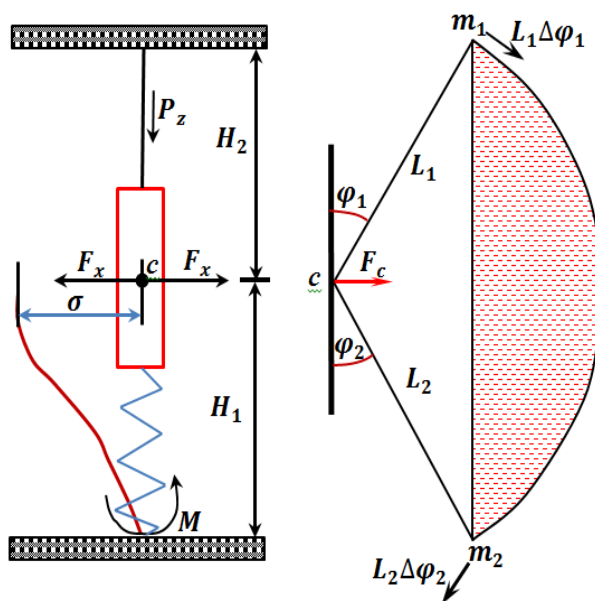


Рисунок 2 - Расчетная схема предложенного конструктивного решения

Демпферы, как правило, имеют собственную декрементирующую характеристику, что можно выразить следующим образом:

$$\delta = n\tau_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{n}\right)^2 - 1}} \quad (2)$$

где  $\tau_1$  —  $t$  собственных колебаний демпфера.

$\tau_1$  находим так:

$$\tau_1 = \tau_0 \sqrt{\frac{1 + \delta^2}{(4\pi^2)}} \quad (3)$$

где  $\tau_0$  – t собственных колебаний демпфера в равновесной фазе.

На основе (3)  $\delta=1$  т.е. отличительный диапазон  $\tau_1$  и  $\tau_0$  не превышает 10 процентных пунктов.

Для  $\omega$  и  $n$  используя (2) будем иметь

$$\delta = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4gM}{\alpha^2} \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}}, \quad (4)$$

где  $M=m_1+m_2$ . вычислив (4) согласно  $\alpha$ , будем иметь

$$\alpha = \frac{\delta}{\pi} \sqrt{gM \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}. \quad (5)$$

Последняя формула (5) является зависимостью коэффициента трения демпфера, которой зависит от условий конструкций их габаритов физических параметров и веса.

В инерциальной системе отсчета частота собственных колебаний инерционной массы определяются из условий (1).

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{m_1 + m_2} \left( \frac{m_1}{l_1} - \frac{m_2}{l_2} \right)}. \quad (6)$$

Принимая во внимание математические формулы (5) и (6)  $\alpha$  приводим к следующей форме

$$\alpha = \frac{M\omega\delta}{\pi} \quad (7)$$

Инерционную массу демпфера в инерциальной системе координат можно определить с учетом физических параметров демпфера согласно формуле (7) относительно напряжению

$$\delta = \frac{\pi\alpha}{(M\omega)} \quad (8)$$

На рисунке 3 (кривая 1) показано зависимость веса демпфера от декремента инерционного гасителя при постоянных  $\alpha$  и  $\omega$ .

В данном случае  $\alpha=3330$  Нс/м, что соответствует демпферу массой 100 кН. Данное значение является константной для демпферов. Как видно из рис. 3 напряжение демпфера растет с увеличением инерционной массы.

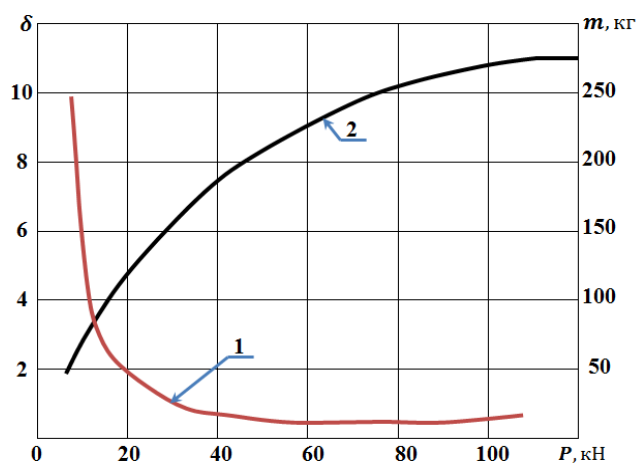


Рисунок 3 - График зависимости декремента инерционного гасителя от собственного веса:  
1 - декремент гасителя; 2 - вес гасителя.

Результаты экспериментального подтверждения данных приведены на рисунках 4,5,6,7.

