

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 2. С. 113–122.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (2): 113–122.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.07

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-113-122

EDN: IINRSB

КОНЦЕПЦИЯ СМЕШАННОГО РЕШЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Владислав Валентинович Токарчук, Никита Яковлевич Цимбельман
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В настоящее время существуют обоснованные причины нецелесообразности применения большепролётных сооружений или отдельных сложных конструктивных решений на сейсмоопасных территориях в силу высокой стоимости строительства. Вместе с тем большепролётные сооружения обладают высоким функциональным, эксплуатационным и экономически выгодным потенциалом, поэтому полный отказ от большепролётных сооружений, в том числе и уникальных, в регионах со сложными климатическими условиями и высокой сейсмичностью не всегда оправдан, а задача возведения таких конструкций остается актуальной.

Настоящая статья посвящена проблеме разработки способа защиты большепролётных сооружений от экстремальных особых воздействий и нагрузок – концепции смешанного решения регулирования напряженно-деформированного состояния большепролётных конструкций.

Целью работы является обоснование необходимости разработки специальной системы защиты сооружений, возводимых в том числе на сейсмических и удаленных территориях, от особых воздействий и нагрузок. Такая система представляет собой комбинированное решение, заключающееся в совместном применении системы сейсмоизоляции и системы управления напряженно-деформированным состоянием конструкций.

Результаты. Произведён обзор существующих ограничений в возможности возведения большепролётных сооружений на сейсмических территориях. Эти ограничения накладываются условиями строительства и закреплены в действующей нормативной базе.

В качестве основного способа защиты сооружений от возможных особых экстремальных нагрузок и воздействий предлагается применение систем сейсмоизоляции и систем управления напряженно-деформированным состоянием как по отдельности, так и совместно в единой системе. Рассматриваются существующие наработки в области сейсмоизоляции и в системах управления напряженно-деформированным состоянием.

Выводы. В заключение приводится перечень основных задач, которые необходимо решить в ходе разработки и проектирования системы защиты сооружения на основе концепции смешанного решения.

Ключевые слова: строительство на сейсмических территориях, напряженно-деформированное состояние, большепролётные сооружения, регулирование усилий, управление усилиями, управляемые конструкции, системы сейсмоизоляции

Для цитирования: Токарчук В.В., Цимбельман Н.Я. Концепция смешанного решения регулирования напряженно-деформированного состояния большепролётных конструкций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 113–122. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-113-122. EDN: IINRSB

ORIGINAL ARTICLE

CONCEPT OF COMBINED STRAIN-STRESS STATE CONTROL OF LONG SPAN STRUCTURES**Vladislav V. Tokarchuk, Nikita Ya. Tsimbel'man***Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*

Abstract. Purpose: Argumentation of necessity of special protective system design to protect structures in seismic zones and remote areas from specific loads. Such protective system combines seismic isolation and internal force control systems.

Research findings: Restrictions of long-span structures construction are reviewed. Such restrictions are caused by building conditions embodied in National Building Codes and Standards. Combined and separate use of seismic isolation and internal force control systems is a critical specific load protection. Present inventions and experience in the field of seismic isolation and internal force control systems are reviewed.

Value: The article determines problems of protective system design based on the control for combined strain-stress state.

Keywords: construction in seismic zones, strain and stress state, long-span structures, internal force regulation, internal force control, controlled structures, seismic isolation systems

For citation: Tokarchuk V.V., Tsimbel'man N.Ya. Concept of combined strain-stress state control of long span structures. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (2): 113–122. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-113-122. EDN: IINRSB

Существующие ограничения конструктивных решений зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах

