

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук  
кандидат технических наук, доцент



 Каминский В.Ю.

« 13 » сентября 2023 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук на диссертационную работу

### Поддаевой Ольги Игоревны

**«Основы обеспечения техносферной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры в пределах жизненного цикла»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.10 – Техносферная безопасность транспортных систем

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность темы настоящего исследования определяется той ролью, которую транспорт традиционно занимает в народном хозяйстве развитых стран. Проблемы в функционировании транспортной инфраструктуры негативным образом отражаются на существовании государства, разрушая экономику и социальные связи. Вместе с тем, объекты транспортной инфраструктуры отличаются высокими рисками, проявляющимися при эксплуатации, строительстве и других этапах жизненного цикла. К сожалению, аварии и разрушения объектов транспортной инфраструктуры являются обычным явлением, в то время как обеспечение их безопасного функционирования является одной из приоритетных задач РФ, что отражено в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

Изложенное подчеркивают актуальность заявленной темы и необходимость решения ряда задач, направленных на обеспечение техносферной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры на различных этапах жизненного цикла, включая проектирование, строительство и эксплуатацию рассматриваемых объектов.

### 2. Оценка содержания диссертация и ее завершенность

Диссертационная работа соискателя состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем исследовательской работы составляет 270 машинописных страниц, основной текст изложен на 236 страницах, содержит 168 рисунков и 11 таблиц. Список литературы включает 227 наименований.

**Введение** содержит обоснование актуальности темы исследования, степень ее разработанности, апробацию результатов научных исследований, а также теоретическую,

практическую значимость и научную новизну. Приведена информация о достаточности публикаций результатов работы, сформулированы цель и задачи исследования.

В **первой главе** установлено и подтверждено инженерными примерами поведения реальных конструкций, что техносферные воздействия, основанные на ветровых и сопутствующих воздействиях (воздействие агрессивных сред, влаги, снега, гололедной нагрузки, химически активных воздействий, ветровые потоки с абразивными частицами и т.д.) являются одной из причин аварий и катастроф различных сооружений. Недоучет подобной нагрузки и аэродинамической неустойчивости требует изучения отдельной группы причин катастрофических процессов.

Установлено, что при проектировании, строительстве и эксплуатации требуется предпринимать меры по снижению риска ветровых, снеговых и гололедно-изморозевых воздействий на различных объектах. В данном разделе представлена основная информация о перечисленных явлениях в контексте возможностей моделирования с помощью подходов, представленных в следующих разделах.

Обзор литературных источников с результатами испытаний в аэродинамических трубах позволил установить, что реакции сооружения на вихревой резонанс усиливаются по мере того, как ограждения становятся все более заблокированы снегом или льдом.

В разделе сделан обоснованный вывод, что основной проблемой действия наледи и снега становится аэродинамическая устойчивость мостовых переходов, а не увеличение нагрузки от ветра.

Рассматриваемые критически важные объекты транспортной инфраструктуры предлагается разделять на типы в зависимости от высоты, длины пролета, типа расчетной схемы, ограждающих конструкций, характера динамических воздействий и производственно-эксплуатационных процессов на объекте и в непосредственной близости от него.

Предложена система классификации техносферных воздействий, основанных на ветровых и сопутствующих воздействиях (воздействие агрессивных сред, влаги, снега, гололедной нагрузки, химически активных воздействий, ветровые потоки с абразивными частицами и т.д.) на критически важные объекты транспортной инфраструктуры, на основе которой сформулирован подход к оценке таких воздействий и возможных сценариев поведения исследуемого объекта на различных этапах его жизненного цикла.

Во **второй главе** представлена методика моделирования климатических воздействий на различные объекты транспортной инфраструктуры, основанная на экспериментальных исследованиях, включающих теоретико-экспериментальное моделирование и создание физических макетных образцов для проведения натурных экспериментов. Методика включает статистический анализ климатических воздействий для получения дополнительных статистических данных о климатических воздействиях, необходимых для предварительного климатического анализа района строительства объекта транспортной инфраструктуры. Методика состоит из статистического анализа экстремальных ветровых воздействий и дополнительного статистического анализа высоты снежного покрова, основанные на анализе двумерных частотных распределений с использованием статистики хи-квадрат.

Для моделирования снегопереноса в работе предложено использование модельного материала, для которого оценивается возможность его перемещения по поверхности макетной модели. Удержание модельного порошка на поверхности исследуемой кровли должно быть идентичным натурным условиям. По результатам выполненного

эксперимента, а также инженерного анализа нормативных схем распределения снеговой нагрузки выполняется назначение снеговой нагрузки с учетом преобладающих направлений ветра в районе строительства.