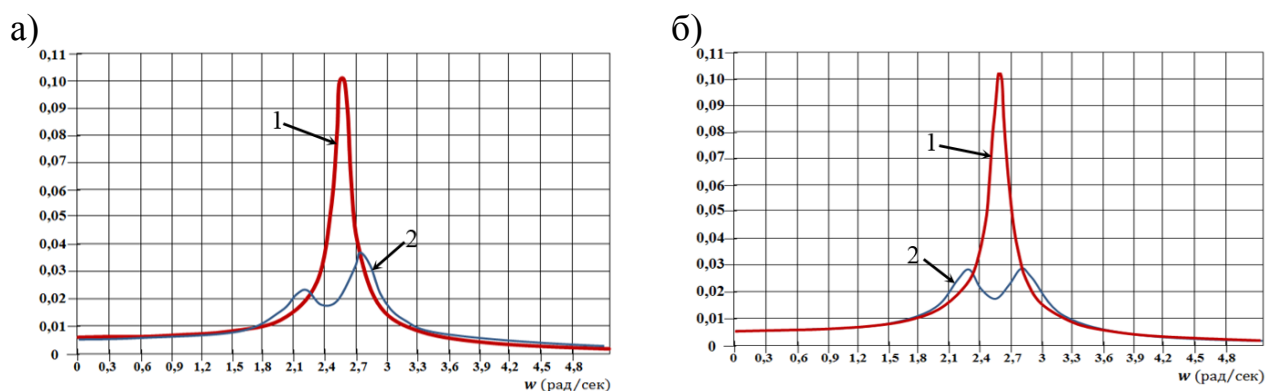


Рисунок 4 - Колебания железнодорожного пути при одновременном действии сейсмической ( $M=7,0$ ) и: а) статической и б) подвижной нагрузки:  
1 – железнодорожный путь без инерционного гасителя;  
2 – железнодорожный путь с инерционным гасителем.

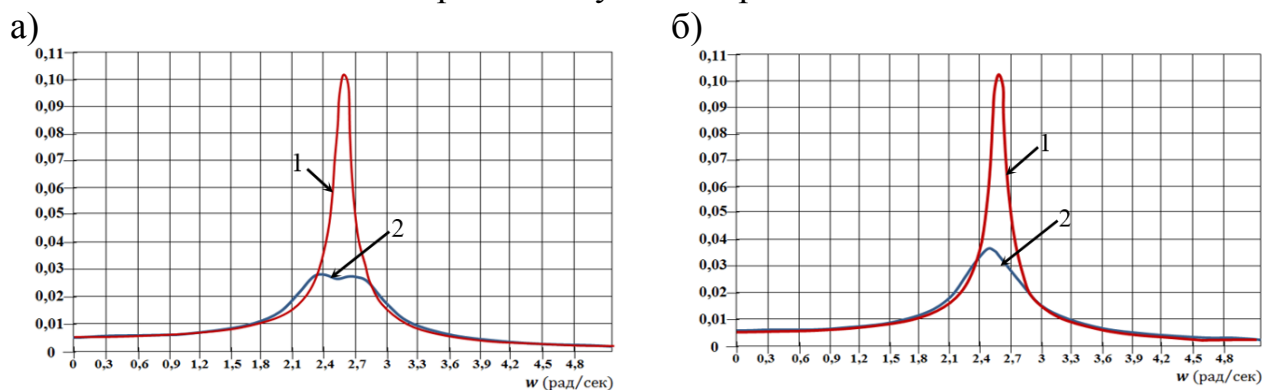


Рисунок 5 - Колебания железнодорожного пути при действии а) продольной и б) поперечной сейсмической нагрузки  $M=7,0$ :  
1 – железнодорожный путь без инерционного гасителя;  
2 – железнодорожный путь с инерционным гасителем.

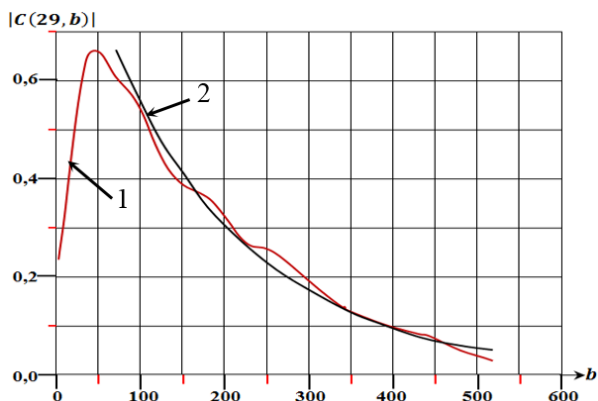


Рисунок 6 - График собственного затухания колебаний инерционного демпфера:

- 1 - проекция поверхности амплитуды собственного затухания;
- 2 - аппроксимация сечения при  $b \geq b_0$ .

Резюмируя можно отметить, что практическое применение предлагаемого конструктивного решения «Инерционный демпфер железнодорожного пути» позволит снизить сейсмическую нагрузку на 1-3 балла в зависимости от геологии местности и снижение усилий при подвижной нагрузке при условии, что подвижной состав проходит с полной массой до 5000 тонн, составит порядка 50%.

**В четвертой главе «Численное и физическое моделирование предлагаемой конструкции железнодорожного пути»** диссертационного исследования проводились экспериментальные исследования двух типов: численные исследования – структурный анализ в среде Autodesk Robot Structural Analysis аналитической модели железнодорожного пути с инерционным демпфером созданной в среде Autodesk Revit; лабораторные исследования – испытания физической модели железнодорожного пути с инерционным демпфером на сеймоплатформе. Для проведения численного моделирования предлагаемой конструкции железнодорожного пути с инерционным демпфером произвели физическое моделирование предлагаемой конструкции в среде Autodesk Revit, рис. 8.

Пакеты программного обеспечения Autodesk Revit и Autodesk Robot Structural Analysis позволяют моделировать различные здания, инженерные и искусственные сооружения основываясь на тождественности физической и натурной модели, масштабности этих моделей, а также позволяют проводить структурный анализ прочности и устойчивости зданий и сооружений. Подбор граничных условий и расчетных сочетаний усилий основаны на двух предельных состояниях. Численный структурный анализ проводится с использованием Метода конечных элементов с нагружением системы

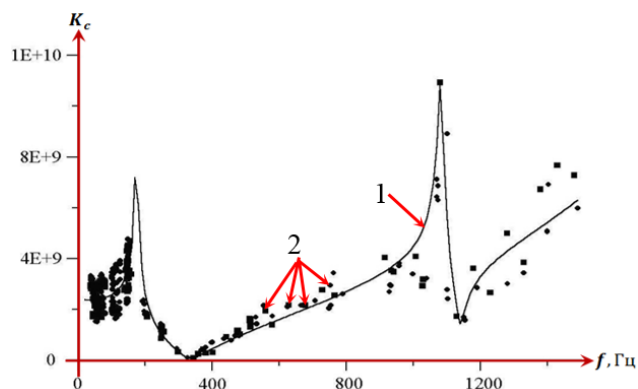


Рисунок 7 - Частотные параметры собственных колебаний инерционного демпфера:

- 1 - теоретические данные;
- 2 - экспериментальные данные.