Возможность возведения большепролётных сооружений промышленного и гражданского назначения, транспортных сооружений (мостовых переходов и эстакад) на сейсмоопасных территориях существенно ограничена. Объективными ограничениями при проектировании и строительстве зданий и сооружений на сейсмических территориях является невозможность восприятия конструкциями усилий без разрушения и превышения допустимых деформаций, а также нецелесообразность строительства ввиду экономической неэффективности. Последняя из групп причин в современных условиях преодолевается соответствующим экономическим обоснованием конкретного инвестиционного проекта, поскольку часто сравнительно высокая ожидаемая доходность либо государственные репутационные задачи оправдывают значительные вложения в строительство. Это особенно характерно для государственных проектов улучшения инфраструктуры добывающей промышленности и транспортной инфраструктуры на удалённых территориях, которые нередко являются сейсмоопасными. Согласно карте ОСР-2016А, до 27,6 % (для ОСР-2016В – до 32,3 %)¹ территории РФ относятся к сейсмически опасным

¹ СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва: Стандартинформ, 2018; Уломов В.И., Богданов М.И., Трифонов В.Г. и др. Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населённых пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах. 12 с.

регионам, в том числе районы Восточной Арктики и Субарктики (Курильские острова, о. Сахалин, п-ов Камчатка и др.).

Основные требования к проектированию зданий и сооружений на сейсмических территориях установлены СП 14.13330.2018. Наиболее значимым условием, ограничивающим спектр применяемых типов конструктивных решений, является сейсмичность района строительства, определяющая интенсивность сейсмического воздействия на конструкции зданий и сооружений. В зависимости от назначения зданий и сооружений, согласно табл. 5.3 СП 14.13330.2018, производится выбор комплекта карт общего сейсмического районирования (ОСР), по которым определяется нормативная сейсмичность участка строительства (7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64). Это значение может быть скорректировано в зависимости от грунтовых условий площадки строительства (табл. 5.1 СП 14.13330.2018). Уточнение сейсмичности возможно по результатам проведения детального сейсмического районирования, а также при применении требований региональных нормативных документов: например, согласно Постановлению Администрации Приморского края², сейсмичность отдельных районов г. Владивостока выше, чем фоновая сейсмичность столицы ДФО, указанная в СП 14.13330.2018.

Дополнением к первому условию, ограничивающему выбор применяемых конструктивных решений, является обязательное использование в ходе выполнения расчёта сооружения расчётных коэффициентов (коэффициент надёжности по ответственности γ_n по ГОСТ 27751–2014³, коэффициент ответственности K_o (СП 14.13330.2018)), увеличивающих значения нагрузок, в том числе и интенсивность сейсмического воздействия, а значит, приводящих к росту материалоёмкости конструкций сооружения. Согласно ГОСТ 27751–2014, коэффициент надёжности по ответственности γ_n для сооружений класса КС-3 (с пролётами более 100 м и консолями, имеющими вылет более 20 м) равен 1,1, а для сооружений с пролётом более 120 м – 1,2. Согласно табл. 5.1 СП 14.13330.2018, коэффициент ответственности K_o для сооружений с пролётами более 60 м равен 1,1 и для сооружений с пролётами более 100 м – 1,2.

Вторая группа условий изложена в табл. 6.1а – 6.1д СП 14.13330.2018, где перечислены предельные конструктивные требования, ограничивающие высоту сооружений и их размеры в плане в зависимости от типа и материала несущих конструкций. Например, согласно п. 8 табл. 6.1а, на площадке с сейсмичностью 9 баллов невозможно возведение склада из деревянных конструкций с высотой стоек (до низа стропильных конструкций) более 8 м. Однако подобные конструктивные ограничения для большепролётных конструкций в нормативной документации отсутствуют.

На основе совокупности требований нормативных документов выполняется расчёт, в ходе которого производится подбор требуемых сечений несущих конструкций зданий и сооружений. Завершающая часть этого этапа проектирования даёт ответ на вопрос о возможности применения большепролётных кон-

² Постановление Администрации Приморского края от 21 декабря 2016 года № 593-па «Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования в Приморском крае».

³ ГОСТ 27751–2014. Надёжность строительных конструкций. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2019.

