

## **АННОТАЦИЯ**

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
По направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело»  
Образовательная программа 8D07102– «Транспорт, транспортная техника и технологии»

**АМАНБАЕВ САБИТ ШАЯХМЕТОВИЧ**

### **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ МОДУЛЬНОГО ПУТЕПРОВОДА С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ**

**Актуальность диссертационной работы.** В современных городах Республики Казахстан одной из наиболее острых проблем транспортной инфраструктуры является снижение пропускной способности улично-дорожной сети в период ремонта и реконструкции подземных инженерных коммуникаций. Масштабное обновление тепловых, водопроводных, канализационных и электрических сетей сопровождается вскрытием дорожного полотна, устройством траншей и частичным либо полным ограничением движения транспорта. В условиях высокой интенсивности автомобильного потока это приводит к образованию заторов, увеличению времени передвижения, росту расхода топлива и ухудшению экологической обстановки в городах.

Особенно актуальна данная проблема для крупных городов, где значительная часть инженерных коммуникаций проходит непосредственно под проезжей частью дорог. При выполнении ремонтных работ транспортные потоки вынужденно перераспределяются на соседние улицы, что вызывает перегрузку городской дорожной сети и снижает эффективность функционирования транспортной системы в целом. Дополнительные сложности возникают из-за длительности ремонтных работ, которые могут продолжаться в течение нескольких месяцев.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение мобильных модульных путепроводов, позволяющих организовать движение транспорта над зоной проведения ремонтных работ без полного перекрытия дороги. Использование подобных конструкций дает возможность сохранить движение по основному направлению, уменьшить нагрузку на объездные маршруты и снизить социально-экономические потери, связанные с транспортными заторами. В отличие от стационарных эстакад и развязок, мобильные путепроводы обладают возможностью быстрого монтажа, демонтажа и транспортирования к месту эксплуатации.

Несмотря на существование отдельных разработок мобильных мостовых и переправочных систем, вопросы создания модульного мобильного путепровода для городских условий, расчета его несущих конструкций, ходовой части и взаимодействия опор с грунтовым основанием изучены недостаточно полно.

Отсутствуют комплексные методики расчета таких сооружений с учетом особенностей их транспортного и эксплуатационного режимов работы, а также оценки напряженно-деформированного состояния грунтового массива при действии нагрузок от опор путепровода.

В связи с этим разработана конструкция модульного мобильного путепровода, исследование его напряженно-деформированного состояния, расчет взаимодействия опор с грунтовым основанием, а также создание методики расчета и проектирования подобных сооружений является **актуальным**.

**Цель исследования** заключается в разработке конструкции, создании методики расчета и проектировании модульного мобильного путепровода, применяемого во время ремонта подземных инженерных сетей с учетом взаимодействия с грунтовым основанием.

Достижение цели исследования обеспечивалось поэтапным решением **задач**:

- аналитический обзор конструкций временных мостов, путепроводов, различных методов их расчета и взаимодействия опор с грунтовыми основаниями;
- обоснование и выбор несущих конструкций наклонного и ортогонального модуля, а также ходовой части мобильного путепровода;
- исследование, расчет и проектирование конструкции ортогонального модуля и осей ходовой части на прочность, жесткость и устойчивость;
- исследование, расчет и оценка прочности грунтового массива от нагрузки опор модульного путепровода;
- математическое моделирование в программном комплексе Ansys системы «опора путепровода – грунтовое основание» для проверки оценки прочности грунтового массива;
- разработка способов монтажа путепровода и реализация результатов исследования в качестве общей методике расчета.

**Идея работы** заключается в сохранении пропускной способности дорог при подземном ремонте инженерных сетей за счет использования быстровозводимого мобильного модульного путепровода.

**Объект исследования:** напряженно-деформированное состояние элементов несущей конструкции путепровода, его ходовой части и силовое взаимодействие его опор с грунтовым основанием.