Методика адаптирована для группы объектов транспортной инфраструктуры: зданий вокзалов, аэропортовых комплексов, терминалов канатных дорог, ТПУ; мачт освещения и других решетчатых ветропроницаемых сооружений; большепролетных мостовых сооружений.

**Третья глава** посвящена апробированию разработанной в главе 2 методики проведения теоретико-экспериментального моделирования на конкретных примерах критически важных объектов транспортной инфраструктуры.

Предложен и апробирован комплекс моделей для описания динамического поведения критически важных объектов транспортной инфраструктуры, включая мостовые переходы, с учетом техносферных воздействий различного типа (рассматриваются снеговые, ветровые, гололедные, температурные воздействия, воздействия агрессивных сред в различном агрегатном состоянии, переносимых ветровыми потоками), в его основе лежат экспериментальные и аналитические вычислительные схемы.

Сформулированы и расчетно подтверждены положения оптимизации предложенного подхода, например, требуется сопоставление полученной амплитуды колебаний с предельно допустимыми значениями, определенными в рамках прочностного расчета.

На основании результатов проведенных испытаний проектировщику выдаются рекомендации по корректировке конструкции объекта транспортной инфраструктуры и отдельных ее элементов, по использованию аэродинамических обтекателей и др.

Приведенная методика позволяет не только определить значения аэродинамических коэффициентов, но и оценить возможность возникновения вихревого резонансного возбуждения. Предложенный метод оценки возможности возникновения аэроупругой неустойчивости типа вихревого резонанса, основанный на изучении потока за моделью, позволяет избежать изготовления динамически подобной модели, что существенно ускоряет изыскания в период выполнения проектных работ.

Для зданий с протяженными кровельными покрытиями по результатам серии испытаний составлены схемы распределения снеговой нагрузки при изменении угла ветра от 0 до 315 градусов с шагом 45 градусов.

Выполнена оценка возникновения явления аэроупругой неустойчивости типа бафтинг для спаренных пролетных строений, расположенных на минимальном расстоянии друг от друга (менее 1 м). Проведены исследования динамического поведения большепролетных мостовых конструкций при различных углах скольжения ветрового потока, различной проницаемости защитных экранов, а также различной величины логарифмического декремента затухания колебаний.

Проведенные исследования позволили расширить перечень опасных факторов, влияющих на техносферную безопасность критически важных объектов транспортной инфраструктуры на различных этапах их жизненного цикла.

В **четвертой главе** предложен и апробирован на нескольких разнотиповых (по классификации из первого раздела) критически важных объектов транспортной инфраструктуры инженерный метод верификации результатов теоретико-экспериментального моделирования. Применение метода верификации совместно с современными информационно-вычислительными комплексами и экспериментальными

исследованиями физических моделей позволяет решить многие задачи техносферных воздействий методами экспериментального моделирования, которые не уступают по достоверности аналогичным результатам натурных исследований.

Реализация предлагаемых подходов на этапе проектирования на 40% увеличивает эксплуатационный этап жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры.

Хотя рассмотренная методика не затрагивает влияния тепловых потоков на таяние снега и унос некоторой массы атмосферных осадков, в целом она описывает интерференцию между строительными объектами и ее влияние на перераспределение снеговой нагрузки, что и подтверждает расчетное и экспериментальное моделирование.

На основании комплексного инженерного анализа результатов экспериментальных исследований по методике, приведенной в Главе 2, а также нормативного подхода получены различные варианты распределения снеговой нагрузки по кровле объекта, уточняющие неблагоприятные варианты нагружения.

В целом, полученный результат указывает, что при разработке проектных решений для отдельных типов критически важных объектов транспортной инфраструктуры допустимо использовать результаты специализированных экспериментальных исследований, выполненных в соответствии с методикой, приведенной в Главе 2.

В пятой главе в результате использования методик, алгоритмов и подходов, описанных в ранее рассмотренных разделах диссертации, выявлены неблагоприятные места для нахождения работников при проведении работ в рамках производственных и технологических процессов на объекте транспортной инфраструктуры и в непосредственной близости от него. Важным является также тот факт, что рассчитаны не только координаты опасных зон, но и приводится процесс их зарождения и развития.

Для обеспечения техносферной безопасности, минимизации производственного травматизма на данном объекте транспортной инфраструктуры необходимо предусмотреть комплекс мероприятий по компенсации нежелательных аэродинамических эффектов (установка обтекателей, дефлекторов и т.д.).

В целом, предлагаемые методы и средства уменьшают негативное влияние эксплуатации критически важных объектов транспортной инфраструктуры на окружающую среду, включая решения по снижению шума, снеговых и гололедных отложений.