струкций или иных сложных конструктивных решений в конкретных условиях. В отдельных расчётных случаях подбор сечений несущих конструкций не будет возможен ввиду отсутствия подходящих профилей в существующем сортаменте, а перечень применяемых материалов не позволит обеспечить прочность и устойчивость конструкций. В иных случаях значительная материалоемкость, обусловленная расчётом, повысит стоимость конструкций, за которой последует увеличение сложности осуществления и стоимости доставки строительных материалов при условии их доступности. Для монтажа тяжелых и объёмных конструктивных элементов необходимо применение мощных грузоподъёмных механизмов, которые тоже нужно доставить на строительную площадку. Дополнительные сложности в планировании строительства может внести недостаточная развитость транспортной инфраструктуры.

Естественным образом формируется вывод о нецелесообразности применения большепролётных сооружений или отдельных сложных конструктивных решений на сейсмоопасных территориях в силу высокой стоимости строительства. Однако подобные сооружения обладают большим функциональным, эксплуатационным и экономически выгодным потенциалом, поэтому полный отказ от большепролётных сооружений, в том числе и уникальных, в регионах со сложными климатическими условиями и высокой сейсмичностью нецелесообразен, а задача возведения таких конструкций остается актуальной. Ряд специальных мер, перечисленных в следующем разделе, может способствовать расширению области применения большепролётных конструкций.

Направления расширения области применения большепролётных конструкций

Значительный вклад в переоценку возможности строительства большепролётных сооружений на сейсмических территориях может внести применение специальных мер, повышающих сейсмостойкость большепролётных конструкций. Следует выделить три связанных с этим основных направления: снижение интенсивности нагрузок и воздействий на входе в расчётную систему (увеличение уровня демпфирования системы), регулирование усилий в элементах конструкций (принудительное изменение напряжённо-деформированного состояния) и применение смешанного решения, включающего элементы первых двух направлений.

Снижение величины и характера нагрузок и воздействий на входе в расчётную систему

Снижение величины нагрузок и воздействий на входе в расчётную систему является широко распространённым методом повышения сейсмостойкости зданий и сооружений. Достичь снижения сейсмического воздействия на сооружения можно путем применения систем сейсмоизоляции сооружений. Система сейсмоизоляции в общем случае представляет собой совокупность специальных элементов, снижающих сейсмическое воздействие на конструкции. Основное место расположения специальных сейсмоизолирующих элементов в сооружении – узлы контакта фундаментов с надфундаментными конструкциями, поскольку в этой зоне возникает передача сейсмических воздействий от среды (грунтовое основание сооружения) к конструктивным элементам сооружения.

Простейшим методом сейсмоизоляции сооружений считается устройство демпфирующих прослоек между основанием сооружения и фундаментом. В качестве первых демпферов-прослоек применялись подушки из гончарной глины [1], горизонтальные швы из тощего лессового раствора с песком [2] и камышовые пояса [1]. Демпферы-прослойки позволяли частично рассеять энергию землетрясения и тем самым снизить нагрузку на вышерасположенные несущие конструкции здания.

Принцип работы демпферов-прослоек был развит в сейсмоизолирующих фундаментах. Сейсмоизолирующие фундаменты являются широко применяемым решением, принцип действия которого основан на демпфировании энергии землетрясения. Согласно работе [3], сейсмоизолирующие фундаменты относятся к системам стационарной сейсмоизоляции. Разделять сейсмоизолирующие фундаменты можно на две основные группы (по наличию или отсутствию усилия, возвращающего сейсмоизолированную часть сооружения в исходное положение). Первая группа – упругие и кинематические опоры гравитационного типа (предусмотрена возможность возвращающего усилия). Вторая группа – скользящие пояса (возвращающая сила отсутствует). Конструктивные исполнения таких фундаментов различны. Современная строительная индустрия имеет значительный опыт успешного применения систем сейсмоизоляции [4; 5, с. 195–206], в числе которых используют резинометаллические опоры [5, 6, 7], кинематические опоры В.В. Назина [8], А.В. Курзанова [9], Ю.Д. Черпинского [10], скользящие пояса С.В. Полякова [11]. Исследования систем сейсмоизоляции принадлежат Я.М. Айзенбергу [12], И.Л. Корчинскому, Т.Ж. Жунусову [13], В.Л. Мондрусу [14] и др.

