УДК 624.042.8

# НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ВЯЗКОУПРУГОЙ СИСТЕМЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

***Шеин Александр Иванович,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза;*

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика».*

***Быков Александр Николаевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза,*

*аспирант кафедры «Механика».*

***Романов Андрей Алексеевич,***

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза,*

*аспирант кафедры «Механика».*

**Аннотация**

Статья посвящена вопросам повышения эффективности систем демпфирования колебаний железобетонных каркасных зданий применительно к вязкоупругим демпферам. Рассмотрены физические принципы диссипации энергии колебаний, проведено сопоставление вязкоупругих устройств с демпферами сухого трения и инерционными гасителями масс. Основное внимание уделено построению математической модели оптимизации параметров демпфирования при варьировании коэффициента демпфирования, преднатяжения, предельных значений перемещений, а также практическим примерам внедрения технологий сейсмозащиты в отечественном и зарубежном строительстве. Установлено, что грамотный подбор параметров вязкоупругих элементов способен существенно снизить амплитуду колебаний каркаса без увеличения материалоемкости конструкции. Новизна работы заключается в

построении математической модели работы каркаса с вязкоупругими демпферами, систематизации критериев оптимизации, параметров управления демпфирующих систем и построении оптимизационной модели применительно к нормативным требованиям СП 14.13330.2018, что имеет практическое значение для проектных организаций, работающих в сейсмоопасных регионах России.

**Ключевые слова:** математическая модель, вязкоупругие демпферы, демпфирование колебаний, железобетонный каркас, сейсмостойкость, диссипация энергии, динамические нагрузки, оптимизация.

## ADJUSTMENT OF PARAMETERS OF A VISCOELASTIC VIBRATION DAMPING SYSTEM FOR BUILDING STRUCTURES

***Shein Alexander Ivanovich,***
*Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanics.*

***Bykov Alexander Nikolaevich**, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, postgraduate student of the Department of Mechanics.*

***Romanov Andrey Alekseevich**, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, postgraduate student of the Department of Mechanics.*

**Abstract**

The article is devoted to the issues of improving the efficiency of vibration damping systems for reinforced concrete frame buildings, with a focus on viscoelastic dampers. The physical principles of vibration energy dissipation are examined, and a comparison is made between viscoelastic devices and dry-friction dampers and inertial mass dampers. The main focus is on constructing a mathematical model for optimizing

damping parameters while varying the damping coefficient, preload, and limiting displacement values, as well as on practical examples of implementing seismic protection technologies in domestic and foreign construction. It has been established that a competent selection of the parameters of viscoelastic elements can significantly reduce the amplitude of frame oscillations without increasing the material consumption of the structure. The novelty of the work lies in the development of a mathematical model of the frame operation with viscoelastic dampers, the systematization of optimization criteria and control parameters for damping systems, and the creation of an optimization model in accordance with the regulatory requirements of SP 14.13330.2018, which is of practical importance for design organizations operating in seismically active regions of Russia.

**Keywords***:* mathematical model, viscoelastic dampers, vibration damping, reinforced concrete frame, seismic resistance, energy dissipation, dynamic loads, optimization.

## 1. Проблема динамических воздействий на каркасные конструкции

Поведение железобетонного каркаса при динамических нагрузках существенно отличается от статического режима, что нередко приводит к просчетам при проектировании. Внешние воздействия — такие как ветер, вибрации от транспорта, сейсмика или взрывные воздействия — вызывают колебания, которые при резонансе могут многократно превышать расчетные показатели. Хотя внутреннее демпфирование способствует рассеиванию энергии, его естественного уровня часто оказывается недостаточно, из-за чего даже умеренные динамические нагрузки могут спровоцировать критические повреждения конструкции. В связи с этим требуется построение и развитие методов расчёта механической безопасности конструкций, рациональное проектирование и оптимизация систем защиты в том числе при чрезвычайных ситуациях и особых воздействиях.