стандартным набором нагрузжений из 8 нормативных элементов, начиная от собственного веса конструкции и заканчивая сейсмическими усилиями. Программное обеспечения также позволяет строить расчетное сочетание усилий дополнительными ненормативными нагрузжениями. Таким образом, отмеченные программные пакеты полностью соответствуют актуальной на сегодня тенденции по проектированию и моделированию сооружений на основе Информационному моделированию зданий и сооружений – BIM – Building Information Modeling. Далее на физическую модель железнодорожного пути присвоили соответствующие граничные условия и нагрузжили стандартными нагрузками, рисунок 9.

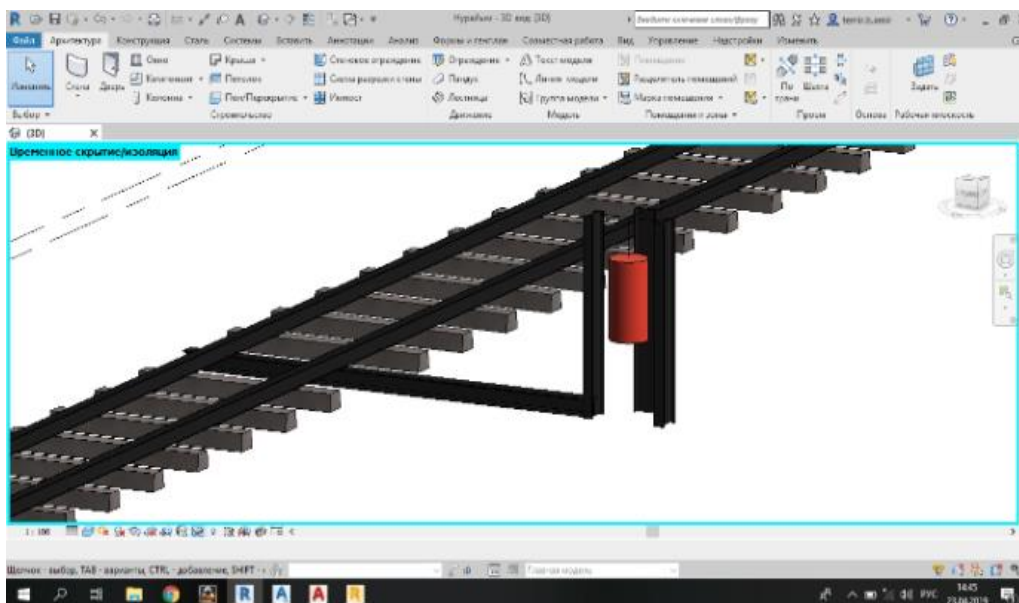


Рисунок 8 - 3D вид предлагаемой конструкции в среде Revit, демпфер справа

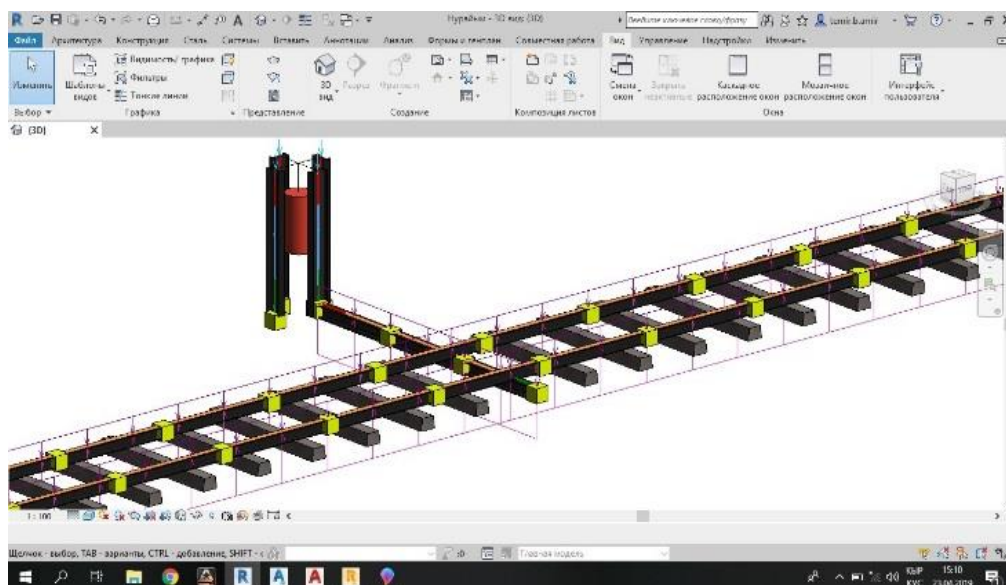


Рисунок 9 - Граничные условия и нагружение предлагаемой конструкции в среде Revit



После провели экспорт физической модели предлагаемой конструкции в Autodesk Robot Structural Analysis, где провели структурный анализ конструкции, смоделировали 8 нормативных нагружений, получили реакции и эпюры соответствующих напряжений (рисунки 10-13).

