

На правах рукописи



Астанков Константин Юрьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ГРУНТОЗАСЫПНЫХ АРОЧНЫХ МОСТОВ ИЗ
СТАЛЕТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность 2.1.8. Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2026 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения»

Научный
руководитель

Овчинников Игорь Георгиевич,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Официальные
оппоненты

Пискунов Александр Алексеевич,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (МИИТ), кафедра «Мосты и тоннели», заведующий кафедрой

Козак Николай Викторович,
кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра транспортных систем и дорожно-мостового строительства, доцент

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Защита состоится «30» сентября 2026 года в 12-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.286.02, созданного на базе Воронежского государственного технического университета, по адресу: 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, корпус 2, ауд. 2228.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного технического университета и на сайте ВГТУ <http://cchgeu.ru/>.

Автореферат разослан «03» июля 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



С. В. Чуйкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Трубобетон применяются для сооружения несущих конструкций на строительстве мостов более 80 лет, в настоящее время используется при строительстве уникальных большепролетных сооружений и высотных зданий. Большое развитие получило применение сталетрубобетона в КНР для строительства арочных мостов с пролётами, превышающими 400 м, при этом, количество мостов с использованием сталетрубобетонных элементов на сегодняшний день только в Китае превышает 450 единиц.

Трубобетонные конструкции с применением круглой стальной трубы в настоящее время рассматриваются как наиболее рациональный тип конструкций, т.к. круглая обойма выполняет функцию продольной и поперечной арматуры, препятствует развитию трещин во внешних волокнах бетонного сечения и создаёт условия объёмного сжатия для бетона, что существенно увеличивает его прочность. Внутренняя поверхность трубы в этих конструкциях надёжно пассивируется щелочной средой бетона.

Термин «трубобетонные конструкции» имеет широкое значение – в качестве материала внешней обоймы применяется не только сталь, но и полимерные композитные материалы, в зарубежной литературе наиболее часто используемым термином для обозначения рассматриваемого материала является CFST (concrete filled steel tube). В представленной работе применение термина «сталетрубобетон» является существенным, поскольку в предложенной методике не рассматривается возможность использования ПКМ ввиду принципиального отличия работы материалов при сжатии.

По сравнению с железобетонными, трубобетонные конструкции более технологичны в изготовлении и монтаже: их компоненты легко транспортируются, при изготовлении не требуются арматурные каркасы и опалубка.

Сфера применения сталетрубобетонных элементов, испытывающих поперечный изгиб, представляется очень обширной и может охватывать почти все случаи применения балок небольших пролётов. Особенно перспективным представляется использование изгибаемых конструкций для строительства и реконструкции малых мостов – в качестве несущих элементов арок грунтозасыпных мостов или балок пролётных строений и стоек опор балочных мостов.

Известно, что для строительства мостов малых пролётов до 30 метров эффективно применение арочной засыпной конструкции. Такой подход позволяет более, чем вдвое сократить стоимость строительства за счёт снижения стоимости материалов, а также трудоёмкости и потребности в высококвалифицированных кадрах. На примере разработанной в ходе диссертационного исследования конструкции моста достигнуто уменьшение стоимости СМР более, чем на 60% по сравнению с традиционной конструкцией моста со сборными железобетонными пролётными строениями (25,1 млн рублей без НДС против 80,2 млн. рублей). Это косвенно подтверждается данными китайских инженеров, сообщающих о том, что экономия от применения сталетрубобетона при строительстве арочных мо-

стов решётчатой конструкции может превышать 40%. Преимущества сталетрубобетонных конструкций, выраженные в их способности эффективно работать не только на внецентренное сжатие, но и на изгиб, позволяют рассматривать их в качестве основных несущих конструкций арок при строительстве малых арочных грунтозасыпных мостов.

Доказанная высокая степень надёжности конструкций из сталетрубобетона и их способность длительное время выдерживать нагрузку после начала разрушения (на стадии пластической работы сталетрубобетонного элемента – при разрушении сжатого бетонного ядра) хорошо влияет на повышение общей живучести сооружения, что является обязательным требованием СП 35.13330.2011 для мостов – обеспечение прочности и устойчивости формы и положения остальных элементов при выходе из строя отдельных конструктивных элементов.

Использование сталетрубобетонных конструкций для строительства малых засыпных арочных мостов является перспективным также для строительства в районах, удалённых от предприятий стройиндустрии с малоразвитой сетью автомобильных дорог. Отсутствие необходимости транспортировки крупногабаритных и массивных мостовых строительных конструкций и необходимой для их монтажа тяжёлой техники очень важно для строительства или восстановления сообщений в кратчайшие сроки.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на признанную эффективность работы сталетрубобетонных элементов на сжатие, работа сталетрубобетона на изгиб исследована гораздо меньше. Однако, имеющиеся в этой области экспериментальные и теоретические работы свидетельствуют о перспективности направления, связанного с исследованием и использованием изгибаемых сталетрубобетонных элементов.