**Предмет исследования:** модульный мобильный путепровод.

В диссертации исследовались силовое состояние металлоконструкций путепровода, работа ходовой части и взаимодействие опор с грунтовым основанием. Использовались **методы исследования**, включая механико-математическое моделирование, аналитический расчёт напряжений в грунте, численное моделирование в программном комплексе ANSYS, а также сопоставление аналитических и численных результатов.

**Научная новизна** заключается в обосновании параметров конструкции, обладающей свойствами путепровода (моста) в рабочем положении и

транспортного средства при перемещении, и выражается в следующих положениях:

- впервые разработана расчетная схема и математическая модель модульного мобильного путепровода, учитывающая его работу как пространственной сборно-разборной конструкции;

- установлены зависимости, связывающие напряженно-деформированное состояние элементов несущей конструкции с действием статических и подвижных нагрузок, с учетом совместной работы модулей и их соединений;

- получена аналитическая зависимость изгибающих моментов в опасных узлах продольной рамы ортогонально-ориентированного модуля от соотношения погонных жесткостей ригеля и стоек ( $n = i_2/i_1$ ); выявлен характер перераспределения усилий при изменении жесткости ригеля, и определен оптимальный диапазон  $1,5 \leq i_2/i_1 \leq 2,0$ , обеспечивающий снижение максимальных изгибающих моментов на 20–25% и уменьшение металлоемкости конструкции на 15–18 %;

- получены расчетные зависимости для определения силовой работы ходовой части путепровода с учетом воздействия собственной массы конструкции и динамических нагрузок при транспортировании;

- установлены зависимости распределения напряжений в грунтовом основании от параметров нагрузки, геометрии опор и расстояния до края траншеи;

- получены расчетные соотношения для оценки местной устойчивости грунтового массива под опорами путепровода, позволяющие определить предельные нагрузки и коэффициенты запаса устойчивости;

- выполнена верификация аналитических решений для напряжений в грунтовом массиве на основе численного моделирования в программном комплексе ANSYS с использованием упруго-пластической модели грунта Кулона–Мора;

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

- результаты исследований, описывающие совместную работу несущей конструкции модульного мобильного путепровода и его ходовой части в транспортном и эксплуатационном положениях;

- закономерности распределения напряженно-деформированного состояния элементов конструкции с учетом модульной схемы и действия транспортной нагрузки;

- зависимости, связывающие внутренние усилия в продольной раме ортогонально-ориентированного модуля с соотношением жесткостей ригеля и стоек;

- закономерности формирования напряженного состояния грунтового основания под опорами путепровода;

- результаты оценки местной устойчивости грунтового массива и предельных нагрузок на основании;

- результаты численного моделирования системы «опора путепровода – грунтовое основание» в программном комплексе ANSYS и их сопоставление с аналитическими решениями;

– методика расчета и проектирования модульного мобильного путепровода с учетом условий транспортирования, монтажа и эксплуатации.

**Автор защищает:**

– конструкцию модульного мобильного путепровода, состоящую из несущих модулей и ходовой части;

– расчетную модель путепровода и обоснование подбора поперечных сечений элементов несущей конструкции;

– конструктивные решения и расчет ходовой части, включая механизмы поворота оси, подъема и поворота колес, а также параметры осей;

– результаты косвенного расчета ходовой части путепровода на основе ввода динамического коэффициента;

– применение расчетной схемы взаимодействия опор путепровода с грунтовым основанием и использование упругопластической модели грунта Кулона–Мора при численном моделировании;

– результаты аналитического и численного исследования напряженного состояния грунтового основания и оценки его местной устойчивости;

– результаты математического и численного моделирования конструкции и системы «опора путепровода – грунтовое основание»;

– технологические решения по транспортированию, монтажу и демонтажу модульного путепровода.

**Практическая значимость** работы определяется разработкой методики расчета и проектирования модульного мобильного путепровода, включающей обоснование его конструктивных параметров, решений по транспортированию, монтажу и организацией его эксплуатации.