Современная инженерная практика доказывает неэффективность экстенсивного подхода к сейсмозащите, основанного на простом наращивании сечений, прочности материалов или массы здания. Подобное утяжеление лишь меняет частоту собственных колебаний, не устраняя риск резонанса. Более того, избыточная жесткость каркаса зачастую провоцирует хрупкое разрушение узлов при импульсных нагрузках. В связи с этим акцент смещается с тотального упрочнения конструкций на методы управляемой диссипации энергии. Требуется обеспечить расчёт и защиту строительных конструкций в экстремальных ситуациях (землетрясения, ураганы, взрывы).

Данное направление активно эволюционирует: на сегодняшний день существует свыше ста запатентованных решений по сейсмоизоляции, многие из которых опираются на разработки второй половины XX века, дополненные современными инновациями [9].

## 2. Вязкоупругие демпферы в системе диссипации энергии

Вязкоупругие демпферы поглощают кинетическую энергию смещающихся элементов конструкции, преобразуя её в тепловую за счет внутреннего трения вязкого наполнителя. Хотя физика процесса демпфирования может варьироваться, для большинства колебательных систем именно тепловыделение является основным механизмом рассеяния энергии [6]. В отличие от устройств сухого трения, зависящих от состояния поверхностей, вязкоупругие демпферы обеспечивают более предсказуемое поведение при циклических нагрузках [12,13,17], несмотря на риск постепенной деградации свойств рабочей среды при температурных колебаниях. Данные устройства классифицируются как полуактивные системы сейсмозащиты: они способны адаптировать свои параметры (жесткость или коэффициент демпфирования) к текущим условиям воздействия, не создавая при этом активных управляющих сил.

Существует множество методологий классификации демпфирующих устройств. Согласно [9], выделяют четыре ключевых типа гистерезисных

демпферов: жидкостные вязкоупругие, твердые вязкоупругие, металлические вязкопластические и устройства сухого трения. Выбор конкретного типа при проектировании обусловлен уникальными эксплуатационными характеристиками, преимуществами и ограничениями каждой группы [9]. В частности, жидкостные вязкоупругие демпферы используют рабочую среду, обладающую огнестойкостью, нетоксичностью, биологической инертностью и радиационной устойчивостью [2]. Данные свойства позволяют применять такие устройства на объектах с жесткими требованиями к безопасности (пожарной и радиационной). При этом общая эффективность вязкоупругих систем зависит от совокупности факторов: распределения массы по этажам, жесткостных характеристик диафрагм и частотных параметров внешних нагрузок.

В современной инженерной практике существуют и иные подходы к обеспечению сейсмостойкости. В частности, для зданий с ядрами жесткости применяются демпферы сухого трения, выполненные из стальной ленты (марка 65Г). Они монтируются в зазорах между перекрытиями и ядром с предварительным напряжением [8]. Возникающая сила трения способствует эффективному гашению свободных колебаний и препятствует критическому росту амплитуд при резонансе [8]. Тем не менее, для высотных объектов с гибким каркасом такие устройства менее предпочтительны, чем вязкоупругие аналоги, из-за низкой стабильности характеристик сухого трения в ходе эксплуатации [9].

На практике часто применяются комбинированные схемы защиты. Установка демпферов сухого трения в межкорпусном зазоре между зданиями с разной жесткостью позволяет повысить их сейсмостойкость. Преимущество метода заключается в том, что он не затрагивает внутреннюю конструкцию зданий, обеспечивая надежную работу системы при динамических нагрузках [3].

Инерционные системы демпфирования эффективны только для компактных систем со строго определенной (постоянной) массой.

Параллельно ведутся исследования в области активных и полуактивных

систем виброзащиты. Разработанные авторами системы реактивного управления позволяют нивелировать опасные колебания, возвращая конструкцию в штатный режим при сейсмических внешних воздействиях. Однако широкое внедрение таких решений в гражданском строительстве пока сдерживается стоимостью необходимого оборудования (датчиков и исполнительных механизмов).

Вязкоупругие управляемые демпферы, распределенные по периметру (и по высоте) здания могут стать эффективным стандартным элементом массового железобетонного строительства. Здесь создание эффективных сил противодействия возмущениям сочетается с экономикой проекта – закупка и монтаж сертифицированных демпферов незначительно увеличивает стоимость сооружения, а заказчики объекта строительства могут оплатить снижение риска.