Результаты экспериментальных исследований изгибаемых сталетрубобетонных элементов, выполнялись командами учёных под руководством Л. И. Стороженко, Ч. Ванга, П. Ли. Были испытаны элементы из армированного и неармированного бетона, элементы с трубчатой полостью, расположенной в нейтральной или в растянутой зоне сечения, а также сталетрубобетонные элементы с применением стальных труб с различной толщиной стенки. В результате были установлены зависимости деформаций от напряжений и перемещений от нагрузки для всех образцов. Было установлено значительное влияние толщины стенки стальной трубы, расположения полости и наличия армирования на несущую способность и жёсткость сталетрубобетонного элемента при изгибе.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка методики проектирования грунтозасыпного моста с использованием изгибаемых сталетрубобетонных конструкций.

Реализация цели достигается решением следующих задач:

- Исследование возможности применения изгибаемых сталетрубобетонных конструкций для строительства грунтозасыпных мостов:
 - выполнить анализ проблемы с изучением существующих методов расчёта изгибаемых сталетрубобетонных конструкций;
 - исследовать имеющиеся данные о результатах экспериментальных работ по исследованиям изгибаемых сталетрубобетонных конструкций;

- На основе полученных данных разработать практическую методику проектирования арочного грунтозасыпного моста с применением изгибаемых сталетрубобетонных конструкций.
- Используя указанную методику разработать опытную конструкцию арочного грунтозасыпного моста с применением сталетрубобетонных конструкций. Изучить возможность оптимизации конструкций фундаментов с применением сталетрубобетонных конструкций.

Предмет исследования – трубобетонные конструкции.

Объект исследования – возможность применения изгибаемых сталетрубобетонных конструкций для устройства арок грунтозасыпных мостов.

Научная новизна работы

1. На основе результатов анализа данных об опыте применения сталетрубобетона для строительства арочных мостов на автомобильных и железных дорогах в качестве внецентренно сжатых элементов пространственных стержневых конструкций и существующих методов расчёта, а также результатов экспериментальных исследований изгибаемых сталетрубобетонных конструкций впервые сделан вывод о возможности применения изгибаемых сталетрубобетонных конструкций для устройства элементов арочного грунтозасыпного моста.

2. Разработана практическая методика расчёта арочного грунтозасыпного моста с применением изгибаемых сталетрубобетонных конструкций на основе нелинейной деформационной модели. В составе методики предложен новый способ определения элементарных сил с учётом нелинейного изменения модуля упругости материала по высоте сечения при расчёте прочности изгибаемого сталетрубобетонного элемента, разработан алгоритм для определения распределения напряжений по сечению изгибаемого сталетрубобетонного элемента. Преимуществом предлагаемой методики является использование нелинейной деформационной модели при одновременном обеспечении простоты и прозрачности расчёта. Получена высокая точность соответствия результатов расчёта результатам натурных испытаний образцов.

3. С использованием предлагаемой методики разработана конструкция арочного грунтозасыпного моста с применением сталетрубобетонных конструкций. Конструкция моста защищена патентом РФ. В ходе работы получены патенты РФ на три изобретения.

Теоретическая и практическая значимость работы. Систематизированы данные и опыт проектирования и строительства арочных мостов на автомобильных и железных дорогах с применением сталетрубобетонных элементов в качестве внецентренно сжатых элементов пространственных конструкций и изгибаемых арок грунтозасыпных мостов.

Разработана практически ориентированная методика проектирования, включая расчёт и конструирование арочного грунтозасыпного моста со сталетрубобетонным пролётным строением.

Указанная методика внедрена в учебный процесс ФБОУ ВО УрГУПС, в работу проектных организаций в области строительства транспортных объектов на территории УрФО: ООО «ПроектУрал.ру», ООО Управляющая компания «Уральский Водоканалпроект», г. Екатеринбург.

Разработана методика оптимизации фундаментов грунтозасыпного моста, рекомендуемая к применению в конструкции прочих распорных сооружений.

Разработана методика повышения эффективности вибропогружения труб для устройства основания из сталетруبوبетонных свай с грунтовым ядром.

В ходе работы оформлено три изобретения, направленных на оптимизацию работы конструкций грунтозасыпных мостов. Изобретения защищены патентом РФ.

Методология и методы исследования. Поставленные задачи решены в ходе теоретических и эмпирических методов научного познания. Теоретические методы, используемые в данной работе, включают основные положения теории сопротивления материалов и строительной механики, методы расчёта конструкций по предельным состояниям.

Эмпирические методы исследования включают наблюдение, сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований, прогнозирование, приёмы обработки информации. Такими методами получено обоснование возможности применения результатов исследований внецентренно сжатых и изгибаемых сталетруبوبетонных элементов для проектирования арочного грунтозасыпного моста, методики и патенты, имеющие высокую практическую значимость.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты анализа существующих методов расчёта изгибаемых сталетруبوبетонных конструкций и имеющихся данных о результатах экспериментальных исследований изгибаемых сталетруبوبетонных конструкций.

2. Практическая методика проектирования, включая расчёт и проектирование арочного грунтозасыпного моста с применением сталетруبوبетонных конструкций на основе нелинейной деформационной модели.

3. Рекомендации по оптимизации конструкций фундаментов с применением сталетруبوبетонных конструкций.

Степень достоверности. Представленные в диссертации результаты исследований, выводы и рекомендации подтверждаются наличием патентов по теме исследования, наличием проектной документации на грунтозасыпной мост, основанной на результатах исследования.

