



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

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

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д 05.17.553

На правах рукописи
УДК: 625.712.32

Аубакирова Динара Кыдыркуловна

**НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОЛУРАДИАЛЬНОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ
НАГРУЗОК**

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 им. Н.Исанова.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Болотбек Темир

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Киялбаев АбдыКиялбаевич

кандидат технических наук
Досалиев Эльмир Акуналыевич

Ведущая организация: Международный университет инновационных технологий по адресу:
720048, г.Бишкек, ул.Анкара, 1/17

Защита состоится 31 мая 2018 г. 14⁰⁰ 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.Ельцина по адресу: 720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б, ауд.1/101, 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. Удаленность Кыргызской Республики от международных водных транспортных артерий способствует активному развитию наземных транспортных систем. На сегодняшний день автомобильные дороги в большинстве регионов Кыргызстана являются единственными транспортными путями, соединяющими районы, разделенные горными хребтами. Однако проектирование, строительство и последующая эксплуатация дорог в горных районах, к которым относится республика, требует решения ряда сложных вопросов, так как активная тектоника в сочетании с высокой сейсмичностью и резко континентальным климатом региона постоянно изменяет параметры напряженного состояния склонов и приводит к активизации и интенсивному развитию неблагоприятных экзогенных геологических процессов – оползней, обвалов, камнепадов. Для удержания неустойчивых массивов грунта от обрушения, вокруг сооружаемого объекта и вдоль дорог сооружают подпорные стены. Так как вся территория Кыргызстана относится к сейсмически активным районам помимо условия надежности подпорных сооружений встает вопрос об их сейсмической устойчивости.

В последнее время в практике сейсмостойкого строительства все большее распространение приобретают специальные методы сейсмозащиты – сейсмогашение и сейсмоизоляция. Расчет подпорных стен с такими сейсмозащитными устройствами не отражен в действующих СНиП.

Под конструктивными мероприятиями с применением активных методов сейсмической защиты в данной работе подразумевается снижение сейсмической нагрузки за счет демпфирующих элементов, вводимых в конструкцию. В связи с изложенным разработка конструкций подпорных стен с использованием активных методов сейсмической защиты является **актуальной задачей**.

Целью диссертационной работы является создание новой сейсмостойкой конструкции подпорной стены, обеспечивающей, устойчивость и сохранность транспортных сооружений (автомобильных и железных дорог).

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

- анализ отечественного и зарубежного опыта в области проектирования и строительства подпорных стен;
- разработка конструкции подпорной стенки с применением активных методов сейсмозащиты, позволяющей уменьшить действие сейсмических сил на конструкцию подпорной стенки и исключить увеличение сечения конструкции;
- разработка и экспериментальные исследования модели конструкции из эквивалентных материалов и исследование ее на сейсмическое воздействие;
- построение расчетной математической модели разработанной подпорной стенки и методики ее расчета;
- научное обоснование применения разработанной конструкции подпорной стенки в условиях работы с повышенной сейсмической активностью региона.



Научная новизна полученных результатов:

- разработана новая конструкция полурadiaльной подпорной стенки в условиях высоких сейсмических воздействий;
- на основе анализа влияния сейсмических сил на развитие склоновых процессов обоснована целесообразность применения в фундаменте коробчатых подпорных стен инерционных демпферов каткового типа, масса которых составляет до 5% от веса блока фундамента подпорной стены как элемента, существенно снижающего динамические воздействия землетрясений;
- разработана методика расчета сейсмостойкости коробчатых подпорных стен с демпфирующей фундаментной частью, позволяющая учесть динамическое воздействие от движущегося большегрузного транспорта (осевая нагрузка свыше 6 т) на оползнеопасные склоны;
- установлено, что коэффициент запаса устойчивости подпорных сооружений с инерционным демпфированием при сдвиге по подошве, равный 1,25 не должен быть меньше чем 1,18.

Практическая значимость полученных результатов:

- разработана методика расчета конструкции полурadiaльной подпорной стенки в условиях высоких сейсмических воздействий;
- разработана новая конструкция фундаментной части подпорной стенки с использованием динамических гасителей колебаний, снижающая динамическое воздействие подвижной нагрузки в среднем до 20 %;
- разработанная конструкция принята ГП «НК Кыргызтемиржолу» для внедрения при проектировании и строительстве подпорных стен на планируемой железной дороге Китай – Кыргызстан – Узбекистан.

Экономическая значимость полученных результатов. При эксплуатации полурadiaльных подпорных стен с инерционными демпферами достигается экономический эффект в размере до 20 % от снижения влияния сейсмических сил на данный тип сооружений.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- новое техническое решение по использованию динамических гасителей колебаний в фундаменте подпорных стен;
- новое техническое решение по использованию грунта обратной засыпки в теле полурadiaльной подпорной стенки.

Личный вклад соискателя:

- теоретические исследования работы подпорных стен при воздействии сейсмических нагрузок выполнены автором;
- экспериментальные исследования работы модели подпорной стенки выполнены автором.

Результаты диссертации доложены на:

- ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и студентов КГУСТА, 2012–2016 гг.;
- Международной научно-практической конференции «Инновации в области строительства транспортных сооружений: становление, проблемы, перспективы», 2016 г.



- на семинарах кафедр «Железные дороги», «Автомобильные дороги» КГУСТА.

Опубликованные результаты. Материалы диссертации опубликованы в 10 научных публикациях, из них 7 статей опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК КР, в том числе 2 статьи из списка РИНЦ за пределами КР, 1 патент КР.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов и приложений. Текстовая часть состоит из 132 страниц машинописного текста, содержит 38 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 117 наименований, в том числе 9 на иностранном языке.

Автор выражает благодарность д.т.н., профессору А.Х. Абдужабарову, к.т.н., и.о. профессора М.Ч Апсеметову, коллективу кафедр «Автомобильные и железные дороги, мосты и тоннели» за оказанную помощь при выполнении настоящей работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

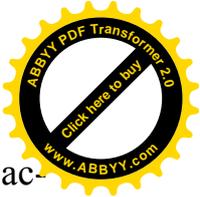
Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, изложены новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор и анализ конструкций и технологий возведения подпорных стен в странах, территории которых находятся в зонах опасных сейсмических проявлений.

Были исследованы основные направления совершенствования конструкций подпорных стен, развивающиеся в настоящее время. Проанализированы существующие принципы проектирования и строительства сейсмически устойчивых подпорных стен, предназначенных для удержания склонов от обрушения. Был произведен обзор характерных разрушений дорожных искусственных сооружений (подпорных стен, устоев мостов, припортальных зон подпорных стен и тоннелей).

В подпорных стенах в настоящее время не применяются активные методы сейсмической защиты из-за отсутствия теоретических и экспериментальных исследований воздействия сейсмических сил на общую устойчивость подпорных стен. Исследования в этой области ограничивались повышением статической устойчивости при увеличении активного давления грунтов. Но, учитывая повышенную ответственность таких сооружений в данной работе предлагается рассмотреть вопросы повышения сейсмической устойчивости жестких подпорных стен гравитационного типа путем применения в них методов активной сейсмической защиты.