### 3. Адаптирующаяся система демпфирования

Определение необходимого коэффициента демпфирования – задача, далекая от тривиальной, и здесь единого универсального подхода не существует.

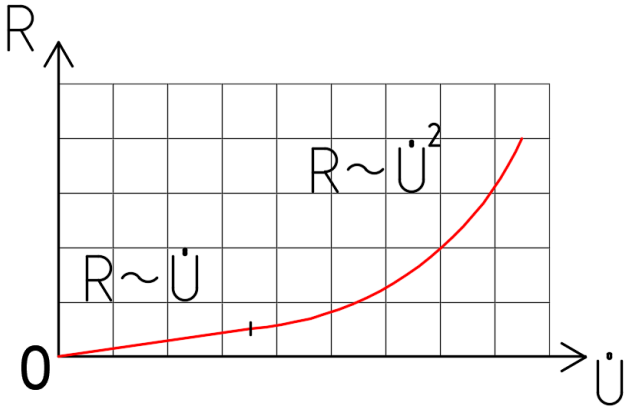



Рисунок 1 - График зависимости силы сопротивления движению поршня от скорости

На рис. 1 показана зависимость силы сопротивления движению в поршне от скорости движения штока. Интенсивность наклона этой кривой зависит от вязкости жидкости, диаметра отверстий в поршне, толщины поршня. При малых скоростях (когда тело медленно движется в вязкой среде) сила сопротивления часто пропорциональна скорости. При больших скоростях (когда поток

становится турбулентным) сила сопротивления начинает зависеть от скорости квадратично (а иногда и сильнее).

Для описания силы сопротивления на разных скоростных режимах можно использовать кусочно-заданные функции или сплайны. Это позволяет гибко настраивать модель: либо через разделение на диапазоны с разными формулами, либо через аппроксимацию экспериментальной кривой полиномами повышенной сложности. Учитывая, что сейсмические воздействия характеризуются высокими скоростями движения, на данном этапе исследований воспользуемся квадратичной аппроксимацией сил сопротивления в гидроцилиндрах:

$$R = B(\dot{U})^2, \qquad (1)$$

где $B$ – матрица демпфирования.

Параметры демпфирования целесообразно адаптировать к интенсивности внешних воздействий, динамическим характеристикам системы (массе и жесткости) и управляющим сигналам. В отличие от стандартных гидроцилиндров с неизменными характеристиками, адаптивные устройства способны менять сопротивление в режиме реального времени. Это достигается либо путем изменения проходного сечения клапана с электромагнитным приводом, либо за счет использования магнитореологических жидкостей, вязкость которых варьируется под воздействием магнитного поля.

Реализация адаптивных амортизаторов базируется на двух основных технологиях:

1. Электромагнитные клапаны: жесткость демпфирования регулируется путем изменения проходного сечения каналов в поршне с помощью электрического сигнала. Сужение канала замедляет переток жидкости, делая демпфер жестче, расширение — мягче.
2. Магнитореологическая жидкость: гидроцилиндр заправлен маслом с ферромагнитными частицами. При подаче тока на встроенные в поршень катушки внутри амортизатора создается магнитное поле, заставляющее

частицы выстраиваться в структуры, блокирующие поток жидкости. Это мгновенно повышает вязкость состава и жесткость демпфирующей системы.

Управляет системой электронный блок, который в реальном времени обрабатывает сигналы с датчиков ускорений и корректирует работу амортизаторов в автоматическом режиме.

Преимущества адаптивных демпферов: мгновенная адаптация к возмущающим воздействиям, улучшенная стабилизация и возможность гибкой настройки под конкретные возмущения.

Недостатки адаптивных демпферов: высокая стоимость, сложность конструкции и зависимость от исправности электроники.

По сути, такие амортизаторы — это интеллектуальные исполнительные механизмы, которые в режиме реального времени подстраиваются под динамику движения системы.