Апробация результатов работы и изобретения. Основные положения и результаты работы были представлены в докладах на следующих конференциях: XV МНТК г. Волгоград, 2021 г.; IX Международная студенческая научная конференция. г. Гомель, Беларусь. 2021; НТК г. Саранск, 2022; МНТК г. Пенза, 2013; АРМ 2015, г. Санкт-Петербург, 2015; Международная конференция молодых учёных, г. Могилёв, 2017; МНПК РГТ-2023, г. Екатеринбург, 2023; VI Всероссийская национальная НПК г. Ростов-на-Дону, 2024.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 25 работах, из них 4 статьи опубликованы в профильных журналах по перечню ВАК РФ; одна – в издании, индексируемом международной базой данных Scopus, 14 – в изданиях, индексируемых базой РИНЦ, получены 3 патента на изобретение.

Личный вклад автора. Автором самостоятельно выполнены формулировка рабочей гипотезы, постановка цели и задач исследования, проведение аналитического обзора литературных источников, статистическая обработка полученных данных, разработка теоретических положений и математической модели работы конструкции. Автором лично разработана методика расчёта трубобетонного элемента, выполнено конструирование и численное моделирование конструкций моста, подготовлены научные публикации и выполнена апробация результатов работы на конференциях и в работе проектных организаций. Все основные научные положения и выводы, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из следующих разделов: введение, четыре главы, заключение, список литературы. Общий объём работы составляет 205 страниц, включает 77 рисунков и 23 таблицы. Список литературы состоит из 123 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. В первой главе рассмотрено современное состояние вопроса исследований в области сталетрубобетонных конструкций с особым вниманием к области экспериментов, связанных с изучением работы изгибаемых сталетрубобетонных элементов. Сделаны выводы о рациональности применения сталетрубобетона для устройства арок грунтозасыпных мостов и о недостаточном количестве исследований изгибаемых сталетрубобетонных конструкций.

2. Во второй главе проведён анализ методов расчёта и сделан вывод о возможности применения действующих норм проектирования в качестве основы для выполнения комплекса исследовательских работ по проектированию и строительству опытного натурного образца грунтозасыпного моста для проведения дальнейшей работы по оптимизации конструкций моста, т.к. имеющиеся экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что в нормах проектирования, в связи с отсутствием опытных данных с натуральных объектов, предполагается избыточный запас прочности, связанный с необходимостью обеспечения безопасности.

При анализе результатов расчёта по имеющейся российской аналитической методике расчёта сталетрубобетонных конструкций с использованием исходных данных образцов, исследованных командой П. Ли установлено, что фактическая несущая способность сталетрубобетонных образцов превышает теоретические значения, полученные расчётом по имеющейся аналитической методике. При этом отмечено примерное соответствие между собой теоретических значений предельных усилий, полученных расчётом по различным нормам, при довольно существенном их снижении относительно экспериментальных данных, что может быть результатом обеспечения нормами проектирования необходимости требуемого уровня безопасности объекта, выражающейся в определённом запасе прочности конструкции.

Широкое применение сталетрубобетона в отечественном мостостроении сдерживается отсутствием норм проектирования. Действующая редакция СП

$$\varepsilon_i = \frac{N}{E_{ult} \cdot A_{red}} + \frac{M_y}{E_{ult} \cdot I_{red}} Y_i \quad (1)$$

Предельно допустимая деформация сжатия бетона при изгибе принимается равной $\varepsilon_{b,ult}=0,0035$, для материала стальной трубы $\varepsilon_{p,ult}=0,025$.

На основании имеющихся значений деформации по двум точкам строится график распределения деформаций по высоте сечения элемента для состояния предельной деформации. Первая точка графика строится для крайнего слоя сжатого бетона, где предельная величина относительной деформации составит $\varepsilon_{b,ult}=0,0035$. Вторая точка определяется величиной ε_0 как первое слагаемое в формуле (1). Точка 3 определяется пересечением прямой, соединяющей точки 1 и 2 с верхней границей сечения (см. рис. 2) или аналитически по формуле (1).

Критерием несущей способности сталетрубобетонного элемента является предельный изгибающий момент M_{ult} , воспринимаемый сечением. Для оценки предельного состояния сечения, нормального к продольной оси, используется два уравнения равновесия – равенство нулю суммы внешних и внутренних изгибающих моментов и равенство нулю суммы внутренних продольных сил (2).