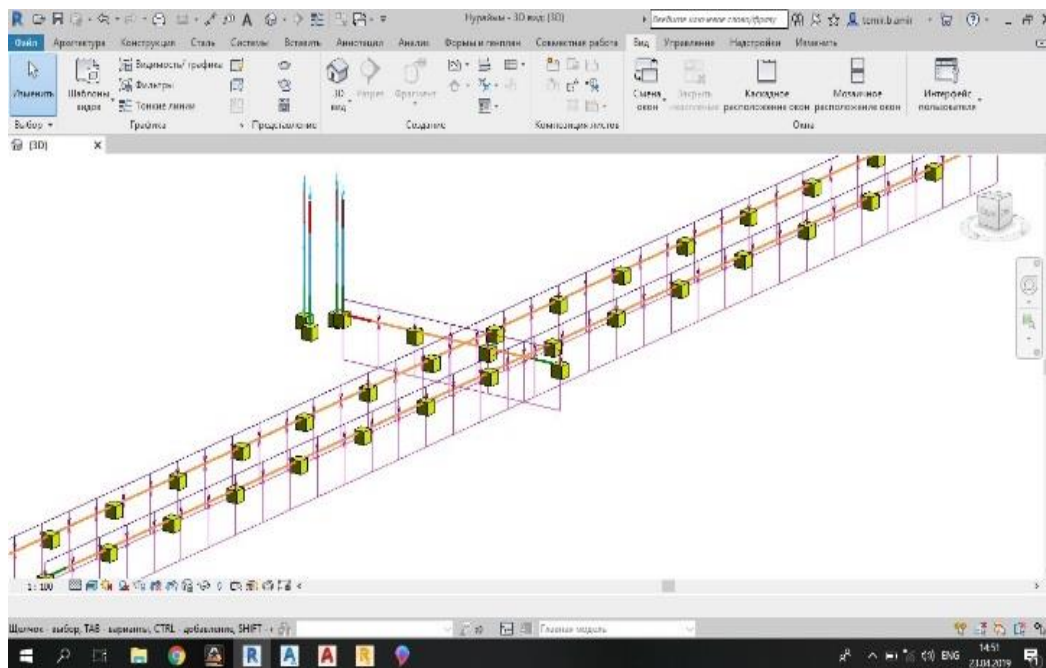


Рисунок 10 - Аналитическая модель стержневой системы

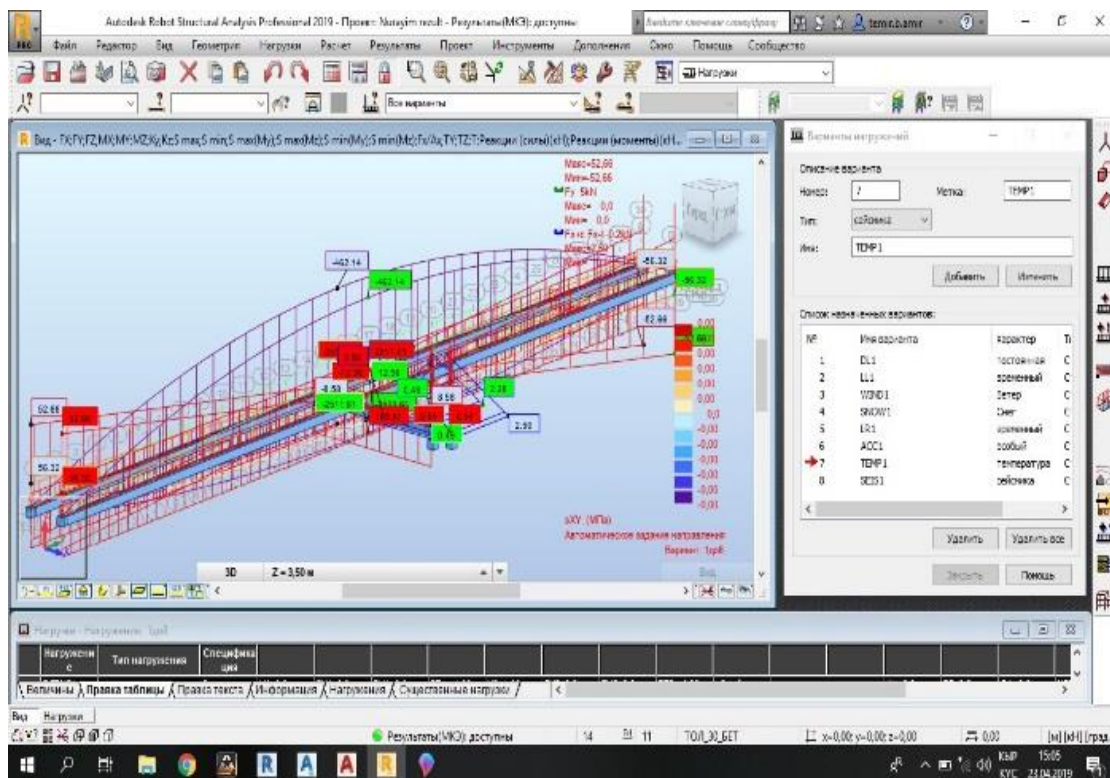


Рисунок 11 - Расчетное сочетание усилий (PCU) от всех нагружений

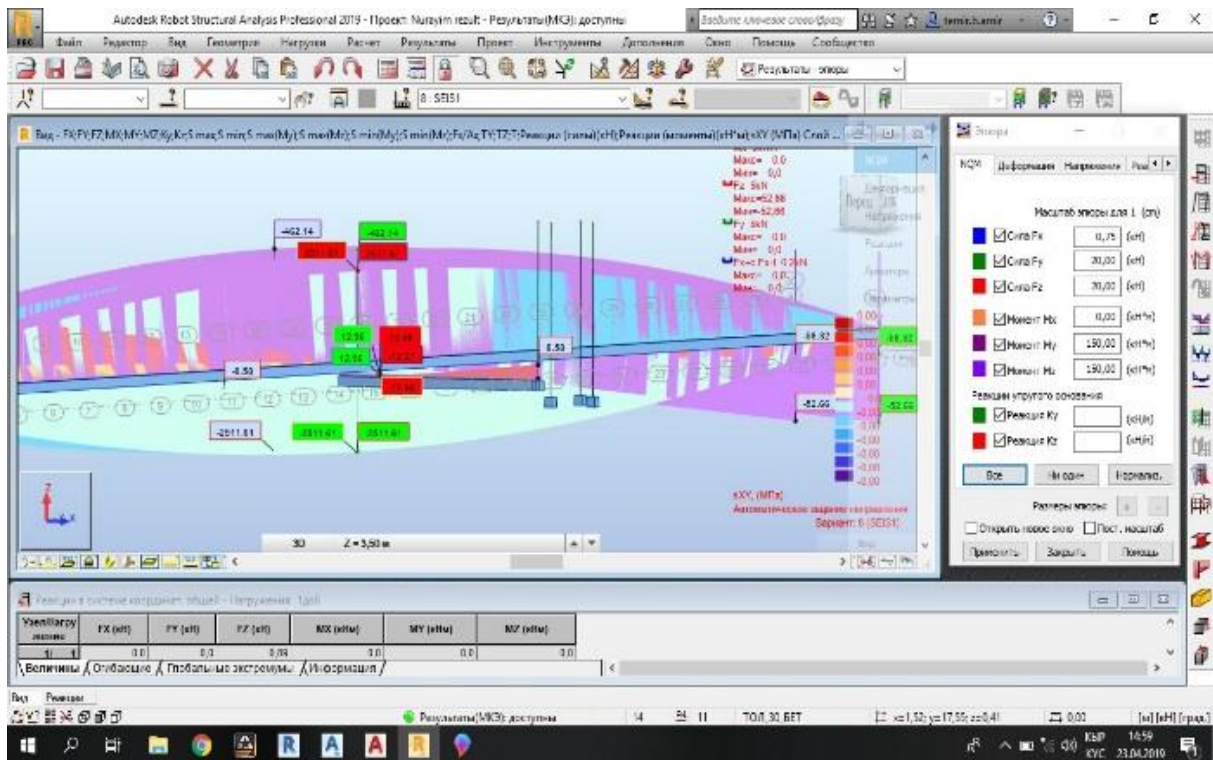


Рисунок 12 - Эпюры изгибающих моментов от всех нагрузений