Результаты научных исследований и разработок внедрены в деятельность ТОО «Институт Градиент Проект», а также используются в учебном процессе НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» при подготовке студентов образовательной программы 6B07106 – «Транспорт, транспортная техника и технологии» в рамках дисциплины «Организация и безопасность дорожного движения».

**Краткое содержание работы.**

В первой главе выполнен анализ современных проблем транспортных заторов, возникающих при ремонте подземных инженерных коммуникаций. Рассмотрены существующие конструкции мобильных мостов и путепроводов, оснащённых механизмами передвижения, а также современные методы расчёта мостовых конструкций и взаимодействия опор с грунтовым основанием. Определены цели и задачи исследования.

Во второй главе разработана конструкция модульного мобильного путепровода и приведено её техническое обоснование. Рассмотрены область применения, условия эксплуатации, конструктивная схема путепровода и устройство его ходовой части.

Третья глава посвящена расчёту элементов конструкции ортогонально-ориентированного модуля и осей ходовой части. Выполнены расчёты на прочность, жёсткость и устойчивость, исследовано влияние жесткостных

характеристик элементов конструкции, определены нагрузки на оси ходовой части.

В четвёртой главе рассмотрено взаимодействие опор путепровода с грунтовым основанием. Выполнено аналитическое определение напряжений в грунтовом массиве, проведена оценка прочности и местной устойчивости грунта под действием нагрузок от опор путепровода.

В пятой главе выполнено математическое моделирование системы «опора путепровода – грунтовое основание» в программном комплексе ANSYS и проведено сопоставление аналитических и численных результатов. Рассмотрены технологии монтажа и транспортирования путепровода, а также приведены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

**Личный вклад автора** заключается в анализе научно-технической литературы по теме модульных мобильных путепроводов, постановке целей и задач исследования, разработке конструктивной схемы путепровода, выполнении расчетов и проектировании ортогонально-ориентированного модуля и ходовой части, включая определение параметров осей и механизмов подъема колес. Автором проведено аналитическое и численное моделирование системы «опора путепровода – грунтовое основание» с оценкой напряженно-деформированного состояния и местной устойчивости грунта, а также разработаны решения по транспортированию, монтажу и эксплуатации путепровода.

**Сведения о публикациях и апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования отражены в 9 научных публикациях на русском и английском языках. Среди них – 2 статьи в международных журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, а также 4 статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных КОКШВО МНВО РК.

Результаты работы были представлены на международных научных конференциях, где опубликованы 2 тезиса докладов. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права, подтверждающее интеллектуальную собственность.

В статье «Research of the Stress-Strain State of a Mobile Overpass Structure» авторов Alexandr Ganyukov и Sabit S. Amanbayev, опубликованной в журнале «Communications – Scientific Letters of the University of Zilina» (индексируется в базе Scopus; процентиль по направлению «Транспорт» – 37-й, по направлению «Инженерное дело (машиностроение)» – 44-й; <https://doi.org/10.26552/com.C.2026.010>), представлены результаты исследования напряжённо-деформированного состояния пространственной рамы ортогонально-ориентированного модуля путепровода, определены критические усилия и зависимости между изгибающими моментами и жёсткостью элементов конструкции.

В статье «Optimization of Mobile Overpass Support Placement Considering the Nonlinear Properties of the Soil Foundation» авторов Alexandr Ganyukov, Adil Kadyrov, Aliya Kukesheva, Aidar Zhumabekov, Kirill Sinelnikov, Sabit Amanbayev и Akbore Karsakova, опубликованной в журнале «Applied Sciences» (индексируется в базе Web of Science, квартиль Q2 по направлению

«Инженерное дело (машиностроение)»; в базе Scopus – квартиль Q1, процентиль по направлению «Инженерное дело (машиностроение)» – 79; <https://doi.org/10.3390/app16042075>), представлены результаты оптимизации размещения опор мобильного путепровода с учетом нелинейных свойств грунтового основания и разработана численная методика расчёта в ANSYS.