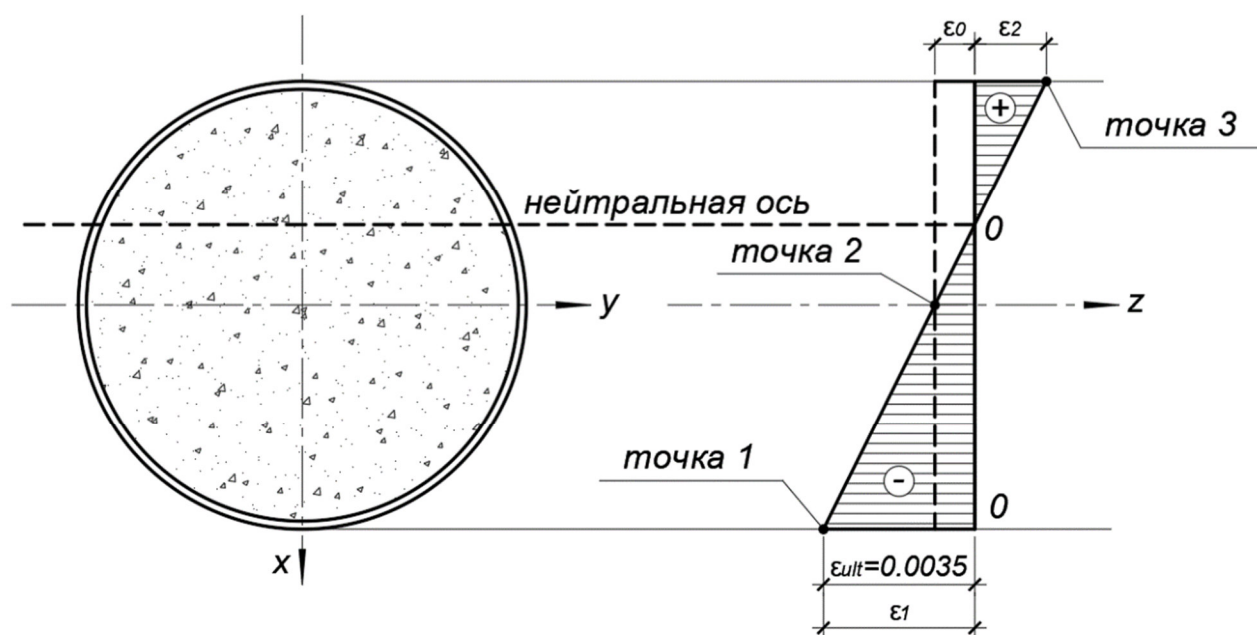


Рис. 2. Диаграмма распределения деформаций по высоте сечения.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot X_{bi} + \sum_{k=1}^n \sigma_{pk} \cdot A_{pk} \cdot X_{pk} - M_y = 0 \\ \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_{k=1}^n \sigma_{pk} \cdot A_{pk} - N = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Переход от эпюры относительных деформаций к эпюре нормальных напряжений производится по диаграммам деформирования, представленных на рис. 3 – для стали трубы и рис. 4 – для бетона.

Деформирование стальной трубы описывается с помощью двухлинейной диаграммы Прандтля в соответствии с зависимостями:

$$\sigma_{pi} = \varepsilon_s \cdot E_p \quad \text{при } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1} \quad (3)$$

$$\sigma_{pi} = R_p \quad \text{при } \varepsilon_{s1} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} \quad (4)$$

Параболически-прямоугольная диаграмма деформирования сжатого бетона, для оценки прочности нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента, приведена на рисунке 4.

Диаграмма деформирования сжатого бетона состоит из двух участков – параболического – в интервале $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1$, описываемого зависимостью (5) и прямоугольного – в интервале $\varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_2$, описываемого выражением (6):

$$\sigma_{bi} = \left(1 - \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_1} \right)^2 \right) \cdot R_b \quad \text{при } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1 \quad (5)$$

$$\sigma_{bi} = R_b \quad \text{при } \varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_2 \quad (6)$$

Здесь σ , ε – текущие значения нормального напряжения и относительной деформации; R_b – расчётное сопротивление бетона на сжатие;

ε_1 – предельная относительная деформация бетона при одноосном сжатии ($\varepsilon_1 = 0,002$); ε_2 – при изгибе ($\varepsilon_2 = 0,0035$).

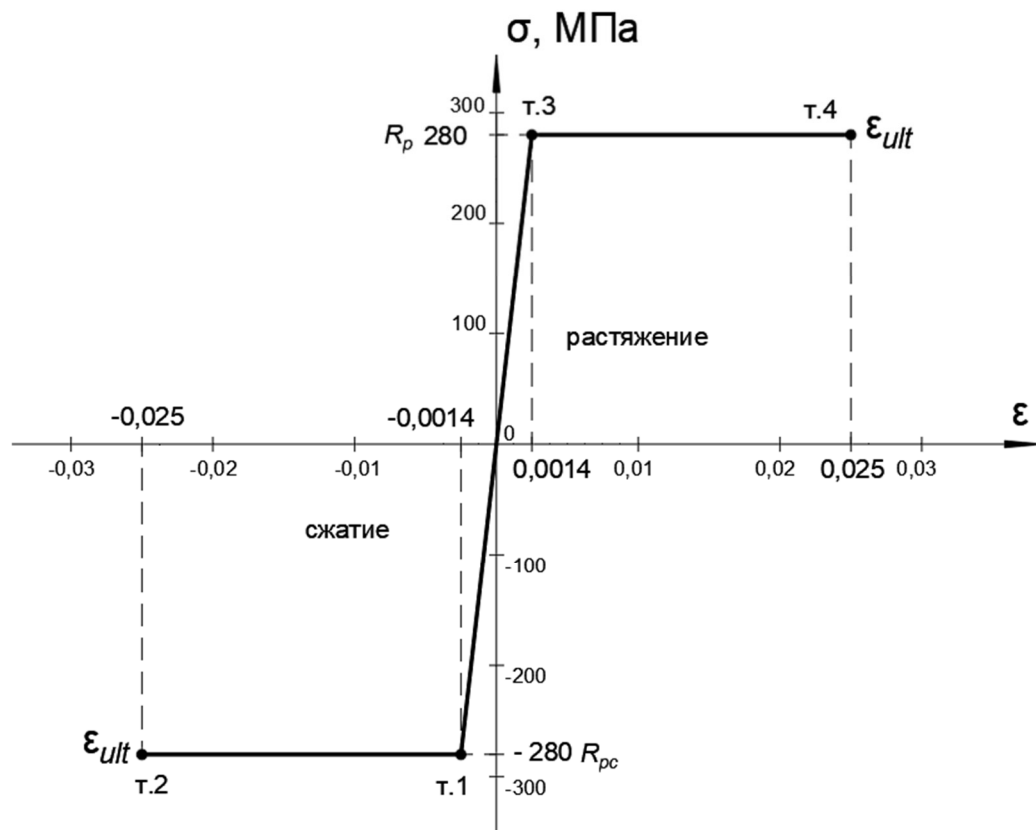


Рис. 3. Диаграмма деформирования стали трубы.