В заключении приведены основные выводы, которые сформулированы на основании полученных результатов, что соответствует поставленным задачам. Поставленная цель диссертационной работы достигнута.

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Выдвигаемые соискателем теоретические и практические положения, а также сформулированные в работе выводы и положения как результаты исследования являются новыми. Диссертационная работа Поддаевой О.И. является законченной научно-квалификационной работой.

Оформление текста диссертации и автореферата, иллюстративного материала, таблиц, списка литературы соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

### **3. Анализ обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций и достоверности результатов исследований**

Достоверность и обоснованность представленных на защиту результатов исследования, выводов и рекомендаций подтверждена использованием современного

экспериментального оборудования, сопоставлением полученных экспериментальных данных с данными, полученными по известным аналитическим методикам, а также результатами натурных наблюдений, правдоподобностью полученных результатов, их непротиворечивостью друг другу и общепризнанным данным, выводы автора обоснованы и аргументированы. Результаты исследования прошли широкую апробацию через обсуждения на отечественных и международных конференциях и публикацию в рецензируемых журналах и изданиях.

В процессе выполнения научной работы усовершенствованы методы обеспечения техносферной безопасности объектов транспортной инфраструктуры. Особо следует отметить комплексный теоретико-экспериментальный алгоритм моделирования климатических воздействий на объекты транспортной инфраструктуры.

Научная новизна заключается в следующих положениях:

1. Впервые предложена система оценки факторов техносферных воздействий на критически важные объекты транспортной инфраструктуры, основанная на классификации подходов к исследованию техногенных и климатических воздействий на различные типы сооружений, на теоретико-экспериментальном моделировании с учетом уникальности и ответственности сооружений, орографии окружающей местности, оригинальной архитектурной формы, и высокой вероятности сочетания нескольких метеорологических факторов.

2. Разработан и апробирован алгоритм моделирования климатических воздействий на объекты транспортной инфраструктуры, основанный на экспериментальных исследованиях различных типов объектов транспортной инфраструктуры на различных этапах их жизненного цикла.

3. Впервые предложен комплекс моделей динамического поведения критически важных объектов транспортной инфраструктуры с учетом климатических, техногенных и сопутствующих воздействий, базирующийся на моделировании как самого сооружения, его конструкции и отдельных элементов, так и технологических процессов, происходящих при монтаже и эксплуатации на различных этапах их жизненного цикла.

4. Впервые на основе результатов теоретико-экспериментального моделирования сформирован перечень опасных факторов с учетом природных и техногенных воздействий, влияющих на техносферную безопасность объектов транспортной инфраструктуры в пределах их жизненного цикла, используемый при выполнении работ по оборудованию, обучению сотрудников, проведению специальной оценки условий труда, оценки профессиональных рисков.

5. Предложены методы и технические решения для безопасного выполнения работ на критически важных объектах инфраструктуры при техносферных воздействиях, позволяющие находить опасные зоны при реализации технологических процессов непосредственно на сооружении или поблизости от него, при этом учитывающих сочетания климатических и техногенных воздействий, орографию местности; а также система мер для снижения влияния эксплуатации критически важных объектов транспортной инфраструктуры на окружающую среду и сами сооружения.

6. Предложен и апробирован инженерный метод верификации результатов теоретико-экспериментального моделирования для различных критически важных объектов транспортной инфраструктуры. Использование метода верификации совместно с современными информационно-вычислительными комплексами и физическими испытаниями макетов сооружений решает многие задачи техносферных воздействий

методами экспериментального моделирования. Использование предлагаемых подходов на этапе проектирования на 40% увеличивает долговечность объектов транспортной инфраструктуры.

#### **4. Значимость полученных соискателем результатов для науки и практики и возможные пути их использования**

Полученные научные результаты, выводы и предложения позволяют сформировать перечень опасных факторов, влияющих на техносферную безопасность объектов транспортной инфраструктуры в пределах жизненного цикла с учетом природных и техногенных воздействий; усовершенствовать систему оценки факторов техносферных воздействий, что позволяет проводить оценку профессиональных рисков, определять места зарождения и параметры развития опасных зон на критически важном объекте транспортной инфраструктуры и в непосредственной близости от него.

Разработанные и апробированные алгоритмы моделирования объектов транспортной инфраструктуры и математические модели динамического поведения объектов транспортной инфраструктуры с учетом климатических и техногенных воздействий представляют интерес как с точки зрения развития фундаментальных основ в области техносферной безопасности транспортных систем, так и с точки зрения инженерных задач проектирования технологических процессов мониторинга, диагностики сооружений, выполнения ремонтных работ с учетом технологии безопасного выполнения работ, а также продления жизненного цикла сооружения.