В статье «Разработка способов монтажа модульного путепровода» авторов А.А. Ганюков, А.С. Кадыров, С.Ш. Аманбаев, опубликованной в Республиканском журнале «Труды университета» ([https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_2\\_217](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_2_217)), рекомендованном КОКСНВО, представлены результаты разработки технологий монтажа модульного мобильного путепровода, включая крановый способ и метод «надвижки».

В статье «Исследование работы и расчет элементов конструкций ходовой части модульного путепровода» авторов С.Ш. Аманбаев и Ш.М. Суюнбаев, опубликованной в журнале «Труды университета» ([https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_4\\_286](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_4_286)), приведены результаты расчёта элементов ходовой части модульного путепровода с определением нагрузок на оси и подбором поперечных сечений конструкции.

В статье «Разработка модульного путепровода, применяемого при ремонте городских коммунальных сетей» авторов А.А. Ганюков и С.Ш. Аманбаев, опубликованной в журнале «Труды университета» ([https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2023\\_3\\_291](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2023_3_291)), представлены результаты разработки конструкции модульного мобильного путепровода и аналитического расчёта несущих элементов ортогонально-ориентированного модуля.

В статье «Development of Mobile Communal Overpasses Applied During Repairing of Urban Communal Networks» авторов А.С. Kadyrov, А.А. Ganyukov, S.Sh. Amanbayev и А.А. Bogdanova, опубликованной в журнале «Material and Mechanical Engineering Technology» ([https://doi.org/10.52209/2706-977X\\_2023\\_3\\_1](https://doi.org/10.52209/2706-977X_2023_3_1)), рекомендованном КОКСНВО, приведены результаты разработки конструктивных решений и методов расчёта мобильных модульных и однопролетных путепроводов.

В тезисе «Применение модульных мобильных путепроводов для устранения пробок во время ремонта городских коммунальных сетей» авторов А.А. Ганюков и С.Ш. Аманбаев, опубликованном в сборнике трудов Международной научно-практической конференции «XV Сагиновские чтения. Интеграция образования, науки и производства» (г. Караганда, 16–17 июня 2023 г.), рассмотрены вопросы применения мобильных путепроводов для снижения транспортных заторов при ремонте коммунальных сетей.

В тезисе «Модульный мобильный путепровод, как новый вид транспортной техники» авторов С.Ш. Аманбаев и А.А. Ганюков, опубликованном в сборнике трудов XII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и инжиниринг» (г. Темиртау, 19–20 октября 2023г.), представлены результаты исследования конструкции модульного мобильного путепровода и его взаимодействия с грунтовым основанием.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, изложенных на 190 страницах машинописного текста, которые поясняются 81 рисунком, 25 таблицами, списком использованных источников из 147 наименований и 7 приложениями.

**Результаты исследования и основные выводы.**

Диссертационная работа содержит новые научно-обоснованные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи по созданию модульного мобильного путепровода.

**Краткие выводы по результатам диссертационного исследования:**

1. Проведённые исследования позволили разработать конструкцию модульного мобильного путепровода для обеспечения движения транспорта в период ремонта подземных инженерных и коммунальных сетей;

2. Выполнен аналитический обзор временных мостовых сооружений, мобильных переправ и методов расчёта взаимодействия опор с грунтовым основанием, подтвердивший актуальность разработки модульного путепровода;

3. Разработана конструктивная схема модульного путепровода, включающая ортогональные и наклонные модули, а также ходовую часть для транспортирования конструкции;

4. Выполнены исследования и расчёты несущих конструкций путепровода на прочность, жёсткость и устойчивость, определены рациональные параметры основных элементов;

5. Получены аналитические зависимости напряжённно-деформированного состояния ортогонально-ориентированного модуля и установлено влияние жёсткости элементов на перераспределение усилий;

6. Выполнен расчёт и исследование работы ходовой части путепровода с учётом статических и динамических нагрузок при транспортировании;

7. Разработана расчётная схема взаимодействия системы «опора путепровода – грунтовое основание», позволяющая оценивать напряжённое состояние грунта;