3. **Оптимизация системы демпфирования**

Оптимальная система гашения колебаний должна обеспечить снижение уровня амплитуд до приемлемых с точки зрения прочности и жесткости значений. Возьмем в качестве критерия оптимальности минимум сумму квадратов амплитудных значений перемещений заданных узлов конечно элементной модели механической системы

$$\min \sum_{j=1}^{n} (U_{j,ampl})^2. \qquad (2)$$

Этот критерий имеет большую чувствительность математической модели к размаху колебаний, чем, например, сумма абсолютных значений амплитуд. В то же время, он позволяет не принимать во внимание знаки перемещений. Здесь $j$-номера заданных узлов, $U_{j,ampl}$ - амплитуды перемещений этих узлов.

Применение адаптирующейся системы демпфирования требует введения в математическую модель задачи оптимизации не постоянных, а изменяющихся параметров сопротивлению движения поршней в гидроцилиндрах. Т.е. поиск оптимальной системы проводим на интервале

$$B_{\min} \le B \le B_{\max}, \tag{3}$$

где $B$ – коэффициент сопротивления движению.

Для повышения эффективности демпфирования целесообразно заложить в алгоритм работы демпфера постоянное преднатяжение тросов:

$$N_j \ge [N_j]. \tag{4}$$

Это обеспечит работу в режиме демпфирования во всем диапазоне отрицательных (условно) скоростей. Здесь $N_j$-контролируемое усилие в тросе, $[N_j]$- минимально возможное значение усилия.

Тогда математическую модель задачи оптимизации системы демпфирования можно представить в виде:

$$\min \sum_{j=1}^{n} (U_{j,ampl})^2 \tag{5}$$

При ограничениях:

$$\begin{aligned} & M\ddot{U} + KU = P - M\ddot{\Delta} - B(\dot{U})^2, \\ & B_{\min} \le B \le B_{\max}, \\ & [U^{-}_{extr}] \le U \le [U^{+}_{extr}], \\ & N_j \ge [N_j]. \end{aligned} \tag{6.1-6.4}$$

Здесь $P$ – вектор статических нагрузок; $M$ – матрица масс механической системы; $K$ – матрица жесткости; $[U_{extr}]$ – допустимые значения перемещений.

**Алгоритм реализации оптимизационной задачи**

Работа механической системы, включающей демпферы, описывается следующими соотношениями:

- работа с демпферами:

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-B(\dot{U})^2, \qquad 7.1$$

- холостой ход (механическая система без демпферов):

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}, \qquad 7.2$$

- работа в режиме ограничителя:

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-K\text{тр}.U. \qquad 7.3$$

Здесь $K$тр – матрица жесткости стального троса.

Динамическая система с демпферами может работать в трех основных режимах:

1. Без преднатяжения тросов, работа демпферов только при отклонении от положения равновесия в одну сторону, в остальных фазах движения демпфер не работает:

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-B(\dot{U})^2, \quad \{U\in R1 \mid 0\le U\le +U\,\max, \dot{U}>0\}. \qquad 7.1a$$

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}, \quad \{U\in R2 \mid U\,\max>U>U\,\min, \dot{U}<0\},$$

$$\{U\in R3 \mid U\,\min<U<0, \dot{U}>0\}. \qquad 7.2$$

2. С преднатяжением – на всем диапазоне движения в одном направлении демпфер работает, в противоположном движении – не работает:

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-B(\dot{U})^2, \quad \{U\in R4 \mid U\,\min\le U\le U\,\max, \dot{U}>0\}. \qquad 7.1b$$

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}, \quad \{U\in R2 \mid +U\,\max>U>U\,\min, \dot{U}<0\}. \qquad 7.2$$

3. Работа с преднатяжителем и режимом ограничителя:

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-B(\dot{U})^2, \quad \{U\in R5 \mid [-Uextr]\le U\le [+Uextr], \dot{U}>0\}. \qquad 7.1c$$

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}, \quad \{U\in R6 \mid [-Uetr]\le U\le [+Uetr], \dot{U}<0\} \qquad 7.2$$

$$M\ddot{U}+KU=P-M\ddot{\Delta}-K\text{тр}.U, \quad \{U\in R7 \mid [-Uextr]>U, U>[+Uextr]\}. \qquad 7.3$$

Здесь $[Uextr]$ - предельно допустимые значения узловых перемещений.

Для упрощения работы с нелинейными скоростями в соотношении (6.1, 7.1) при переходе в прямой задаче динамики целесообразно представлять скорости левыми разностями.

$$\dot{U}_t = (U_t - U_{t-\Delta t})/\Delta t. \qquad (8)$$

Это облегчает решение прямой задачи динамики.