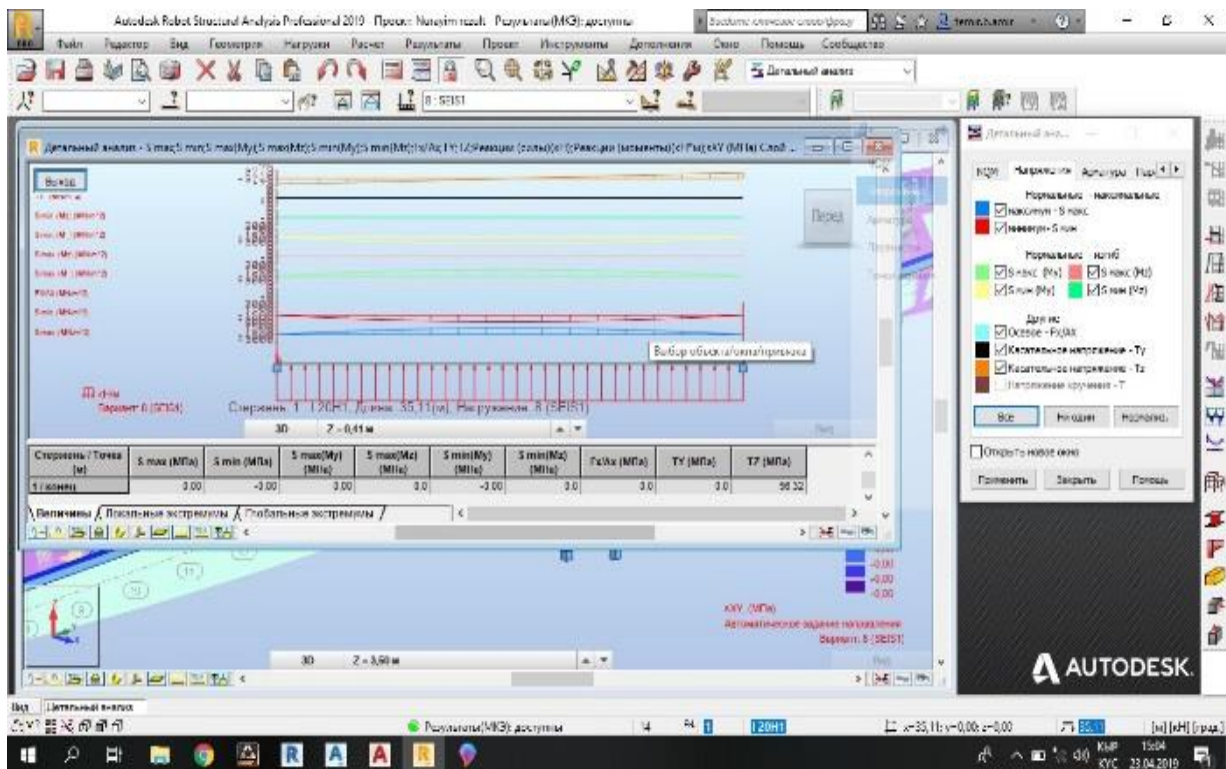


Рисунок 13 - Анализ PCY

В целях физического моделирования построили модель предлагаемой конструкции в масштабе 1:10 основываясь на теории подобия Назарова. Железобетонные шпалы заменены деревянной балкой призматического сечения длиной 270 мм. Рельсы заменены на стальные балки сложного сечения с