Во второй главе рассматриваются теоретические аспекты предлагаемой конструкции подпорных стенок и их расчетное обоснование. В сейсмических расчетах для характеристики колебаний основания исследуемой конструкции наиболее часто используются спектры ускорений. Набранный за время записей реальных землетрясений материал по амплитудно-частотному составу землетрясений позволили создать расчетные спектры отклика (оггибающая кривая



множества спектров отклика реальных землетрясений), применяемые для расчета различных конструкций в части сейсмостойкости. При таком подходе предполагается, что при большом количестве зарегистрированных землетрясений, вероятность превышения записанных ускорений грунта стремится к нулю.

Отклики осцилляторов с разными начальными настройками, а именно, с собственными круговыми частотами ω (или частотами f) и параметрами рассеивания энергии ξ , на колебания, заданные одной акселерограммой, будет разной. Зависимость $S_a(f, \xi)$ максимальных значений модуля абсолютных ускорений осциллятора от его скорости колебаний и рассеивания энергии называется спектром отклика по частотным характеристикам. Также могут быть определены спектр скоростей $S_v(f, \xi)$ и спектр перемещений $S_d(f, \xi)$. Т.е. математически это выражается зависимостью:

$$F_c = mgA_{\max} S_a(f, \xi), \tag{1}$$

где m - масса осциллятора; A_{\max} - пиковое ускорение основания.

Зарегистрированные спектры землетрясений приводят в соответствие с величиной $1g$ ($g=9,81\text{м/с}^2$). То есть, для получения реальных значений ускорений, спектры должны быть умножены на реально зарегистрированное максимальное ускорение грунта A_{\max} в долях g . В этих расчетах максимальные ускорения грунта зависят от частотных характеристик землетрясения по шкале Медведева-Шпонхойера-Карника – MSK-64. При этом в такой математической модели количество таких осцилляторов не ограничено и при наличии нескольких степеней свободы у рассматриваемой модели выражение (1) преобразовывается:

$$\{F_c\} = [M]g\{A_i\}\Gamma_i A_{\max} S_a(f, \xi) \tag{2}$$

где $\{F_c\}$ - столбец инерционных сейсмических нагрузок по i -той форме колебаний; $[M]$ - матрица масс системы; $\{A_i\}$ - i -я собственная форма; Γ – коэффициент участия i -той собственной формы, определяемый по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\{A_i\}^T [M] \{\cos\}}{\|A_i\|^2} \tag{3}$$

где $\{\cos\}$ - вектор направляющих косинусов разложения сейсмического воздействия по осям общей системы координат.

Коэффициент Γ_i показывает степень участия i -той формы в процессе колебаний, т.е. если $\Gamma_i=0$, то колебания возбуждаться не будут.

Помимо различий грунтов оснований, строительный стандарт также учитывает назначение сооружения и его ответственность, допускаемые повреждения конструкции. Математическое его выражение в данном случае преобразована к виду:

$$S'_{ik} = K_0 K_i g m'_k A K_A \beta_i K_\phi \eta'_{ik} \tag{4}$$

где K_0 - коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность; K_i - коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения конструкции; m'_k - масса конструкции, отнесенная к точке k по обобщенной координате

нате j ; A - пиковое ускорение основания в долях g , принимаемое 0,1; 0,2; 0,4 для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно; K_A - коэффициент, принимаемый в зависимости от сочетаний расчетной сейсмической интенсивности на картах А, В и С (комплекта карт ОСР-97); K_φ - коэффициент динамичности для i -й собственной частоты, принимаемый в зависимости от типа грунта основания и периода собственных колебаний; η'_{ik} - коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по i -й форме.

От узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия

$$\eta'_{ik} = \frac{X_{ik} \sum_{j=1}^n Q_j X_{ij}}{\sum_{j=1}^n Q_j X_{ij}^2} \quad (5)$$

где X_{ik} и X_{ij} - отклонения системы от положения равновесия при свободных колебаниях в рассматриваемой точке k и во всех точках j , где в соответствии с расчетной схемой сооружения принята сосредоточенная его масса (рис.1).

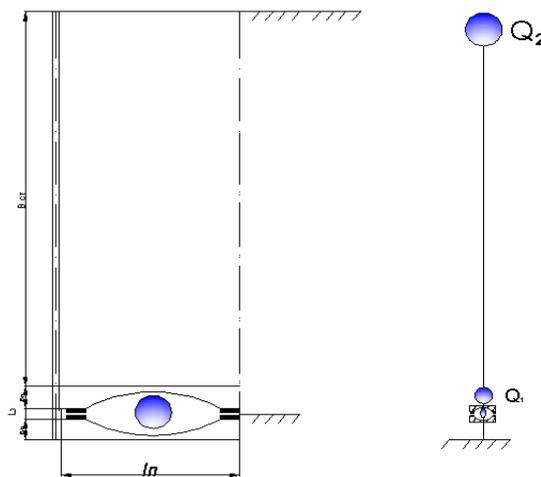


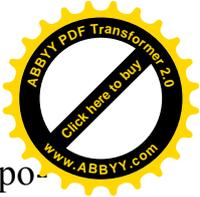
Рис. 1. Расчетная схема предложенной конструкции подпорной стенки

Период основного тона определяется по формуле энергетического метода:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n Q_k y_k^2}{\sum_{k=1}^n Q_k y_k}} \quad (6)$$

Известно, что в реальности деформация подпорных стен отличается от расчетной. Поэтому в большинстве случаев порядок величины собственных периодов оценивается по данным натурных испытаний подобных сооружений.

После расчета подпорной стенки на сейсмическое воздействие получают графики колебаний – обычно акселерограммы. Их можно использовать для



расчета методом прямого интегрирования или по модулям расчета на акселерограммы землетрясений. Если же необходимо произвести расчет по теории анализа спектральных кривых, то для этой цели вычисляют спектры отклика по высоте конструкции от акселерограмм с дальнейшей возможностью использования полученных спектров отклика в динамических расчетах. При построении спектров оси абсцисс соответствуют частоты или период, а в качестве параметра скорости затухания указать коэффициент затухания, например, аппроксимированный декремент для затухающих колебаний.

При решении частичной проблемы собственных значений, имеющих вид:

$$K\bar{\varphi}_i = \omega_i^2 M\bar{\varphi}_i, \quad (7)$$

где ω_i^2 - квадраты собственных частот, соответствующие собственным формам колебаний

$$\Phi = [\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2, \dots, \bar{\varphi}_m] \varphi_i, i = 1, 2, \dots, m, \quad (8)$$

Собственные формы удовлетворяют граничным условиям и обладают свойствами ортогональности к матрице масс:

$$\bar{\varphi}_i^T M \bar{\varphi}_j = 0, \bar{\varphi}_i^T K \bar{\varphi}_j = 0, \quad (9)$$

Собственные формы колебаний обладают свойством ортонормированности

$$\int_X m(x) \bar{\varphi}_i(x) \bar{\varphi}_j(x) dx = 0, i \neq j$$

$$\int_X m(x) \bar{\varphi}_i^2(x) dx = 1; \quad (10)$$

где X- область определения переменной x; $t(x)$ - масса сооружения в точке x.