Регулирование усилий в элементах конструкций

Разрушение элементов конструкций происходит от возникновения в них критических усилий (реакций) [15]. Для снижения значений усилий в элементах конструкций до докритических можно произвести ввод противоусилия или контрусил (контрнагрузки). Такой принцип наиболее известен как ввод предварительного напряжения. Широкое распространение предварительное напряжение получило в железобетонных конструкциях. Реже предварительное напряжение применяют в стальных конструкциях. В предварительном напряжении ввод контрусил представляет собой разовое вводимое регулирование на максимальную нагрузку заранее и навсегда (например, натяжение арматуры на бетон в построечных условиях или натяжение арматуры на упоры в заводских условиях). Но существует направление, которое предполагает регулирование усилий в процессе эксплуатации конструкций, т. е. регулирование усилий во времени. Основоположниками принципиально нового направления являются А.В. Перельмутер [16] и Н.П. Абовский [17], в трудах которых прослеживается последовательное развитие исследований от регулирования напряженно-деформированного состояния (НДС) к управлению им.

Основными достижениями в изучении вопросов регулирования НДС конструкций являются примененные на практике поэтапные методы проектирования с детальным изучением НДС сооружения на разных этапах жизненного цикла с последующим внесением изменений в расчётную схему с целью

создания безаварийных некритических условий для работы сооружения и снижения его материалоемкости⁴ [18, 19, 20].

Принципиальным отличием активного управления НДС от регулирования НДС (и от принципов преднапряжения) является контроль значения вводимой «контрнагрузки» в элементы сооружения на основании воздействующих на сооружение нагрузок и текущего НДС сооружения. Таким образом, контрнагрузка вводится во время эксплуатации сооружения, а не перед или во время создания конструкции, как это происходит в случае предварительно напряженных конструкций. Значения контрнагрузки изменяются во времени и обоснованы данными, получаемыми в реальном времени с использованием системы датчиков деформаций, установленных на сооружении в критических точках. Обработку данных производят электронно-вычислительные машины (ЭВМ), далее ЭВМ автоматически принимает решение о вводе ответной реакции, которая защитит конструкцию от разрушения – введёт контрнагрузку. В отдельных случаях обработку данных может осуществлять оператор (человек). Совокупность совместно функционирующих ЭВМ, датчиков, фиксирующих текущее НДС сооружения, каналов передачи информации и устройств для ввода контрнагрузки называется системой управления напряженно-деформированным состоянием.

Основными достижениями в области управления НДС сооружений является разработка ряда систем и устройств, способных управлять НДС сооружения в автоматическом режиме с помощью ЭВМ. Существует ряд принципиальных схем и опытных изделий, общие принципы работы которых отражены в следующих патентных материалах:

1. Патент на изобретение RU 2770026. Регулируемая конструкция фермы (Бандурин М.А. и др., 2021). Изобретение состоит из фермы, стержни которой объединены в треугольные группы, стержни снабжены тензодатчиками, информация с тензодатчиков передается на блок управления. Каждый стержень выполнен из двух частей, соединенных муфтой-компенсатором, муфта снабжена приводом, который запускается управляемым двигателем по сигналу с блока управления. Муфты-компенсаторы позволяют с помощью прокручивания стержней изменять их длину в небольших пределах, тем самым равномерно перераспределять усилия между стержнями в ферме.

2. Патент на изобретение RU 2073839. Способ повышения несущей способности многопролетной неразрезной балки и устройство для осуществления предлагаемого способа (Абовский Н.П. и др., 1993). На многопролетную неразрезную балку установлены датчики деформаций, передающие информацию на ЭВМ. При действии на балку переменной по величине и точке приложения нагрузки ЭВМ передает сигнал на опоры, смещающиеся в поперечном направлении, тем самым повышая несущую способность балки.