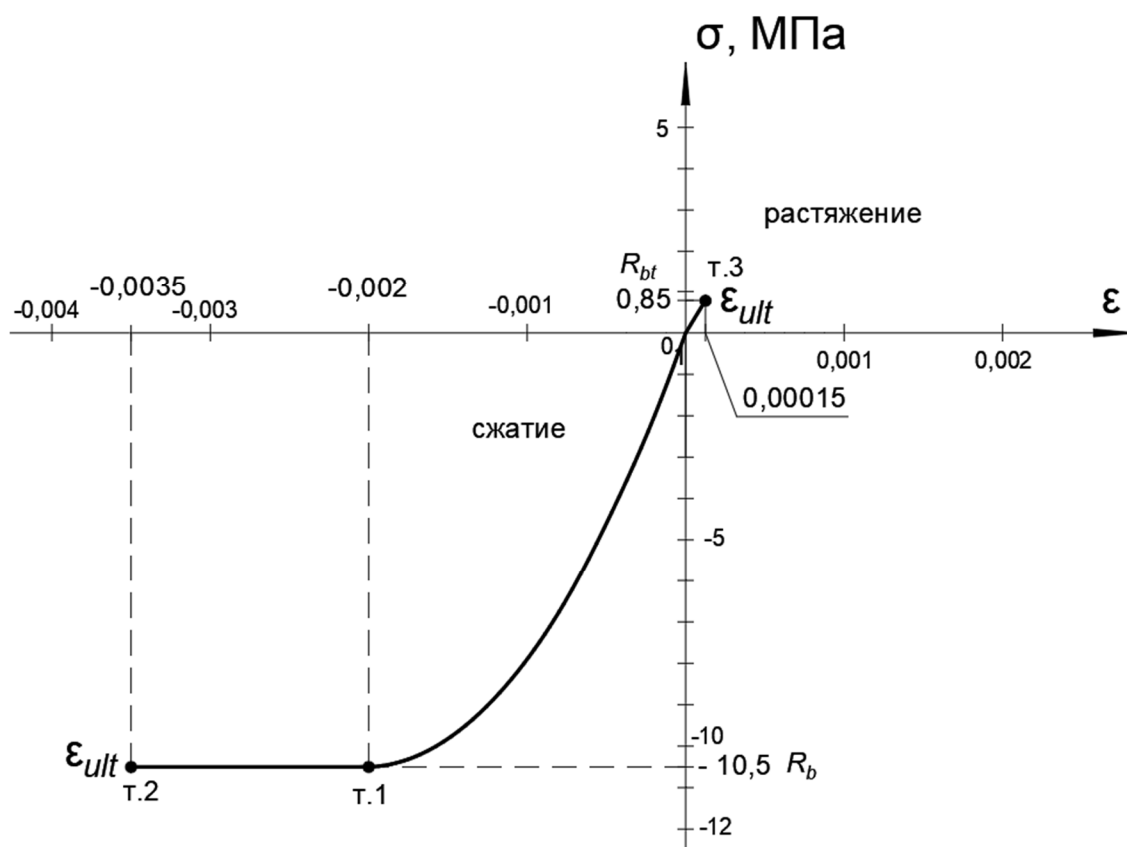


Рис. 4. Диаграмма деформирования бетона.

В соответствии с полученными по диаграммам деформирования напряжениями для каждого элементарного слоя определяются величины условных продольных сил произведением соответствующих напряжений и площадей.

Выполняется проверка условия равновесия проекций продольных сил из системы (2):

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_{k=1}^n \sigma_{pk} \cdot A_{pk} - N = 0 \quad (7)$$

С учётом полученного значения поправки из условия равновесия (2) производится определение предельного значения изгибающего момента.

$$M_y = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot X_{bi} \cdot K_d + \sum_{k=1}^n \sigma_{pk} \cdot A_{pk} \cdot X_{pk} \quad (8)$$

Выполнено сравнение результатов расчёта по предлагаемой методике и по имеющейся российской аналитической методике с данным экспериментов Л. И. Стороженко. Результаты сравнения с экспериментальными данными Л. И. Стороженко приведены в таблице 1.

В результате проведённого сравнения результатов расчёта по предлагаемой методике с экспериментальными данными получены удовлетворительные результаты (максимально отклонение не превышает 12,8% при том, что отклонение методики СП в этом случае даёт 19,4%). Результаты испытаний образцов серий ИВ-1-1 и ИВ-3-3 дают отклонение в обоих случаях по 2,6%, что является прекрасным результатом. Для повышения точности оценки необходимо большее количество натуральных исследований, о чём уже было сказано ранее.