Исходя из предположения, что эти же условия ортонормированности можно применить к процессу затухания колебаний, то система уравнений относительно обобщенных координат распадается на уравнения

$$y_i + 2\xi\omega_i \dot{y}_i + \omega_i^2 y_i = -\sum_{j=1}^3 (\Phi^T M \bar{v}_j u_{g^{lin}}^j(t)) - \sum_{j=4}^6 \Phi^T M \bar{v}_j u_{g^{rot}}^j(t), i = 1, \dots, m, \quad (11)$$

где исходные перемещения $\bar{u}(t) = \Phi \bar{y}(t)$.

В этом случае для получения максимумов перемещений y_i^{\max} уравнения (9) интегрируются методом Ньюмарка

$$y_i(t) + 2\xi\omega_i \dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = q_{i,r} \cdot u_{g^{lin}}^r(t) + q_{i,t} \cdot u_{g^{lin}}^t(t) f_t(t) + q_{i,z} \cdot u_{g^{lin}}^z(t),$$

$$q_{i,r} = \bar{\varphi}_i^T \cdot M \cdot \bar{v}_r,$$

$$q_{i,t} = \bar{\varphi}_i^T \cdot M \cdot \bar{v}_t,$$

$$q_{i,z} = \bar{\varphi}_i^T \cdot M \cdot \bar{v}_z, \quad (12)$$

где \bar{v} - вектор косинусов сейсмического воздействия в опорных узлах конструкции

$$\bar{v}_r = \{\cos X, \cos Y, 0, 0, 0, 0, \cos X, \cos Y, 0, 0, 0, 0, \dots, \cos X, \cos Y, 0, 0, 0, 0\}^T,$$

$$\bar{v}_t = \{\cos Y, \cos X, 0, 0, 0, 0, \cos Y, \cos X, 0, 0, 0, 0, \dots, \cos Y, \cos X, 0, 0, 0, 0\}^T,$$

$$\bar{v}_z = \{0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 1, 0, 0, 0\}^T.$$

Расчетная формула для получения значений инерционных сил

$$\vec{S}_i = y_i^{\max} \cdot \omega^2 M \cdot \vec{\varphi}_i, \quad (13)$$

Колебания, передающиеся на склон от воздействия движущего транспорта возможно «погасить» применением методов сейсмоизоляции – инерционно-го демпфирования. Как показала практика использования различных систем с сейсмоизоляцией, обычные (немаятниковые) опоры скольжения рациональны в случаях незначительных сейсмических воздействий, так как они работают только в определенном диапазоне собственных частот, которые должны совпасть с частотой сейсмических колебаний. В остальных случаях их использование не обеспечит эффективное гашение колебаний конструкции при землетрясениях.

Период колебаний подвижного элемента, вертикальную нагрузочную способность и демпфирование в предлагаемой конструкции можно задавать в широком диапазоне. Могут быть обеспечены динамические периоды колебаний от 1 до 5 с и смещения до 1,5 м. Динамическое трение может составлять от 3% до 20%. Эффективное демпфирование может находиться в пределах от 10% до 40%.

Полусферическая конструкция нижней плиты, по которой перекатывается демпфер позволяет получить относительно однородное распределение давлений под шарнирным ползуном, которое снижает прерывистое движение и предотвращает возникновение высокого локального давления в демпфере. Принцип действия основан на колебаниях сферического элемента демпфера относительно центра сферической вогнутой поверхности, радиус которой R , играет роль длины маятника, поэтому формула для определения периода колебаний демпфера приобретает вид:

$$T = 2\pi\sqrt{R/g} \quad (14)$$

где R – радиус сферической вогнутой поверхности; g – ускорение свободного падения.

На рис. 2 представлена расчетная схема инерционного демпфера.

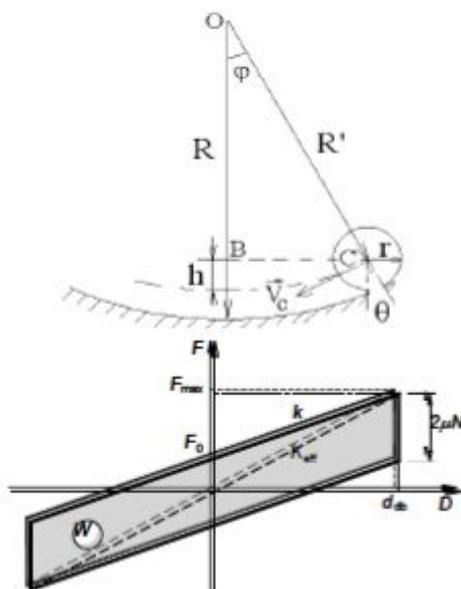


Рис. 2. Расчетная схема инерционного демпфера

Эффективность жесткости сейсмоизолирующей опоры маятникового типа определяются следующим выражением:



$$K_{\text{eff}} = \frac{F_{\text{max}}}{d_{\text{db}}} = \frac{kd_{\text{db}} + \mu N}{d_{\text{db}}} = \frac{\frac{N}{R}d_{\text{db}} + \mu N}{d_{\text{db}}} = \frac{N}{R} + \frac{\mu N}{d_{\text{db}}} \quad (15)$$

где k – горизонтальная жесткость опоры после превышения силы трения:

$$k = \frac{N}{R} \quad (16)$$

где F_{max} – сила трения в сейсмоизолирующем элементе:

$$F_0 = \mu N \quad (17)$$

где N – вертикальная нагрузка на сейсмоизолирующий элемент; R – радиус кривизны обкатываемой поверхностей; μ – коэффициента трения скольжения по сферической поверхности;

На основе этих данных предлагается для снижения уровня сейсмических воздействий в подпорных стенах использование одномятниковых скользящих конструкций. Так как подпорные стены – это монолитная конструкция, то для размещения в ней подвижных конструкций необходимо определенное пространство. Поэтому подпорную стенку полурadiaльного сечения необходимо выполнить в форме пространственной конструкции.

При введении системы динамического гашения вынужденных колебаний подпорной стенки должен увеличиться собственный период колебаний полурadiaльной подпорной стенки и за счет искривления лицевых подпорных плит уменьшается величина равнодействующей давления грунта на подпорную (фронтальную) стенку сооружения и изменяется форма эпюры распределения этого давления по высоте стенки.