Предельно допустимое значение $U_{extr}$ при включении в расчет уравнений 7.1c и/или 7.3 можно взять равным 1/75 *h.

Ввиду неопределенности (переменности) в задачах сейсмической динамики нагрузки и состояния механической системы нельзя решать задачу оптимизации (4)-(5) «в лоб». Необходимо искать оптимальное решение на совокупности (на поле) траекторий, построенных на основе численных экспериментов демпфирования движения механической системы с различными предусловиями, прежде всего, в настройках демпферов. Коэффициент сопротивления движению будем в каждом таком эксперименте пошагово менять (6.2), сохраняя и записывая амплитудные значения перемещений узлов. Кроме того, можно, меняя пределы возможных экстремальных значений перемещений (6.3), соответственно преобразовывать демпферы в ограничители. И, наконец, можно, включая преднатяжение (6.4), увеличить диапазон работы демпфера.

Общая задача оптимизации должна быть представлена по крайней мере в двух вариантах:

- как совокупность задач поиска оптимальных решений при постоянных значениях коэффициентов сопротивления движению;

- как задача поиска оптимальных решений с использованием функциональных зависимостей коэффициентов сопротивления движению от кинематических характеристик этого движения. При этом данная функциональная зависимость должна иметь возможность изменять сопротивление демпфера программно, ориентируясь на скорость и амплитуду перемещения.

**Перспективы развития и практические рекомендации**

Направление дальнейшей оптимизации параметров гасителей связано с совершенствованием математических моделей демпфирования, с накоплением и анализом результатов численных экспериментов. Это направление

представляется наиболее перспективным для дальнейшей разработки применительно к железобетонным каркасам, поскольку позволяет учитывать и особенности деформирования бетона на разных стадиях колебательных движений и усложнение расчетной схемы.

Кроме непосредственного применения в качестве основной системы гашения колебаний вязкоупругие демпферы могут дополнять традиционные конструктивные мероприятия. Экономическая целесообразность такого подхода подтверждается на объектах инфраструктуры, где стоимость простоя при повреждении конструкции многократно превышает затраты на демпфирующее оборудование.

**Выводы**

Проведенное исследование позволяет утверждать, что вязкоупругие демпферы представляют собой один из наиболее сбалансированных инструментов управления динамической реакцией железобетонных каркасов. Их применение снижает амплитуду резонансных колебаний без радикального увеличения материалоемкости конструкции, что особенно важно для сейсмоопасных регионов России, подпадающих под требования СП 14.13330.2018 [12]. Сопоставление с альтернативными технологиями – демпферами сухого трения, металлопластическими и инерционными системами – показывает, что вязкоупругие устройства отличаются наибольшей стабильностью характеристик при длительной циклической эксплуатации. В работе построена математическая модель динамической задачи исследования колебательного движения каркаса, оптимизации параметров демпфирования при варьировании коэффициента демпфирования, преднатяжения, предельных значений перемещений.

Практическая значимость работы состоит в систематизации критериев подбора, параметров управления и построении оптимизационной модели демпфирующих систем. Дальнейшие исследования целесообразно направить на

численные эксперименты, уточнение математических моделей демпфирования с учетом реологических свойств железобетона в колебательных режимах, а также на разработку экономически доступных вязкоупругих устройств для массового строительства – сегмента, где потенциал технологии реализован пока далеко не полностью.

**Библиографический список:**


1. Исаков Э.Х..Пирназаров И.М. Ниязов В.Р. Облокулова С. Активная сейсмическая защита зданий и сооружений, разработка новых конструктивных решений // КиберЛенинка. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aktivnaya-seysmicheskaya-zaschita-zdaniy-i-sooruzheniy-razrabotka-novyh-konstruktivnyh-resheniy

2. Патент РФ № 1 689 693 на изобретение «Вязкоупругий демпфер», зарегистрированным в ГОСРЕЕСТРЕ 10.01.1994 г. Высоковязкие демпферы // ЦВС. URL: https://cvs.spb.su/ru/ru-dampers.html