8. Получены зависимости распределения напряжений в грунтовом основании и выполнена оценка местной устойчивости грунтового массива под опорами путепровода;

9. Проведено численное моделирование системы «опора путепровода – грунтовое основание» в программном комплексе ANSYS с использованием упругопластической модели грунта Кулона–Мора и выполнено сравнение с аналитическими решениями;

10. Разработаны технологические решения по транспортированию, монтажу и демонтажу модульного путепровода, включая крановый способ и метод надвижки;

11. Разработана методика расчёта и проектирования модульного мобильного путепровода с учётом условий транспортирования, монтажа и эксплуатации.

**Оценка реализации поставленных задач.** В результате проведения исследований полностью были решены следующие задачи:

– выполнен аналитический обзор конструкций временных мостов, мобильных и быстроразвёртываемых путепроводов, а также методов их расчёта и взаимодействия опор с грунтовыми основаниями, что позволило обосновать актуальность разработки модульного мобильного путепровода;

– обоснован выбор несущих конструкций наклонного и ортогонально-ориентированного модулей, а также разработана конструктивная схема ходовой части модульного путепровода;

– проведены исследования, расчёт и проектирование конструкции ортогонального модуля и осей ходовой части на прочность, жёсткость и устойчивость, определены конструктивные параметры основных элементов и разработаны рабочие чертежи конструкции;

– выполнены исследования, расчёт и оценка прочности грунтового массива от действия нагрузок опор модульного путепровода, определены закономерности распределения напряжений и выполнена оценка местной устойчивости грунтового основания;

– проведено математическое моделирование системы «опора путепровода – грунтовое основание» в программном комплексе ANSYS, выполнена верификация аналитических решений и подтверждена достоверность полученных результатов расчёта;

– разработаны способы транспортирования, монтажа и демонтажа модульного путепровода, выполнен подбор монтажного оборудования и реализованы результаты исследования в виде общей методики расчёта и проектирования модульного мобильного путепровода.

**Разработка практических рекомендаций по применению полученных результатов.** Разработанная методика расчёта и проектирования модульного мобильного путепровода, может быть рекомендована инженерно-техническим работникам транспортной, строительной и машиностроительной отрасли, а также проектным и научно-исследовательским организациям. Полученные результаты исследований и численного моделирования могут использоваться при расчёте, проектировании, монтаже и эксплуатации модульных мобильных путепроводов.

**Оценка технико-экономической эффективности внедрения.** Технико-экономическое обоснование подтвердило высокую эффективность однополосного модульного мобильного путепровода. Капитальные затраты на один комплект составляют 68–78 млн тенге. При этом чистый дисконтированный доход за 15 лет достигает 320–480 млн тенге, внутренняя норма доходности – 34–42 %, срок окупаемости – 6–11 месяцев, индекс прибыльности – 2,8–3,6. Применение путепровода позволяет в разы сократить время перекрытия движения для объездов, существенно снизить экономический ущерб от заторов и обеспечить непрерывность транспортного потока. Внедрение мобильных путепроводов является экономически обоснованным и высокоэффективным решением, обеспечивающим значительную экономию бюджетных средств.

**Оценка научно-технического уровня выполненной работы:**

– впервые выполнено исследование конструкции модульного мобильного путепровода, предназначенного для эксплуатации в условиях ремонта городских коммунальных сетей, разработаны конструктивные решения ортогональных и наклонных модулей, а также исследована работа несущей конструкции и ходовой части путепровода;

– проведены исследования напряжённо-деформированного состояния элементов конструкции, выполнен расчёт ходовой части с учётом статических и динамических нагрузок при транспортировании и определены рациональные параметры основных элементов;

– разработана расчётная схема взаимодействия системы «опора путепровода – грунтовое основание», выполнена оценка прочности грунтового массива и проведено математическое моделирование в программном комплексе ANSYS с верификацией аналитических решений;

– разработаны технологические решения по транспортированию, монтажу и демонтажу модульного мобильного путепровода.