В плане стена представляет собой симметричную коробчатую конструкцию криволинейного очертания. Смысл замены плоской конструкции на пространственную – преобразование изгибающих моментов в продольные (сжимающие и растягивающие) усилия таким образом, чтобы не требовалось развитие толщины конструкции. Сам короб стены состоит из отдельных блоков, имеющих полурadiaльное сечение (рис. 3). Полость образовавшегося короба стены заполняют грунтом, вынутым при подрезке склона.

Коробчатая стена объединена со сплошной фундаментной платформой. Фундамент состоит из двух плит: свободно опертой верхней и нижней, жестко соединенной с лицевыми стенами. Как в верхней, так и в нижней плите имеются поперечные борозды, которые при совмещении образуют пустое пространство в форме цилиндра. При объединении, фундаментные плиты образуют полые блоки-ящики, в котором свободно обкатываются шаровые элементы, выполняющая функцию гасителя колебаний. Основная энергия сейсмической волны рассеивается в пустом пространстве фундамента, частично передаваясь на гаситель. При сейсмических (или иных воздействиях) вибрационного характера) демпфер начинает совершать инерционные колебания в свободной полости фундамента, приподнимая верхнюю плиту, которая свободно опирается на выступы в стеновых панелях. В свою очередь, грунт засыпки, который играет роль гравитационного конструктивного элемента, не даст верхней плите сместиться. Учитывая протяженность подпорных стен и то, что зачастую они не со-

оружаются на горизонтальных участках, можно сделать предположение, что при сейсмическом воздействии, каждый отдельный блок подпорной стены будет воспринимать разную по величине и направлению сейсмическую силу. Соответственно, неодинаковыми будут собственные периоды колебаний и частота каждого отдельного блока, что будет усиливаться эффектом инерционного демпфирования. Это значит, что конструкция достаточно устойчива к вредным резонансным явлениям.

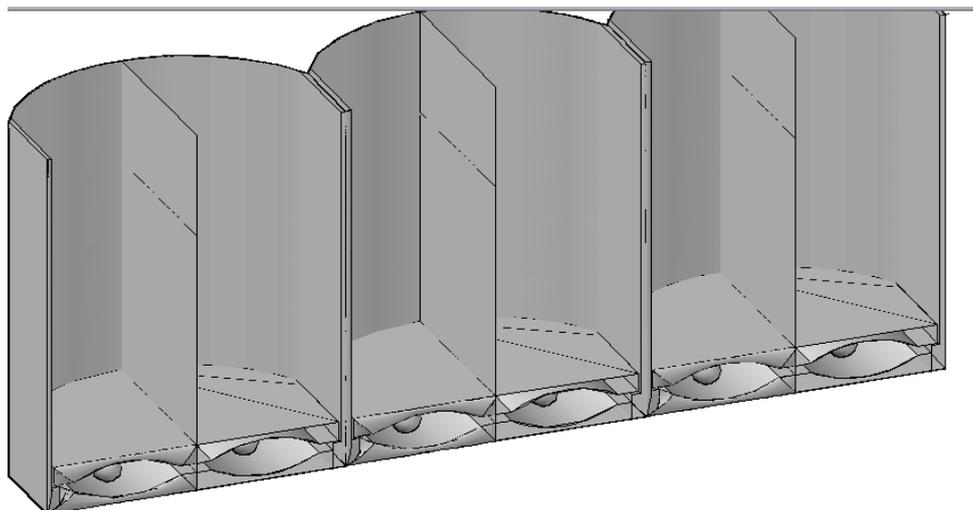


Рис. 3. Общий вид предлагаемой конструкции подпорной стены

Конструкция монолитная, хорошая взаимосвязь конструктивных элементов устраняют возможность развития значительных самостоятельных колебаний его частей, повышающих сейсмический эффект. Системы связей сооружений обеспечивают пространственную устойчивость сооружения в целом и его частей (рис.4).

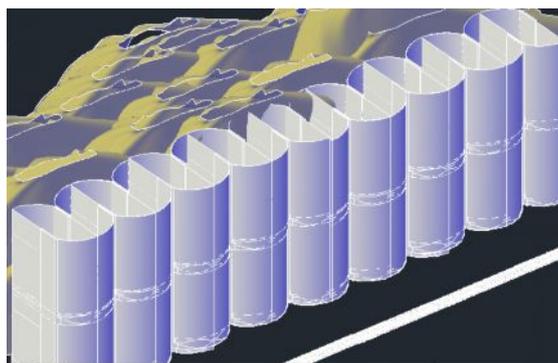
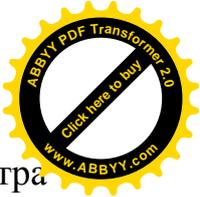


Рис. 4. Перспективный вид 3d модели подпорной стены

Достаточным будет если в полости фундамента будет обкатываться тело в форме металлического цилиндра или сферы. Обязательным условием работы данного типа гасителя является перекатывание без скольжения (без накопления относительного перемещения массы).

Из конструктивных и экономических соображений, как правило, значение μ выбирают равным не больше 0,1. При малых массах гасителя $\mu \leq 0,025$ его эффективность уменьшается.



Для эффективной работы динамического гасителя при выборе параметра оптимального затухания демпфера должно соблюдаться условие:

$$\zeta_{D,opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}} \quad (18)$$

где μ - относительный коэффициент вязкого сопротивления при заданном значении ν (коэффициент Пуассона).

В третьей главе приводятся результаты экспериментальных исследований, которые сводились к численным, лабораторным и натурным испытаниям предлагаемой конструкции подпорных стенок. В данной работе необходимо было произвести физическое моделирование новой конструкции подпорной стенки с целью проверки сходимости результатов динамических расчетов. Для осуществления физической модели в первую очередь определяем условия, без выполнения которых экспериментальные модельные исследования не принесут желаемого результата:

- конструктивное решение модели должно быть тождественно оригиналу;
- расчетные величины модели и оригинала должны быть схожими или равносильными;
- воздействия, которым будет подвергаться модель в эксперименте должны соответствовать реально возможным;

Первое условие - подобие модели оригиналу является основным при ее создании. Все процессы, протекающие в модели конструкции должны присутствовать в реальной конструкции. На этом основании явления, наблюдаемые в модели должны соотноситься с реальными определенными зависимостями из-за большой разницы в размерах. Поэтому значения всех величин a'_1 , составляющих моделируемый процесс, могут быть получены путем умножения значений соответствующих величин a''_1 , характеризующих реальное физическое явление, на константы $m = \frac{a'_1}{a''_1}$, называемые масштабами моделирования.

То есть достаточно, если будут соблюдены математические составляющие подобия процессов, протекающих в модели и оригинале, следовательно, необходимо строгое соответствие числовых значений соответствующих им параметров подобия.

Параметром подобия называют комплексы величин, которые входят в описание рассматриваемых процессов при помощи постоянных коэффициентов:

$$\pi_j = \prod_{i=1}^n \alpha_i^{\alpha_{ji}} \quad (19)$$

где α - величины, рассматриваемые в модельном эксперименте $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]$; $\alpha_i^{\alpha_{ji}}$ - вещественные числа.