3. Патент на изобретение RU 2122188. Способ автоматического управления несущей способностью многопролетной неразрезной балки и устройство для его реализации (Абовский Н.П. и др., 1997). Изобретение является

⁴ Поляков Е.В. Регулирование НДС строительных конструкций при статических и динамических нагрузках: направление 08.04.01 «Строительство»: выпускная квалификационная работа (диссертация магистра). Красноярск, 2022. 111 с.

модернизированной версией изобретения, описанного в п. 2. Улучшение системы достигнуто введением автоматизированного управления конструкции с помощью ЭВМ с нейропрограммой (встроенной нейросетью).

Продолжение научных исследований систем управления НДС конструкций, последующее их практическое использование и приспособление для большепролётных сооружений позволят расширить область применения большепролётных сооружений, в том числе на сейсмических территориях.

Концепция смешанного решения

Высокий уровень защиты большепролётных сооружений от сейсмического воздействия может быть обеспечен путём применения смешанного решения: совместного использования системы сейсмоизоляции и системы управления НДС конструкций. В случае возникновения сейсмического воздействия применение сейсмических демпферов позволит рассеять часть сейсмического воздействия, а нерассеявшаяся часть, прошедшая в сооружение, будет равномерно распределена по нему с помощью системы управления НДС. Одновременное действие систем сейсмоизоляции и управления НДС позволит достичь наибольшего защитного эффекта при появлении критических усилий в его элементах, возникающих от сейсмических воздействий. Таким образом будет обеспечена минимально необходимая материалоемкость сооружения, возводимого на сейсмических территориях (или в зоне действия иных особых воздействий), с целью его надёжной и безаварийной эксплуатации.

Выводы

Перечень основных задач в части применения систем сейсмоизоляции в составе концепции смешанного решения:

- изучение существующих систем сейсмоизоляции большепролётных сооружений;
- разработка методики выбора наиболее подходящих для большепролётных сооружений систем сейсмоизоляции, способных функционировать совместно с системами управления НДС.

Управление НДС, являющееся одной из составных частей смешанного решения, в сравнении с системами сейсмоизоляции, представляет собой сравнительно слабо развитое направление, основу которого составляют концептуальные идеи, принципиальные схемы и опытные установки, применение которых не доведено до практической реализации.

Для создания пригодной к использованию при проектировании большепролётных сооружений системы управления НДС в составе концепции смешанного решения необходима проработка следующих вопросов:

- изучение существующих наработок в области управления НДС, пригодных для работы совместно с наиболее эффективными системами сейсмоизоляции;
- поиск или разработка наиболее эффективных и практически применимых способов изменения НДС сооружений;
- разработка методики определения и назначения критических точек (и их количества) в системе (сооружении) для установки датчиков изменения НДС;
- создание методики определения и назначения точек (и их количества) в системе для установки устройств управления НДС;