3. Белаш Т.А. Исследование влияния рядом стоящих зданий с различными конструктивными схемами на их сейсмостойкость // Известия Петербургского университета путей сообщения. /2015., №3

URL:https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-ryadom-stoyaschih-zdaniy-s-razlichnymi-konstruktivnymi-shemami-na-ih-seysmostoykost

4. Мин К.К, Тарануха Н.А., Сысоев О.Е. Математическая модель определения коэффициента демпфирования для конструкционных материалов // Вестник инженерной школы ДВФУ, 2024, №3(60)., URL: https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-opredeleniya-koeffitsienta-dempfirovaniya-dlya-konstruktsionnyh-materialov/pdf

5. Выскребенцева Н.А., Ву Ле Куен, Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник

Дона, 2019, №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-seysmogasheniya-i-seysmoizolyatsii-s-primeneniem-spetsialnyh-ustroystv

6. Баляков Д.Ф. Модели демпфирования механических колебаний // Решетневские чтения. 2016. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-dempfirovaniya-mehanicheskih-kolebaniy

7. Белаш Т.А. Особенности строительства и эксплуатации сейсмостойких зданий // Транспортное промышленное и гражданское строительство. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-stroitelstva-i-ekspluatatsii-seysmostoykih-zdaniy

8. Мурадян Г.К., Геворкян А. К. Применение демпферных устройств как способ повышения сейсмической стойкости многоэтажных зданий, возводимых методом подъема этажей // Наука XXI века., 2017., №5. /URL: https://nauka21veka.ru/articles/arkhitektura/primenenie-dempfernykh-ustroystv-kak-sposob-povysheniya-seysmicheskoy-stoykosti-mnogoetazhnykh-zdani-1494572710/

9. Зыбин И.К., Попов А.О., Сорокина Е.Н. Применение демпферов для повышения сейсмостойкости / Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник // ID-YUG. 2022. № 4. С. 123-128. URL: https://www.id-yug.com/images/id-yug/SET/2022/4/2022-4-123-128.pdf

10. Информационный онлайн-ресурс «**arhplan.ru».** Системы сейсмозащиты зданий с повышенным демпфированием // ARHPLAN.ru. URL: https://www.arhplan.ru/buildings/seismic/systems-with-high-damping

11. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция СНиП II-7-81*). URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293736/4293736459.htm.

12. Шеин А.И., Быков А.Н. Перекрестные системы связей с гидроцилиндрами для защиты железобетонных промышленных каркасов// Региональная архитектура и стптроительство/ 2026, №2(67)/, С. 97-108.

13. Shein A. I., Chumanov A. V., Zemtsova O. G., and Bykov A. N.. Determination of the Parameters of a Band-Rope Damper with a Torsion Bar or a Single-Acting Hydraulic Cylinder.//Springer nature.com. Seismic Instruments. 61, 391–395 (2025). https://doi.org/10.3103/S0747923925700513

14. A. I. Shein, M. B. Zaitsev, A. V. Chumanov, O. G. Zemtsova, and A. N. Bykov. Active Vibration Dampers of Buildings and Structures Operated under the Reactive Jet Principle // Springer nature.com. Seismic Instruments. *Сейсмостой. Сооруж.* 61, 387–390 (2025).
https://doi.org/10.3103/S0747923925700501

15. Shein, A. Damping seismic vibrations in high-rise buildings using controlled reactive dampers. / Shein, A., Zaitsev, M., Tamrazyan, A., Matseevich, T. (2025). // Architecture and Engineering, No 3 (10), pp. 86–95.
DOI: 10.23968/2500-0055-2025-10-3-86-95.

16. Шеин А.И. Современное состояние проблемы гашения колебаний зданий и сооружений/ Шеин А.И., Быков А.Н.//Региональная архитектура и строительство. 2025. № 3 (64). С. 87-96.
DOI 10.54734/20722958_2025_3_87

17. Шеин А.И. Уравнения движения системы «сооружение – перекрестные демпфирующие связи» при сейсмических возмущениях / Шеин А.И., Быков А.Н. //Региональная архитектура и строительство. 2025. № 2 (63). С. 150-96. DOI 10.54734/20722958_2025_2_150