Условия подобия по формальным признакам состоит в выполнении для всех критериев подобия условий вида

$$\pi_j = idem, \quad (20)$$



где π_j - критерий подобия.

Аналогичным условием (20) является условие

$$A_j = \pi'_j / \pi''_j = 1, \quad j = \overline{1, N} \quad (21)$$

где A_j - показатель подобия, равный отношению значения показателя π_j в реальной конструкции π'_j и в ее модели π''_j .

Поэтому условие (20) с учетом (21) запишем как:

$$\prod_{i=1}^n m_i^{\alpha_{ji}} = 1, \quad j = \overline{1, N} \quad (22)$$

где m_i - масштаб воспроизведения величины α_i в модели.

В практике мелкомасштабных экспериментов сложно выполнить условия соответствия при условии выполнения множества взаимосвязанных параметров.

В этом случае задается допустимая величина погрешности выполнения экспериментируемых процессов, которая задается максимально возможной некоторой величиной ζ , характеризующей схожесть соответствующих процессов в модели и в оригинале. Его величина зависит от множителей масштабов $m = m_1, m_2, \dots, m_n$ воспроизводимых в модели величин $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, т.е. по условию

$$\mathfrak{Z}(m) \leq \varepsilon \quad (23)$$

где ζ - заданный параметр; ε - его максимально заданное значение.

Значение ζ уменьшается, при снижении величины погрешности моделирования из-за расхождения в искусственно создаваемых и реально происходящих процессах и явлений, и $\zeta = 0$, в случае полного точного воспроизведения процессов.

В таком случае диапазон существования расхождений подобия определяют неравенствами вида

$$\Delta_j^- \leq \Delta_j \leq \Delta_j^+, \quad j = \overline{1, N} \quad (24)$$

Параметры соответствия получают либо на основе анализа размерностей величин, участвующих в описании моделируемых процессов, либо на основе анализа физических законов моделируемых явлений.

Исследование напряженного состояния подпорной стенки при модельном исследовании состоит из определения напряжений σ , деформаций ε и перемещений (амплитуд) u , периодов свободных колебаний T , скоростей v и ускорений a . Настоящий эксперимент проводится на основе теории расширенного подобия, в которой при решении статических задач для природы и модели должны соблюдаться следующие соотношения: линейным размером – l , напряжением – δ , относительной деформацией – ε , плотностью материала – ρ и временем – t , а условия выражены так:

$$L / L_1 = a_L; \quad (25)$$

$$\sigma / \sigma_1 = a_\sigma; \quad (26)$$

$$\varepsilon / \varepsilon_1 = a_\varepsilon; \quad (27)$$

$$T / T_1 = a_T; \quad (28)$$



$$\gamma / \gamma_1 = a_\gamma; \tag{29}$$

где a - масштаб деформаций.

Поэтому пересчет с модели на реальное сооружение осуществляется по соотношениям:

$$T = a_L \sqrt{a_\rho / a_E T_1} \text{ или } T = a_L \sqrt{a_\rho a_\varepsilon / a_\sigma T_1}, \tag{30}$$

для скоростей:

$$v = (a_L a_\varepsilon / a_T) v_1, \text{ или } v = a_\varepsilon \sqrt{a_E / a_\rho} v_1; \tag{31}$$

для ускорений

$$a = (a_L a_\varepsilon / a_T^2) a_1 \text{ или } a = [a_E a_\varepsilon / (a_L a_\rho)] a_1 \tag{32}$$

Если использовать простое подобие, то, например, при одинаковых материалах натуры и модели частоты колебаний увеличились бы обратно пропорционально линейному масштабу, так что, например, частотный диапазон сейсмических волн от 0,0001 Гц до 100 Гц, что составит для нашей модели частоты до 1000 кГц, что является ультразвуковым диапазоном и затрудняет измерение вибраций по заданному закону.

В данной работе для моделирования сейсмических процессов была использована теория подобия твердых деформируемых тел, по которой процессы статического и динамического деформирования твердых тел характеризуются следующими величинами: линейным размером – l , напряжением – δ , относительной деформацией – ε , плотностью материала – ρ и временем – t , а условия выражены так:

$$\begin{aligned} l_m &= \alpha l; \\ \delta_m &= \beta \delta; \\ \varepsilon_m &= \gamma \varepsilon; \\ \rho_m &= \delta \rho; \\ t_m &= \eta t \end{aligned} \tag{33}$$

где

$$\eta = \alpha \sqrt{\frac{\delta \gamma}{\beta}} \tag{34}$$

Задача эксперимента сводится к определению величин и характера деформаций полурадальной подпорной стенки с системой инерционного демпфирования при различной степени интенсивности землетрясения на основе известных частотных характеристик грунта (рис.5)

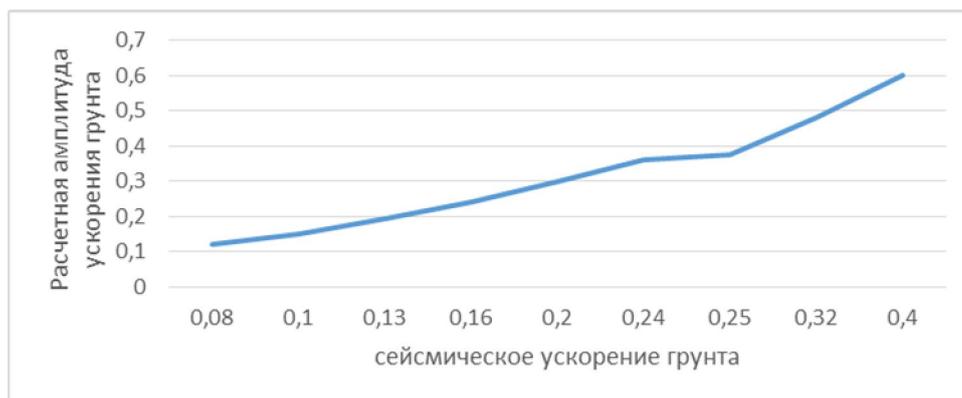


Рис.5. Зависимость амплитуды ускорения грунта от сейсмического ускорения

На рис. 6 приведены результаты численных экспериментов в динамической среде Lira.