Расчетно-обоснованные результаты моделирования климатических и техногенных воздействий на различные объекты транспортной инфраструктуры (мосты, аэровокзальные комплексы, канатные дороги, решетчатые конструкции и др.) успешно применены при их проектировании.

Предложенный инженерный метод верификации результатов теоретико-экспериментального моделирования с использованием аэродинамических труб востребован в специализированных лабораториях при выполнении научно-исследовательских работ и позволяет существенно упростить и удешевить работы, связанные с физическим моделированием объектов транспортной инфраструктуры и транспортных систем в целом.

#### **5. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Автореферат диссертации правильно и полно отражает её содержание, актуальность темы исследования, новизну и значимость полученных результатов, содержит все основные положения и выводы.

#### **6. Замечания по диссертации и автореферату**

В ходе анализа диссертационной работы и автореферата к соискателю возникли следующие вопросы, рекомендации и предложения:

1. Как можно использовать полученные результаты для корректировки нормативно-технической литературы, действующей на территории Российской Федерации?
2. В работе не рассмотрены пожары как ведущий тип по частоте и распространенности среди техносферных воздействий.
3. В разделе 1.2.1 диссертационной работы приводится подробный анализ аварий на различных объектах транспортной инфраструктуры. На странице 31 приведен вывод о том,

что природные воздействия являются причиной порядка 60% аварий, происходящих с мостами. Во-первых, следовало бы включить данный вывод в текст автореферата, таким образом, акцент соискателя на глубоком исследовании именно климатических воздействий выглядел бы более оправданным. Во-вторых, работа бы выиграла, если были приведены аналогичные статистические данные по авариям на прочих объектах транспортной инфраструктуры.

4. В диссертационной работе приводятся подробные методики исследования объектов транспортной инфраструктуры на климатические воздействия, однако анализ сейсмических воздействий не рассмотрен. Особенно перспективно выглядят направления исследований, посвященных различным сочетаниям климатических и техногенных воздействий.

5. Считаю целесообразным для полноты картины исследования помимо ветровых нагрузок и снежных заносов отразить влияние таких воздействий на транспортную инфраструктуру, как землетрясения, наводнения, ландшафтные пожары и др.

6. В числе критически важных объектов транспортной инфраструктуры желательно также отразить тоннели, порты, аэродромы и др.

Указанные замечания не снижают общей значимости результатов работы и могут рассматриваться как пожелания и направления дальнейших исследований.

**7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением  
Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842  
«О порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертационное исследование Поддаевой Ольги Игоревны «Основы обеспечения техносферной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры в пределах жизненного цикла», представленное на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.10. – Техносферная безопасность транспортных систем, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решается вопрос о повышении техногенной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры, имеющий важное народно-хозяйственное значение для транспортной отрасли Российской Федерации. Разработан комплекс решений по обеспечению техносферной безопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла, внедрение которого вносит существенный вклад в развитие нашей страны, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационное исследование обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных соискателем научных результатов, а также рекомендации по использованию научных выводов. Предложенные автором диссертации решения в достаточной степени аргументированы в соответствии с требованиями п. 9 Положения о присуждении ученых степеней.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, получено два свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ, что соответствует требованиям п. 11 Положения о присуждении ученых степеней.

В соответствии с п. 13 Положения о присуждении ученых степеней основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в 44 научных статьях в открытой печати и прошли широкую апробацию на конференциях, в том числе международных.

В соответствии с п. 14 Положения о присуждении ученых степеней в диссертационной работе соискателя имеются ссылки на других авторов и источники заимствования материалов, а также на научные работы, выполненные соискателем лично и в соавторстве.

Представленная диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук соответствует пп. 9-11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, а ее автор, Поддаева Ольга Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.10 – Техносферная безопасность транспортных систем.

Диссертация и отзыв на диссертационную работу Поддаевой О.И. обсуждены и единогласно одобрены на расширенном заседании лаборатории проблем безопасности транспортных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем транспорта им Н.С. Соломенко Российской академии наук, протокол № 04-09-23/01 от 04 сентября 2023 г.

Заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук (ИПТ РАН)  
доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы РФ

Таранцев Александр Алексеевич

Главный научный сотрудник лаборатории  
проблем безопасности транспортных систем ИПТ РАН  
доктор технических наук, профессор

Скороходов Дмитрий Алексеевич

«12» сентября 2023 г.

**Сведения о ведущей организации**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук  
Адрес: 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия Васильевского острова, д. 13  
Телефон: +7(812) 323-29-54.  
Электронная почта: info@iptran.ru  
Сайт: <http://www.iptran.ru>