погонной массой 6 кг. Стыковые и промежуточные крепления были заменены на анкерно-болтовые соединения. Для моделирования опорной части демпфера применены пустотелые стальные балки квадратного сечения, сам демпфер заменен тремя сферическими подшипниками суммарной массой 10 кг.

Физическая модель испытывалась на мини сейсмоплатформе, возбуждающая имитационную силу сейсмического колебания магнитудой 9,0. Вид физической модели и результаты/характеристики ускорений физической модели приведены на рисунках 14 и 15 ниже.



Рисунок 14 - Физическая модель предлагаемой конструкции

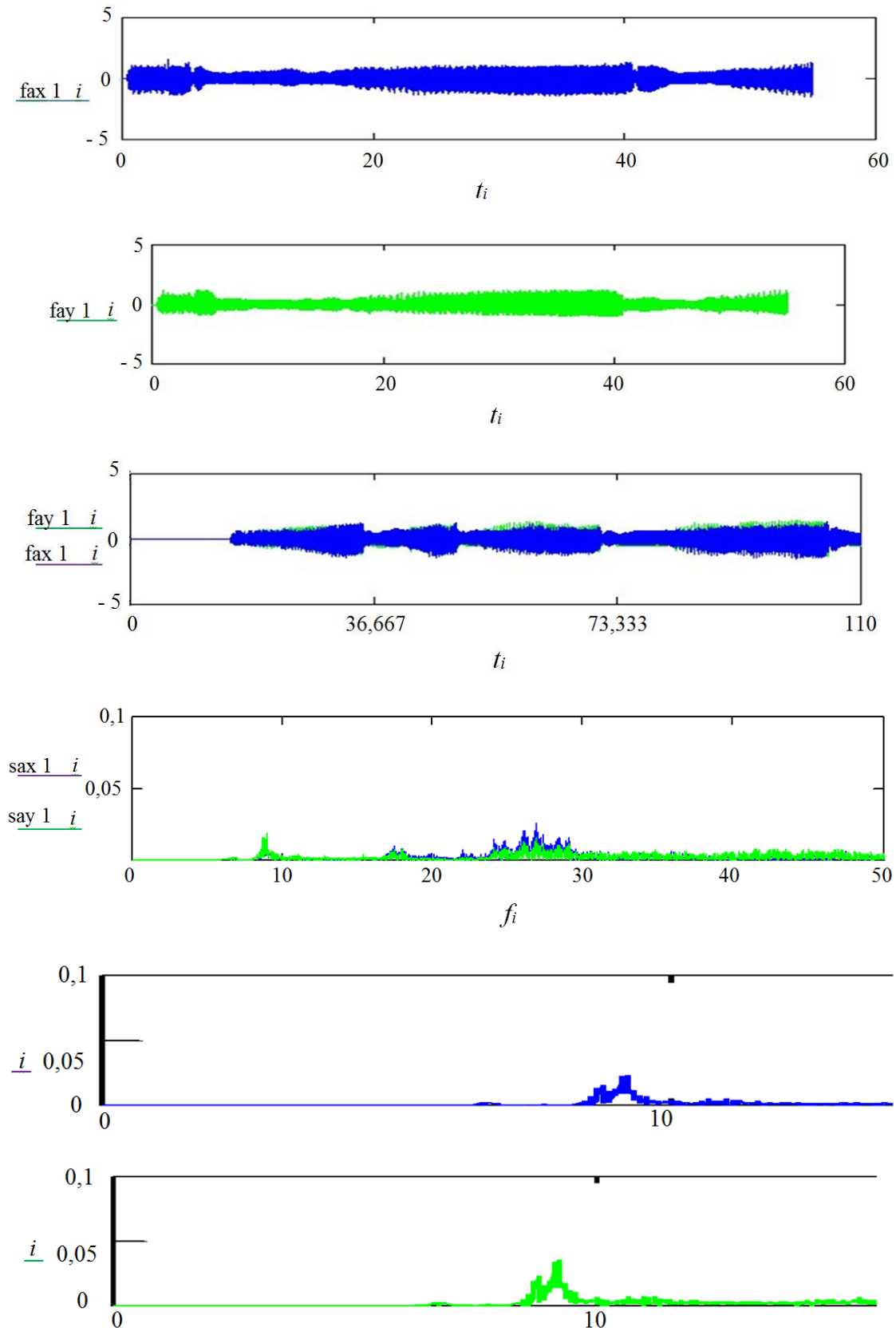


Рисунок 15 - Ускорения предлагаемой конструкции, экспериментальные данные  $\text{м/с}^2$ , секунды, амплитуда -  $\text{макс}$ , платформа -  $1,23 \text{ м/с}^2$ , модель -  $1,18 \text{ м/с}^2$ , частота, Гц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Структурированы материалы исследований, выбрана методология теоретических и экспериментальных научных изысканий, проанализированы природа сейсмических колебаний, теоретические аспекты сейсмостойкого строительства и методология проведения научных исследований в области транспортного строительства.