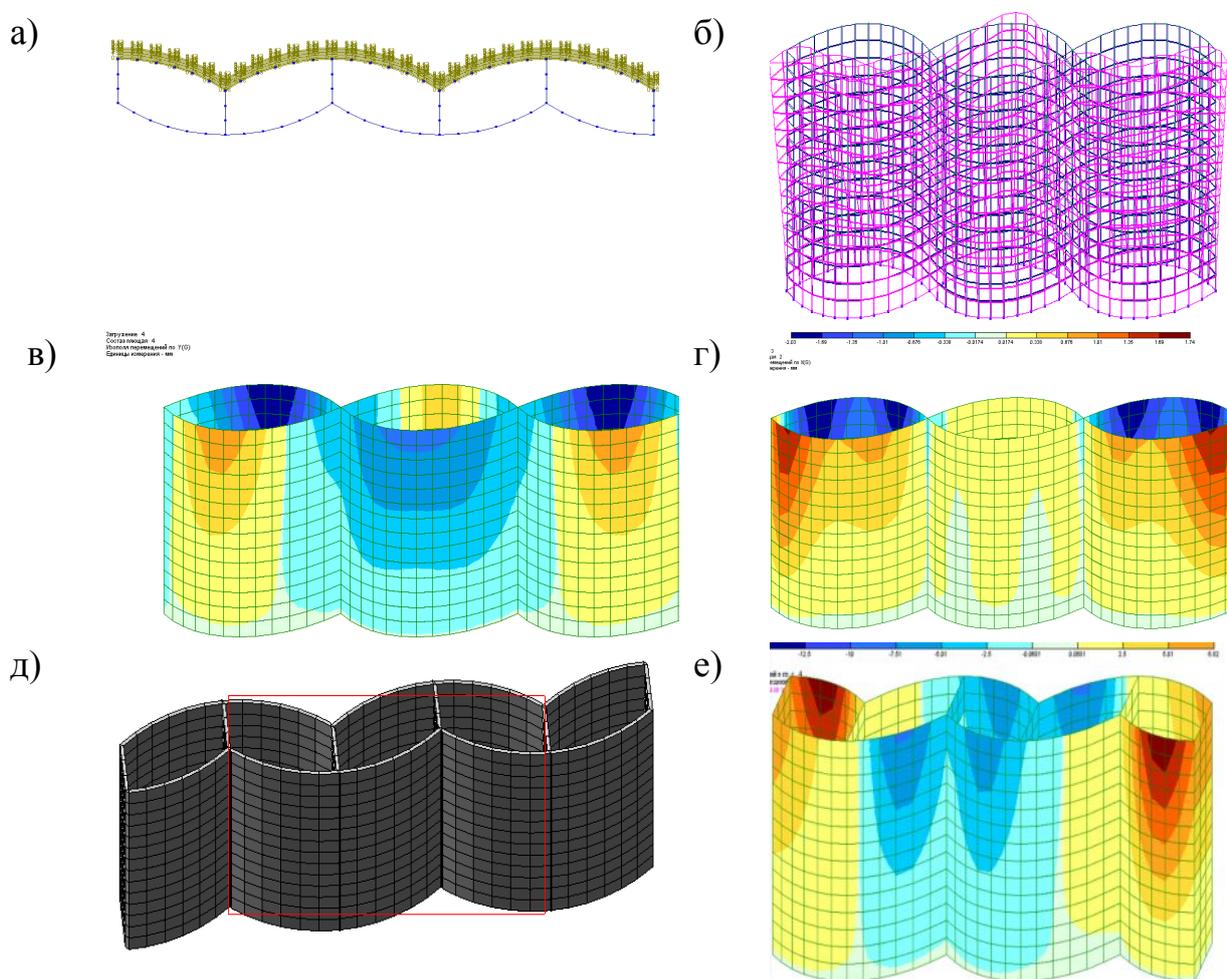
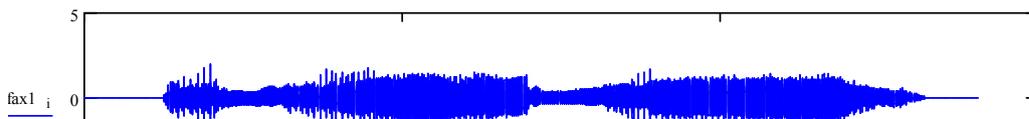


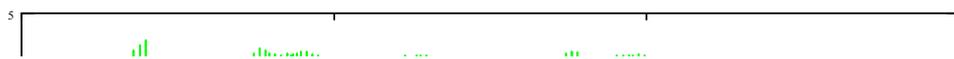
Рис. 6. Результаты численных экспериментов в динамической среде Lira 9.0:
а- давление грунта; б- деформации радиальной стенки; в- изополя перемещений по Y(G) для радиальной стенки; г- изополя перемещений по X(G) для радиальной стенки; д- зона пластических деформаций полурадиальной стенки; е- изополя перемещений полурадиальной стенки.

Характеристики ускорений моделей предлагаемой подпорной стенки показаны ниже на рис. 7– результаты экспериментальных исследований.

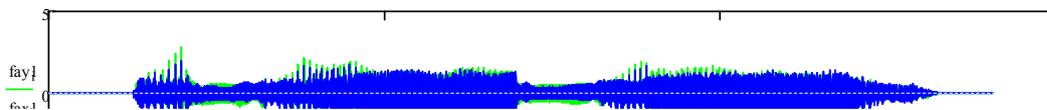
а)



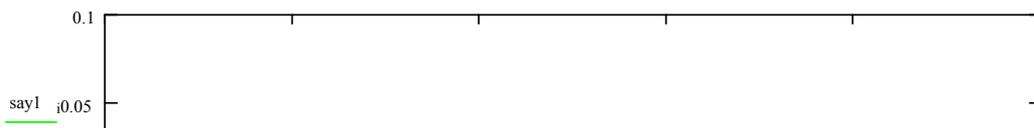
б)



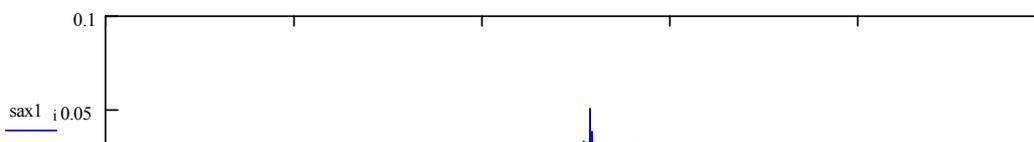
в)



г)



д)



е)

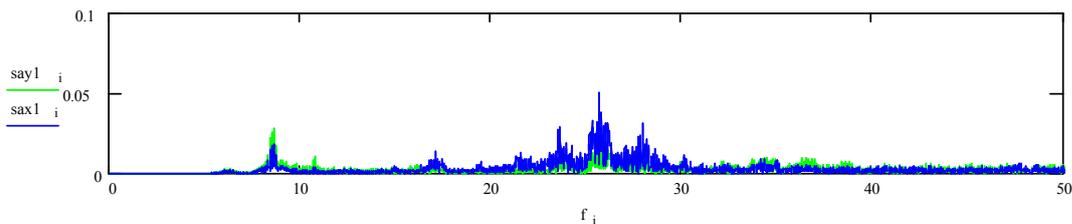


Рис. 7. Запись сейсмического воздействия на модель подпорной стенки, экспериментальные данные:

а) – амплитуда колебаний модели гравитационной подпорной стенки; б) – амплитуда колебаний платформы; в- амплитуды колебаний полурадимальной подпорной стенки с инерционными демпферами; г) – график спектров модели гравитационной подпорной стенки; д) график спектров полурадимальной подпорной стенки с инерционными демпферами; е) – наложение спектров платформы и полурадимальной подпорной стенки с инерционными демпферами.