Таблица 1

Сравнение результатов расчёта по предлагаемой методике
с экспериментальными данными

Серия образца	Предельный момент в сечении по <i>данным испытаний</i> , кН·м	Предельный момент в сечении при расчёте <i>по аналитической методике</i> , кН·м	Отклонение от результата эксперимента (гр. 3/гр.2), %	Предельный момент в сечении при расчёте по <i>предлагаемой методике</i> , кН·м	Отклонение от результата эксперимента (гр. 5/гр.2), %
1	2	3	4	5	6
ИВ-1-1	8,4	9,67	15,1	8,62	2,6
ИВ-2-2	52,5	62,7	19,4	59,22	12,8
ИВ-3-3	210,0	232,8	10,9	215,42	2,6

3. В третьей главе выполнена проверка применимости предлагаемой методики расчёта при расчётах реальной сталетрубобетонной арки с использованием предлагаемой методики. Изложена методика проектирования грунтозасыпного трубобетонного моста.

Выполнен расчёт реальной конструкции пролётного строения по предлагаемой методике. Сбор нагрузок, действующих на арочное пролётное строение, выполнен по нормативной методике на основании СП. Учитывая неблагоприятное воздействие на грунтозасыпную конструкцию несимметричное загрузку при неравномерной загрузке арки относительно её вертикальной оси временной нагрузкой, к случаю загрузки по всей длине моста добавлены сочетания с временной нагрузкой на половине арки.

Усилия в элементах по всем сочетаниям определены с применением программного комплекса «SCAD», реализующего конечно-элементный анализ конструкции.

Проверка прочности сечений выполнена по аналитической методике и по собственной методике с использованием нелинейной деформационной модели, критерием несущей способности в которой приняты предельные усилия в элементе – изгибающий момент и поперечная сила, а также используется частный подход к определению перемещений, основанный на использовании приведённых геометрических характеристик дискретных элементов поперечного сечения.

Расчёт по прочности нормальных сечений изгибаемых сталетрубобетонных элементов выполнен по разработанной методике с использованием нелинейной деформационной модели. Полученные результаты удовлетворяют условиям прочности.

Расчёт по второй группе предельных состояний. Перемещения определены расчётом в ПК «SCAD». Максимальное суммарное перемещение, условно принятое без учёта упругого отпора грунта, происходит в узле арки № 4 и составляет 2,44 мм, максимальный вертикальный прогиб в этом же узле составляет 1,13 мм, что не превышает допустимый для данного пролёта $l/400 = 30$ мм.

Сделан вывод о возможности дальнейшей оптимизации сечений после получения положительных результатов испытаний натурной модели.

4. В четвёртой главе приведено описание конструктивных решений проектируемого моста.

В ходе работы по исследованию возможности использования сталетрубо-бетонных конструкций для строительства грунтозасыпных арочных мостов, выполненных в составе комплекса опытно-конструкторских работ по созданию натурального образца, разработана конструкция прототипа грунтозасыпного моста из сталетрубобетонных арок. Получен Патент РФ на изобретение № 2822619 «Грунтозасыпной мост» 30.11.2023 г. предметом которого является конструкция разработанного моста. При разработке конструкции моста применено три оригинальных технических решения, на которые получены патенты РФ

Арочный мост из сталетрубобетонных элементов запроектирован по схеме 1×12 м, капитального типа под нагрузку Н14. Мост расположен на прямой в плане, в профиле – с продольным уклоном 5‰. Габарит проезжей части моста Г-8. Пролёт арки по осям – 11,165 м, стрела подъёма 5,165 м. Общая длина сооружения – 35,0 м (см. рис. 5, 6).

Сталетрубобетонная арка выполнена из металлической трубы Ø820х10 ГОСТ 10704-91 из стали марки 09Г2СД. После установки в проектное положение заполняется бетоном В25 F300 W8 ГОСТ 26633-2015 с применением расширяющей добавки в количестве, обеспечивающем получение безусадочной бетонной смеси без напрягающих свойств.

Фундаменты моста ФМ-1 монолитные, на естественном основании из бетона В25 F300 W8 ГОСТ 26633-2015. Арки из сталетрубобетонных элементов в местах заделки жёстко объединены с телом фундамента. Обратная засыпка фундамента и устройство насыпи грунтозасыпного моста выполняется из дренирующего грунта с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут. с послойным уплотнением.