- определение минимально допустимых скоростей обработки сигналов, идущих от датчиков к ЭВМ, в системах управления НДС;
- определение минимально допустимых скоростей ввода реакций в элементы конструкций из условий обеспечения их работоспособности;
- определение минимальных скоростей видоизменения системы в ходе управления НДС из условий обеспечения её работоспособности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кириков Б.А. Древнейшие и новейшие сейсмостойкие конструкции. Москва : Наука, 1990. 72 с.
2. Смирнов В.И. Сейсмоизоляция – современная антисейсмическая защита зданий в России // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 4. С. 41–54.
3. Маковецкий О.А., Карнаухова М.Ю., Кашеварова В.А., Кузнецова Ю.А., Лезина К.С. Конструктивные методы защиты зданий при сейсмических воздействиях // Вестник ПТО РААСН. 2018. № 21. С. 187–194.
4. Выскребенцева М.А., Ву Ле Куен. Методы сейсмогашения и сейсмоизоляции с применением специальных устройств // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. С. 23–53.
5. Мустахимов В.Р. Проектирование сейсмостойких зданий. Казань : Изд-во КГАСУ, 2016. 344 с.
6. Саргсян А.Е., Джинчвелашвили Г.А. Оценка сейсмостойкости и сейсмоустойчивости сооружений с сейсмоизолирующими опорами // Транспортное строительство. 1998. № 11. С. 19–23.
7. Мкртычев О.В., Мкртычев А.Э. Анализ эффективности резинометаллических опор при строительстве высотных зданий в сейсмических районах // Вестник НИЦ «Строительство». 2017. № 2. С. 126–137.
8. Назин В.В. Индустриализация строительства сооружений сейсмостойкой конструкции. Киев : Будивельник, 1977. 92 с.
9. Курзанов А.В., Ахмедов А.М. Натурные исследования трехэтажного фрагмента и пятиэтажного здания на сейсмоизолирующих опорах // Экспресс-информация ВНИИТПИ. Сер. Сейсмостойкое строительство. 1994. № 2–3. С. 24–32.
10. Жунусов Т.Ж., Черепинский Ю.Д., Горовиц И.Г. Активная сейсмозащита зданий и сооружений. Алма-Ата : Изд-во КазНИИТИ, 1985. 34 с.
11. Поляков С.В. Опыт возведения зданий с сейсмоизолирующим скользящим поясом в фундаменте. Москва : Стройиздат, 1984. 32 с.
12. Айзенберг Я.М. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. Москва : Наука, 1978. 246 с.
13. Корчинский И.Л., Жунусов Т.Ж. Кардинальные вопросы сейсмостойкого строительства. Алма-Ата : Изд-во: Казпромстройинипроект, 1988. 131 с.
14. Курбацкий Е.Н., Мондрус В.Л., Пестрякова Е.А. К вопросу о корректном задании исходной сейсмической информации // Строительные науки. 2021. № 1. С. 134–143.
15. Стоценко А.А., Доценко С.И., Мальков Н.М., Белоконов М.А. Курс теории сооружений. В 3 частях. Ч. 1. Теория сооружений в инженерном деле. Концепция сил в строительной механике. Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 1994. 175 с.
16. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. Киев : Изд-во УФИМБ, 1998. 148 с.
17. Абовский Н.П. Управляемые конструкции – САУ НДС. Красноярск : Изд-во КИСИ, 1995. 125 с.
18. Корнеев М.М. Стальные мосты: Теоретическое и практическое пособие по проектированию мостов в двух томах. Киев : Академпресс, 2010. Т. 1. 532 с.
19. Ситников И.Р., Голиков А.В. Регулирование усилий в большепролётных конструкциях при разработке рациональной конструктивной формы здания дельфинария в Волгограде // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. № 14 (4). С. 278–292.
20. Беленя Е.И. Металлические конструкции. Москва : Стройиздат, 1982. 472 с.