В результате экспериментов максимальные значения выглядят следующим образом: амплитуда – мах, платформа - $2,006 \text{ м/с}^2$, модель – $2,81 \text{ м/с}^2$.

Сводные данные эксперимента представлены на рис.8. Эффективные диапазоны частот предлагаемой конструкции представлены в табл. 1. Сравнительные данные серии модельных экспериментов показаны в табл. 2.

Таблица 1 - Диапазон частот новой предлагаемой подпорной стенки

Платформа, Гц	25,69	25,53- 27,97
Модель, Гц	25,69	23,61-27,97

Таблица 2- Данные зависимости круговой частоты от коэффициента динамичности по результатам модельных экспериментов

Тип воздействия	7 баллов	8 баллов	9 баллов
Круговая частота новой конструкции с инерционными демпферами, сек	1,8	7,6	9,4
Круговая частота гравитационной подпорной стенки	1	13	18
Коэффициент динамичности модели гравитационной подпорной стенки K_H	0,99675	1,0025	0,9202
Коэффициент динамичности новой конструкции с инерционными демпферами K_H	0,85	0,96	0,18

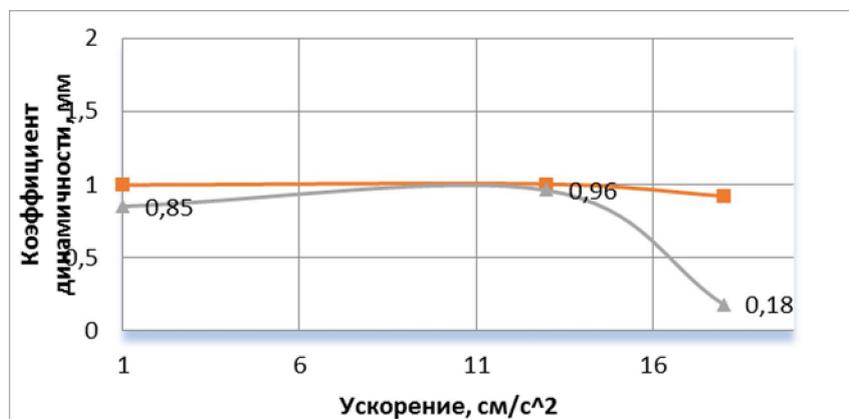


Рис. 8. Зависимость круговой частоты от коэффициента динамичности

В четвертой главе приводятся практические рекомендации по условиям использования коробчатых подпорных стен с инерционными демпферами и их экономическое обоснование. Значение достигаемого экономического эффекта устанавливается из условия повышения сейсмической устойчивости предлагаемой конструкции подпорной стенки с учетом параметров, который обеспечивается действующими нормами проектирования и современной инженерной практикой. В результате сравнения предлагаемой конструкции с аналогичными конструкциями без использования системы гашения сейсмических колебаний установлен экономический эффект в размере 12-20 %.



ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получены следующие научно обоснованные выводы:

1. На основе ретроспективного анализа в области проектирования и строительства существующих конструкций подпорных стен выявлено, что повышение сейсмической устойчивости подпорных сооружений ведется только в направлении изучения свойств грунтов засыпки и установления размеров грунтового массива, вовлеченного в работу стенки, что говорит о том, что конструктивные особенности подпорных стен и методы сейсмостойкого строительства остаются без внимания.

2. Проведенный анализ работы подпорных сооружений показывает, что использование инерционных демпферов в их фундаментах позволяет в перспективе повысить их сейсмостойкость.

3. Теоретически обоснована и разработана конструкция сейсмостойкой подпорной стенки, способной выдерживать сейсмические нагрузки до 9 баллов и исключает увеличение сечения подпорной стенки в диапазоне от 15 % до 20 % и обоснована целесообразность применения инерционных демпферов в фундаментной части, что повышает сейсмостойкость всей конструкции на 1 балл.

4. Разработана математическая модель и методика расчета системы «подпорная стенка с инерционными демпферами–защищаемый склон», позволяющей установить соотношение массы демпферов от геометрических параметров стенки.

5. Установлены закономерности изменения коэффициента динамичности подпорных сооружений с инерционным демпфированием при сдвиге по подошве, позволившие установить диапазон включения инерционных демпферов от 7 до 9 баллов.

6. Разработанная конструкция полурадимальной подпорной стенки за счет применения искривленной поверхности лицевых плит не требует развития толщины плиты по высоте, что дает снижение материалоемкости конструкции на 15 %. Применение грунта засыпки в качестве составной части конструкции также снижает материалоемкость конструкции до 15 %.

7. Материалы диссертации использованы при составлении технических условий эксплуатации противоползневых подпорных стен на железных дорогах ГП НК «Кыргызтемиржолу».

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Аубакирова, Д.К. Конструкция сейсмостойкого фундамента подпорной стены с динамическим гасителем колебаний [Текст] / Д.К.Аубакирова // Естественные и технические науки. – М.:Спутник, 2016. – № 2 (92). – С.27–31.
2. Аубакирова, Д.К. Конструкция сейсмостойкой коробчатой подпорной стены полурадимального сечения [Текст] / Д.К. Аубакирова // Естественные и технические науки. - М.:Спутник, 2016.– № 2 (92). – С.31–35.



3. Аубакирова, Д.К. К вопросу определения величины активного давления грунтов на коробчатые подпорные стены, проектируемые в районах с повышенной сейсмической активностью [Текст] / Д.К Аубакирова // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек, 2016.– № 1. – С.12–14.
4. Аубакирова, Д.К. Особенности расчета подпорных коробчатых стен полурадимального сечения [Текст] / Д.К. Аубакирова // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек, 2016.– № 1. – С.58–61.
5. Аубакирова, Д.К., Новая конструкция железобетонной подпорной стены коробчатого сечения [Текст] / Д.К Аубакирова // Вестник КГУСТА, 2013. – № 4 (42). – С.123–125.
6. Аубакирова Д.К., Вопросы бокового давления грунта на гибкие подпорные стены в зависимости от горизонтальных перемещений [Текст] / Д.К.Аубакирова // Вестник КГУСТА. - Бишкек, 2013.– № 4 (42).– С.19–22.
7. Аубакирова, Д.К. Устойчивая конструкция подпорных стенок в условиях оптимального распределения горного давления [Текст] / Темир Болотбек, Н.А. Осмонканов, Д.К. Аубакирова // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2016.– № 1(51). – С.509–514.
8. Пат. 1957 Кыргызская Республика, E02D 29/02 (2017.01)Объемная железобетонная подпорная стенка[Текст] / Аубакирова Д. К.; Бишкек. Кыргызпатент. - № 20160032.1/2017 ;заявл. 25.04.2016; опубл. 31.05.2017. - Бюл. № 5 (217). – 8 с.: ил.