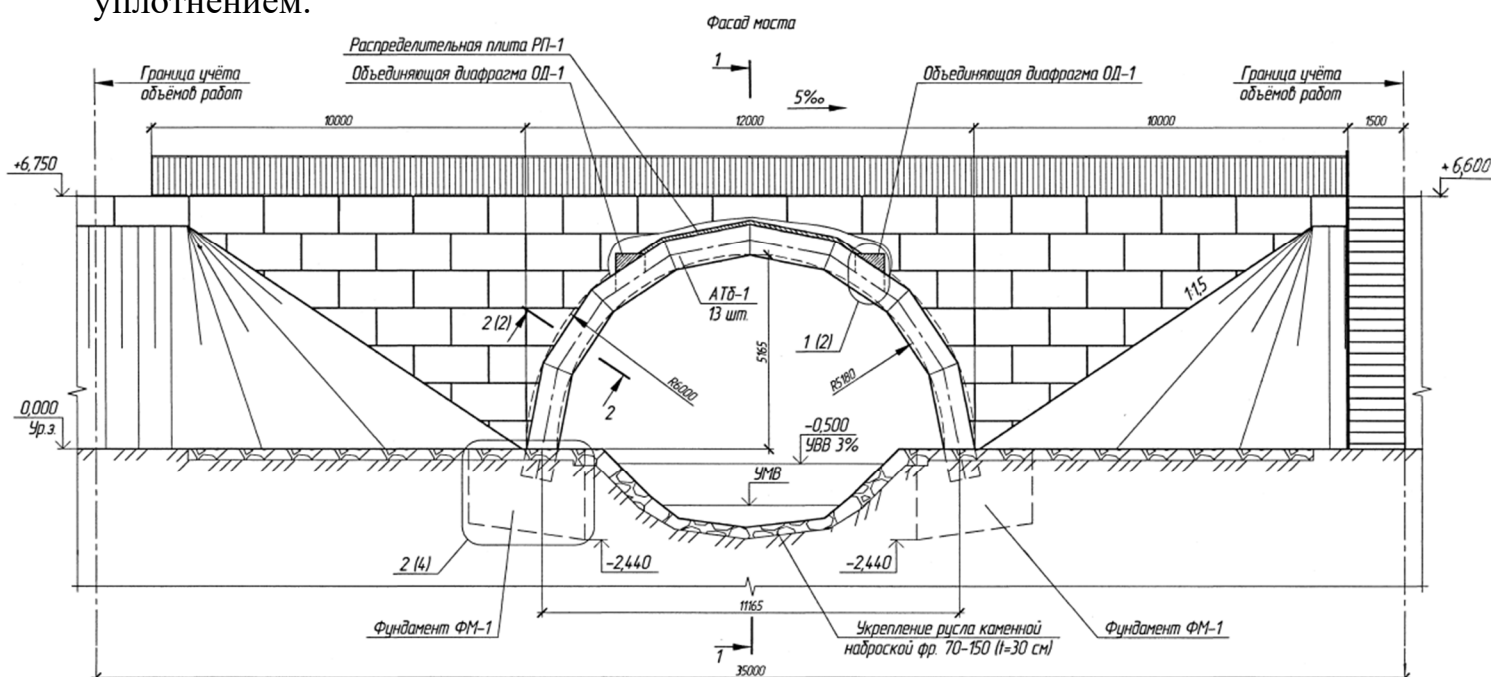


Рис. 5. Грунтозасыпной мост в теле насыпи. Фасад моста.



Рис. 6. Грунтозасыпной мост в теле насыпи. Эскиз.

Продолжительность строительства, определённая по нормативам СНиП 1.04.03-85* Раздел В, пункт 8 «Мосты и тоннели», составляет 5 месяцев. Предполагаемый экономический эффект от строительства сталетрубобетонного грунтозасыпного моста определён по данным проекта расчётом в соответствии с действующими сметными нормами РФ.

Стоимость СМР в соответствии с данными разработанного в ходе диссертационной работы проекта составляет 25 109,65 т. руб. без учёта НДС, стоимость 1 м² составит 67,3 т. руб. без НДС. Нормативная стоимость строительства моста со сборными железобетонными пролётными строениями пролётом до 22 м и высотой опор до 8 м, определённая по укрупнённым показателям, составляет 220,52 т. руб. за 1 м² в ценах I кв. 2022 года. Прямая экономия составляет более 57 млн. руб., что составляет 69,5 % от стоимости СМР по укрупнённым показателям. Экономия достигается за счёт отсутствия необходимости изготовления, транспортировки и монтажа массивных сборных железобетонных конструкций, работы на объекте монтажных кранов с высокой грузоподъёмностью и буровых машин, сокращения сроков строительства, и численности линейного персонала с высоким уровнем квалификации.

В ходе исследовательской работы разработаны узлы соединения арки с фундаментом для возможности расчёта арки по двухшарнирной расчётной схеме. Получено два патента РФ № 2830214 и № 2829951 на изобретения, связанные с конструкцией узлов.

В работе рассмотрена возможность устройства наклонных сталетрубобетонных свай с грунтовым ядром для использования в качестве оснований распорных сооружений. Предложена конструкция негармонического вибропогружателя, использующего неравновесные колебания по впервые предложенной функции. Разработана и изготовлена опытная установка для вибропогружения

труб. Проведены успешные испытания способа предложенного способа погружения труб.

В результате проведения десяти опытов в числе прочих было получено увеличение производительности установки с применением бигармонических колебаний на 16,2% относительно режима с гармоническими колебаниями. Установлена перспективность дальнейшей работы по уточнению показателей работы машины с увеличением объёма экспериментальных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Основные научные выводы и практические рекомендации по представленной работе заключаются в следующем.

1. В работе исследована возможность применения изгибаемых сталетрубобетонных конструкций для строительства грунтозасыпных мостов:

- рассмотрен научно-технический опыт отечественных и зарубежных исследователей существующих методов расчёта изгибаемых сталетрубобетонных конструкций. Сделан вывод о том, что среди большого количества современных исследований в области прочности и надёжности сталетрубобетонных конструкций недостаточное внимание уделяется именно работе сталетрубобетона при изгибе.
- Определено, что применение сталетрубобетона для устройства арок однопролётных грунтозасыпных мостов является перспективным направлением. С учётом эффективности применения для строительства мостов малых пролётов до 30 метров арочной засыпной конструкции, а также преимущества сталетрубобетонных конструкций, выраженные в их способности эффективно работать не только на внецентренное сжатие, но и на изгиб, установлена целесообразность применения арки из сталетрубобетонных элементов в качестве основного несущего элемента грунтозасыпного моста.