2. Произведен анализ динамики подвижных нагрузок и получены данные для дальнейшего моделирования конструкций железнодорожного пути, резистентных к сейсмическим и подвижным усилиям.

3. Получены теоретические и методологические данные по активному противодействию сейсмическим силам и подготовлены практические предпосылки к созданию и моделированию динамически устойчивых конструкций железнодорожного пути.

4. Разработано новое конструктивное решение железнодорожного пути «Инерционный демпфер железнодорожного пути» резистентное и устойчивое в динамике подвижных и сейсмических нагрузок, которое отличается тем, что несущее подрельсовое основание жестко заземлено в корпус демпфера – в опорную часть, содержащий внутри металлический цилиндр и являющийся маятником, весом 100 кг, подвешенный на металлических тросах. Конструктивное решение защищено патентом КР.

5. Произведено численное моделирование нового конструктивного решения железнодорожного пути «Инерционный демпфер железнодорожного пути» в программной среде Autodesk Revit/ Autodesk Robot Structural Analysis с подбором конструктивных элементов, материалов и нормативных расчетных сочетаний усилий на основе Метода конечных элементов, отличающиеся тем, что учитывают реальные деформации элементов конструкций железнодорожного пути и напряжения от сейсмических и подвижных нагрузок по двум предельным состояниям.

6. Произведена постановка натурного лабораторного эксперимента нового конструктивного решения на вибрационной сейсмической платформе, где испытывались модели конструкций железнодорожного пути как с инерционным демпфером, так и без него.

7. Полученные экспериментальные данные по численному и физическому моделированию подтверждают ранее полученные теоретические выводы о том, что практическое применение предлагаемого конструктивного решения «Инерционный демпфер железнодорожного пути» позволит снизить сейсмическую нагрузку в диапазоне от 1 до 3 баллов в зависимости от геологических условий местности и снижение усилий при подвижной нагрузке при условии, что подвижной состав проходит с полной массой до 5000 тонн, составит порядка 50%.

8. При практической реализации конструктивного решения «Инерционный демпфер железнодорожного пути» позволит снизить эксплуатационные затраты на 35%, а срок службы железной дороги увеличивается на 14% (на 2 года) или до 17 лет, в абсолютных числах по грузонапряженности составит 570 млн. т. брутто/км.

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Иманалиев, Т.Б. Полурадиальная конструкция подпорной стены железных дорог для оптимального распределения горного давления [Текст] / Т.Б. Иманалиев, **Н. Аскар кызы**, З.А. Осмоналиева, и др. // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2013. - Вып. 2 (40). – С.38-48. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23323464>
2. Иманалиев, Т.Б. Конструкция противолавинных галерей, предлагаемых в условиях Кыргызстана [Текст] / Т.Б. Иманалиев, **Н. Аскар кызы**, Б.М. Тургумбаева // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2014. - Вып. 4 (42). – С.184-188. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23161336>
3. Болотбек, Т. Анализ внешнеторговых операций Кыргызстана и организация интермодальных железнодорожных перевозок [Текст] / Т. Болотбек, **Н. Аскар кызы**, А.Б. Иманалиева // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2014. - Вып. 3 (45). – Т.1. – С.146-154. <http://elibrary.ru/item.asp?id=24329866>
4. Болотбек, Т. Новые конструктивные решения перспективного метрополитена [Текст] / Т. Болотбек, **Н. Аскар кызы**, Б.М. Тургумбаева // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2015. - Вып. 2 (48). – С.16-34. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25408922>
5. Болотбек, Т. Инерционное демпфирование железнодорожного пути в целях повышения его сейсмостойкости [Текст] / Т. Болотбек, **Н. Аскар кызы**, Б.М. Тургумбаева // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2016. - Вып. 1 (51). – С.135-140. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25895671>
6. Кинджебаев, В.А. Стальные магистрали шелкового пути [Текст] / В.А. Кинджебаев, **Н. Аскар кызы**, А.Н Нурбекова // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2016. - Вып. 1 (51). – С.85-92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25895660>
7. Аскар кызы, Н. Новая конструкция железнодорожного пути [Текст] / **Н. Аскар кызы** // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Москва: РАСС, 2017. - Вып. 3. – С.60-63. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29947443>
8. Аскар кызы, Н. Новая конструкция большепролетного кабельного крана [Текст] / **Н. Аскар кызы** // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Москва: РАСС, 2017. - Вып. 4 – С.55-58. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30035723>
9. Болотбек, Т. Проектирование перспективного метрополитена г. Бишкек [Текст] / Т. Болотбек, **Н. Аскар кызы**, А.А. Айтымбетова // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2018. - Вып. 1 (59). – С.99-104. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35207254>

10. Пат. № 1993 КР. Инерционный демпфер железнодорожного пути [Текст] / Т. Болотбек, Н. Аскар кызы; Бишкек. - №20170032.1; заявл. 23.03.2017; опубл. 31.10.17,–5с.

[https://drive.google.com/file/d/1OiuTu2LoH03xeKI\\_NgtlQB69lx-GmBnz/view](https://drive.google.com/file/d/1OiuTu2LoH03xeKI_NgtlQB69lx-GmBnz/view)

**Аскар кызы Нурайымдын «Динамикалык чөйрөдөгү кыймылдуу жүктөргө карата темир жолдун туруктуулугу» 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:** инерциялык демпфер, темир жол, туруктуулук, инфратүзүм, жасалма курулма, термелүү, кыймылдуу жүк, сейсмикалык жүк.