КОРУТУНДУ

Аубакирова Динара Кыдыркуловнанын «Сейсмикалык жогорку басымдын таасирлериндеги жарым радиалдык тирөөч дубалдын жаңы конструкциясы» 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: тирөөч дубалдар, сейсмические өзгөрүүлөрү, көчкүү, жеке моделдөө, долбоорлоону тездетүү жана кыртыштын, убакыт, жер титирөө, инерционный демпфер.

Изилдөөнүн объектиси. Тирөөч дубалдын курулушламарын активдүү сейсмикалык коргоо методдору менен.

Изилдөөнүн предмети. Тирөөч дубалдын курулушламасы инерциалдуу демпфер менен.

Изилдөөнүн максаты. Унаа курулмаларынын (автомобиль жана темир жолдорунун) бекемдигин жана коопсуздугун камсыздоочу тирөөч дубалдардын жаңы сейсмикалык конструкциясын түзүү

Изилдөөнүн методдору. Эксперименталдык – теориялык методдор, салыштырма анализ, экономикалык методдору.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы. Жогорку сейсмикалык таасирлүү шартта жаңы жарым радиалдык тирөөч дубалдын конструкциясы иштелип чыкты; жантаюу процессин өрчүтүүгө сейсмикалык күчтөрдүн таасирин талдоонун негизинде тирөөч дубалдардын фундаментине жер титирөөлөрдүн динамикалык таасирлерин кыйла азайтуучу элемент катары, салмагы тирөөч дубалдын фундаментинин салмагынын 5% на чейин түзгөн, мала типтүү инерциялуу демпферлерди колдонуу максатка ылайыктуу экендиги негизделген; кыймылдагы оор жүктүү унаанын (октук жүгү 6 т дан көп) жер көчкү жүрүүгө кооптуу жантайыштарга динамикалык таасирлерин эске алууга мүмкүндүк берүүчү, демпфирлөөчү фундаменттүү тирөөч дубалдардын жер титирөөгө туруктуулугун эсептөө ыкмасы иштелип чыкты; инерциялуу демпфирлөөчү тирөөч курулмалардын туруктуулук коэффициенти 1,25ке барабар болгон түбү менен жылганда 1,18ден кем болбошу керектиги аныкталган.

Колдонуу даражасы. Пландалып жаткан Кытай – Кыргызстан – Өзбекстан темир жолунда тирөөч дубалдарды долбоорлоо жана курууну жайылтуу үчүн, иштелип чыккан конструкция МИ «Кыргыз темир жолу УК» тарабынан кабыл алынды.

Колдонуу тармагы. Тирөөч дубалдын жогорку сейсмикалык региондордо пайдалануу.



РЕЗЮМЕ

диссертации Аубакировой Динары Кыдыркуловны на тему: «Новая конструкция полурadiaльной подпорной стенки в условиях воздействия высоких сейсмических 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: подпорные стенки, сейсмические колебания, оползни, физическое моделирование, проектирование, ускорение грунта, смещение, землетрясение, инерционный демпфер.

Объект исследования. Конструкции подпорных стен с использованием активных методов сейсмической защиты.

Предмет исследования. Конструкция подпорной стенки с инерционными демпферами.

Цель исследования. Создание новой сейсмостойкой конструкции подпорной стены, обеспечивающей, устойчивость и сохранность транспортных сооружений (автомобильных и железных дорог).

Методы исследования. Экспериментально – теоретические методы, сравнительный анализ, экономические методы.

Полученные результаты и их новизна. Разработана новая конструкция полурadiaльной подпорной стенки для условий высоких сейсмических воздействий; на основе анализа влияния сейсмических сил на развитие склоновых процессов обоснована целесообразность применения в фундаменте коробчатых подпорных стен инерционных демпферов каткового типа, масса которых составляет до 5% от веса блока фундамента подпорной стены как элемента, существенно снижающего динамические воздействия землетрясений; разработана методика расчета сейсмостойкости коробчатых подпорных стен с демпфирующей фундаментной частью, позволяющая учесть динамическое воздействие от движущегося большегрузного транспорта (осевая нагрузка свыше 6 т) на оползнеопасные склоны; установлено, что коэффициент запаса устойчивости подпорных сооружений с инерционным демпфированием при сдвиге по подошве, равный 1,25 не должен быть меньше чем 1,18.

Степень использования. Разработанная конструкция принята ГП «НК Кыргызтемиржолу» для внедрения при проектировании и строительстве подпорных стен на планируемой железной дороге Китай – Кыргызстан – Узбекистан; используется в учебном процессе в качестве теоретического материала для изучения влияния сейсмических воздействий на подпорные сооружения.

Область применения. Эксплуатация подпорных стен в регионах с повышенной сейсмической активностью.



SUMMARY

AubakirovaDinaraKydyrkulovnadissertation on the topic of «New design semi radial retaining walls in the conditions of the high seismic loads». 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

Key words: retaining walls, seismic vibrations, slid-or, physical modeling, design, ground acceleration, displacement, earthquake, inertial damper.

Object of research. Construction of retaining walls using active methods of seismic protection.

Subject of research. Retaining walls with insertion-governmental damper-sconstruction.

Purpose of research. Creation of a new seismic-resistant structure under the porn wall, providing stability and safety of transport facilities (roads and Railways).

Method of research. Experimental and theoretical methods, comparative analysis, economic methods.

The obtained results and their novelty. A new design of a semi-radial retaining wall for conditions of high seismic effects has been developed; on the basis of the analysis of the influence of seismic forces on the development of new processes, the feasibility of the use of roll-type inertial dampers in the Foundation box retaining walls, whose mass is up to 5% of the weight of the Foundation block of the retaining wall as an element that significantly reduces the dynamic effects of earthquakes, has been substantiated; the method of calculation of seismic resistance of box retaining walls with damping base part, allowing to consider dynamic influence from moving heavy-load transport (axial load over 6 t) on landslide-prone slopes, was developed; it was established that the coefficient of stability of retaining structures with inertial damping when shifting on the sole, equal to 1.25 should not be less than 1.18.

Degree of use. The developed design was adopted by SE "NC Kyrgyz Temir-Zholu" for implementation in the design and construction of retaining walls on the planned railway China – Kyrgyzstan –Uzbekistan; used in the educational process as a theoretical model to study the impact of seismic effects on retaining weapons.

Application. Operation of retaining walls in regions with higher seismic activity.



Аубакирова Динара Кыдыркуловна

**НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПОЛУРАДИАЛЬНОЙ ПОДПОРНОЙ
СТЕНКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ
СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Подписано в печать 26.04.2018
Формат бумаги 60x84 1/16. Объем 1,25п.л.
Тираж 100 экз.Заказ № 514

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