REFERENCES

1. Kirikov B.A. The oldest and latest earthquake-resistant structures. Moscow: Nauka, 1990. 72 p. (In Russian)
2. Smirnov V.I. Seismic isolation as modern anti-seismic building protection in Russia. *Seismostoitkoie stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2013; (4): 41–54. (In Russian)
3. Makovetskii O.A., Karnaukhova M.Yu., Kashevarova V.A., Kuznetsova Yu.A., Lezina K.S. Structural protection of buildings under seismic loads. *Vestnik PTO RAASN*. 2018; (21): 187–194. (In Russian)
4. Vyskrebentseva M.A., Vu Le Kuen. Methods of seismic damping and insulation using special devices. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019; (1): 23–53. (In Russian)
5. Mustakimov V.R. Design of earthquake-resistant buildings. Kazan: KGASU, 2016. 344 p. (In Russian).
6. Sargsyan A.E., Dzinchvelashvili G.A. Seismic and earthquake resistance of structures with seismic isolating supports. *Transportnoe stroitel'stvo*. 1998; (11): 19–23. (In Russian)
7. Mkrtychev O.V., Mkrtychev A.Eh. Analysis of effectiveness of rubber-metal supports in construction of high-rise buildings in seismic areas. *Stroitel'stvo*. 2017; (2): 126–137. (In Russian)
8. Nazin V.V. Industrialization of earthquake-resistant structure construction. Kiev: Budivel'nik, 1977. 92 p. (In Russian)
9. Kurzanov A.V., Akhmedov A.M. Field studies of three-story fragment and five-story building on seismic isolating supports. *Ehkspress-informatsiya VNINTPI. Ser. Seismostoitkoie stroitel'stvo*. 1994; (2–3): 24–32. (In Russian)
10. Zhunusov T.Zh., Cherepinskiy Yu.D., Gorovits I.G. Active seismic protection of buildings and structures. Almaty, 1985. 34 p. (In Russian)
11. Polyakov S.V. Experience in building construction with seismic isolating sliding belt in the foundation. Moscow: Stroiizdat, 1984. 32 p. (In Russian)
12. Aizenberg Ya.M. Adaptive systems for seismic protection of structures. Moscow: Nauka, 1978. 246 p. (In Russian)
13. Korchinskiy I.L., Zhunusov T.Zh. Fundamental issues of earthquake-resistant construction. Almaty: Kazpromstoiniiproekt, 1988. 131 p. (In Russian)
14. Kurbatskii E.N., Mondrus V.L., Pestryakova E.A. Correct specification of initial seismic load. *Stroitel'nye nauki*. 2021; (1): 134–143. (In Russian)
15. Stotsenko A.A., Dotsenko S.I., Mal'kov N.M., Belokon' M.A. Theoretic course on structures. Part 1: Theory of structures in engineering. Concept of forces in structural mechanics, in 3 parts. Vladivostok, 1994. 175 p. (In Russian)
16. Perel'muter A.V. Control for load-bearing structure behavior. Kiev, 1998. 148 p. (In Russian)
17. Abovskii N.P. Controllable structures. Krasnoyarsk, 1995. 125 p. (In Russian)
18. Korneev M.M. Steel bridges: Theoretical and practical guide to bridge design, in 2 Vol. Vol. 1. Kiev: Akadempress, 2010. 532 p. (In Russian)
19. Sitnikov I.R., Golikov A.V. Regulation of forces in long-span structures in developing rational structural form of dolphinarium in Volgograd. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktssii i sooruzhenii*. 2018; 14 (4): 278–292. (In Russian)
20. Belenya E.I. Metal structures. Moscow: Stroiizdat, 1982. 472 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Токарчук Владислав Валентинович, аспирант, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, tokarchuk.vv@dvfu.ru

Цимбельман Никита Яковлевич, канд. техн. наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, tsimbelman.nya@dvfu.ru

Authors Details

Vladislav V. Tokarchuk, Research Assistant, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, 690922, Russky Island, Vladivostok, Russia, tokarchuk.vv@dvfu.ru

Nikita Ya. Tsimbel'man, PhD, A/Professor, Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, 690922, Russky Island, Vladivostok, Russia, tsimbelman.nya@dvfu.ru

Вклад авторов

Токарчук В.В. – сбор и обзор литературных сведений, написание статьи, научное редактирование текста, подготовка к публикации.

Цимбельман Н.Я. – формулировка идеи статьи, дополнение литературных сведений, научное редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Tokarchuk V.V. literature review, writing – review and editing and original draft preparation.

Tsimbel`man N.Ya. conceptualization, writing – review and editing.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.01.2024
Одобрена после рецензирования 13.02.2024
Принята к публикации 19.03.2024

Submitted for publication 04.01.2024
Approved after review 13.02.2024
Accepted for publication 19.03.2024