**Изилдөөнүн объектиси:** Кыймылдуу жана сейсмикалык кубулуштардын динамикасы.

**Изилдөөнүн предмети:** Темир жолдун инерциялык демпфери.

**Диссертациялык иштин максаты** сейсмикалык жана кыймылдуу жүктөрдүн динамикасында темир жолдун туруктуу конструктивдүү чечимин иштеп чыгуу болуп саналат.

**Изилдөөнүн усулдары.** Диссертацияда теориялык жана эксперименттик изилдөөлөрдү, түпкү элементтер усулунун негизинде сандык моделдөөнү, ошондой эле темир жолдун жаңы конструктивдүү чечиминин физикалык экспериментин коюну камтыган комплекстүү усул колдонулган.

**Алынган натыйжалар жана алардын жаңычылдыгы:** көтөрүүчү рельс астындагы негиз демпфердин тулкусуна – ичинде металл цилиндри бар жана металл тросторго илинген салмагы 100 кг маятник болуп саналган таяныч бөлүккө катуу кыпчытылганы менен айырмаланган динамикалык күч-аракеттердин инерциялык демпфирлөөсүн колдонуу менен темир жолдун жаңы конструктивдүү чечими иштелип чыккан. Конструктивдүү чечим КРнын патенти менен корголгон.

**Колдонуу даражасы.** Темир жолдун жаңы конструктивдүү чечими түрүндө алынган натыйжалар менен тыянактар жана аны эксперименттик тастыктоонун натыйжалары, жаңы темир жолдорду курууда же колдо барларын кайра курууда иш жүзүндө колдонуу мүмкүнчүлүгүнө ээ болушат. Илимий изилдөөнүн натыйжаларын КЭРнан Өзбекстанга мамлекеттер аралык темир жолду курууда колдонууга киргизүү мерчемделген. Илимий изилдөөлөрдүн натыйжаларын кабыл алуу жөнүндө тиешелүү актылар «Кыргыз темир жолу» Улуттук компаниясы тарабынан кабыл алынган.

**Колдонуу аймагы:** темир жол транспорту жана темир жолдордун инфратүзүмү.

## РЕЗЮМЕ

**диссертации Аскар кызы Нурайым на тему: «Устойчивость железнодорожного пути в динамической среде от подвижных нагрузок» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей**

**Ключевые слова:** инерционный демпфер, железнодорожный путь, устойчивость, инфраструктура, искусственное сооружение, колебание, подвижная нагрузка, сейсмическая нагрузка.

**Объект исследования:** Динамика подвижных и сейсмических явлений.

**Предмет исследования:** Инерционный демпфер железнодорожного пути.

**Целью диссертационной работы** является разработка устойчивого конструктивного решения железнодорожного пути в динамике сейсмических и подвижных нагрузок.

**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 железнодорожного пути.

**Полученные результаты и их новизна:** разработано новое конструктивное решение железнодорожного пути с применением инерционного демпфирования динамических усилий, отличающееся тем, что несущее подрельсовое основание жестко заземлено в корпус демпфера – в опорную часть, содержащий внутри металлический цилиндр и являющийся маятником, весом 100 кг, подвешенный на металлических тросах. Конструктивное решение защищено патентом КР.

**Степень использования.** Полученные результаты и выводы в виде нового конструктивного решения железнодорожного пути и результаты его экспериментального подтверждения, имеют возможность практического применения при строительстве новых железных дорог или реконструкции существующих. Внедрение результатов научных исследований запланировано при строительстве межгосударственной железной дороги из КНР в Узбекистан. Соответствующие акты о принятии результатов научных исследований приняты со стороны Национальной компании «Кыргыз темир жолу».

**Область применения:** железнодорожный транспорт и инфраструктура железных дорог.

## SUMMARY

**of the thesis of Askar kyzy Nuraiym on the theme: "Stability of a railway track in a dynamic environment from rolling loading" for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.23.11 - design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels**

**Key words:** inertia damper, railway track, stability, infrastructure, artificial structure, vibration, rolling load, seismic load.

**Research object:** Dynamic of movable and seismic phenomenon.

**Research subject:** Inertia damper of a railway track.

**The aim of the thesis** is to develop a stable constructive solution for a railway track in the dynamics of seismic and moving loads.

**Research methods.** The thesis uses a complex method, including theoretical and experimental research, numerical modeling based on the Finite Element Method, as well as setting up a full-scale experiment of a new constructive solution of a railway track.

**The obtained results and their novelty:** a new constructive solution of the railway track was developed using inertia damping of dynamic forces, characterized in that the supporting under-rail base is rigidly clamped into the damper body - into the support part, containing a metal cylinder inside and being a pendulum weighing 100 kg, suspended on metal ropes. The constructive solution is protected by the Kyrgyz Republic patent.

**Degree of use.** The obtained results and conclusions in the form of a new constructive solution of the railway track and the results of its experimental verification have the possibility of practical application in the construction of new railways or the reconstruction of existing ones. The implementation of the results of scientific research is planned during the construction of an interstate railway from China to Uzbekistan. The corresponding acts on the acceptance of the scientific research were adopted by the "Kyrgyz Temir Jolu" State Enterprise.

**Application field:** railway transport and railway infrastructure.

**Аскар кызы Нурайым**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В  
ДИНАМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПОДВИЖНЫХ НАГРУЗОК**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Редактор: *А.Б. Аманкулова*

Подписано в печать 15.04.21г.

Формат 60x84 1/16. Объем 1,25 уч.-изд.л.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ 105

---

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б  
Кыргызский государственный университет  
строительства, транспорта и архитектуры