2. Разработана практическая методика проектирования арочного грунтозасыпного моста расчёта, включающая расчёт сталетрубобетонных конструкций на изгиб. Преимуществом предлагаемой методики является использование нелинейной деформационной модели при одновременном обеспечении простоты и прозрачности расчёта с обеспечением высокой точности результатов. Установлено соответствие расчётов по предлагаемой методике результатам натурных испытаний образцов.

3. С использованием предложенной методики проектирования разработана конструкция арочного грунтозасыпного моста. Определена плановая экономия от внедрения в производство предлагаемой конструкции арочного сталетрубобетонного моста, которая по предварительным расчётам составила 69,5% от стоимости СМР по укрупнённым показателям. В ходе разработки конструкции моста и узлов оформлены три патента на изобретение. Предложено оригинальное решение свайных фундаментов из сталетрубобетонных свай с грунтовым ядром. Разработан способ погружения и устройство для вибропогружения полых стальных труб.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные положения и результаты диссертационного исследования изложены в следующих публикациях.

Публикации в изданиях по перечню ВАК РФ.

1. Астанков К. Ю., Пермикин А. С., Овчинников И. Г. Анализ возможности применения российских норм проектирования сталетрубобетонных конструкций в малом мостостроении / К.Ю. Астанков, А.С. Пермикин, И.Г. Овчинников // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – №2. – С. 53–63. DOI: 10.15593/24111678/2022.02.07.

2. О возможности применения свода правил СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» для проектирования сталетрубобетонных конструкций в малом мостостроении Л.З. Якупова, К.Ю. Астанков, И.Г. Овчинников // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023 – №2. – С. 112-121. DOI: 10.15593/24111678/2023.02.11.

3. Пермикин А.С., Астанков К.Ю., Овчинников И.Г. Анализ отечественных и зарубежных нормативных методов определения давления грунта на водопропускные трубы А.С. Пермикин, К.Ю. Астанков, И.Г. Овчинников // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2024. – №1. – С. 26-41. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.03.

4. Астанков К.Ю. Анализ современных подходов к проектированию и строительству арочных мостов с использованием сталетрубобетона // Транспортные сооружения – 2024. DOI: 10.15862/11SATS423.

Публикации в изданиях, индексируемых по базе данных Web of Science и Scopus:

5. Permikin, A.; Astankov, K.; Osokin, I.; Volkov, N. and Ovchinnikov, I. (2023). An Improved Method for Determining the Pressure on the Surface of Backfill Bridges. In Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference on Transport: Logistics, Construction, Maintenance, Management - TLC2M; ISBN 978-989-758-606-4, SciTePress, pages 291-299. DOI: 10.5220/0011584000003527.

Патенты на изобретения:

6. Патент на изобретение № 2822619: ГРУНТОЗАСЫПНОЙ МОСТ. Авторы: Комардин Д. В., Астанков К. Ю., Пермикин А. С., Овчинников И. Г.

7. Патент на изобретение № 2830214: ОПОРНЫЙ УЗЕЛ АРОЧНОГО МОСТА. Авторы: Комардин Д. В., Астанков К. Ю., Пермикин А. С., Демидов А. С.

8. Патент на изобретение № 2829951: ОПОРНЫЙ УЗЕЛ АРОЧНОГО МОСТА. Авторы: Гобов С. Е., Астанков К. Ю., Пермикин А. С., Демидов А. С.

Публикации в других научных изданиях:

9. Астанков К. Ю., Овчинников И. Г. Перспективы применения сталетрубобетонных конструкций для строительства малых арочных мостов //Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : сб. науч. ст. /

ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2021. – 271 с.

10. Астанков К. Ю., Овчинников И. Г. Тенденции применения сталетрубо-бетонных конструкций для строительства малых мостов // Молодёжь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России : материалы XV Международной науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, 19-21 мая 2021 г., Волгоград / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград: ВолгГТУ, 2021. 238 с.

11. Применение сталетрубобетона с использованием старогодных труб для решения проблем малого мостостроения И. И. Овчинников, К. Ю. Астанков // Расширение применения местных материалов и отходов предприятий РМ, при изготовлении строительных материалов и изделий : материалы научно-технической конференции 18-19 ноября 2021 / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет – г. Саранск 2023. 408 с.

12. Румянцев С.А., Астанков К.Ю. Повышение эффективности преодоления лобового сопротивления связных грунтов при вибропогружении свай // Вестник УрГУПС. 2012. № 4. С. С 82–90. ISSN 2079–0392.

13. Румянцев С.А., Астанков К.Ю., Ермаков В.А. Разработка методики проведения испытания вибропогружения свай с использованием бигармонических колебаний // Вестник УрГУПС. 2013. № 4. С. С 18–25. ISSN 2079–0392.

14. Архангельский А. А., Астанков К. Ю. Разуплотнение глинистого грунта под действием динамической нагрузки // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии : сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции, 26-29 июня 2013 г., Тула / Тульский государственный университет – Тула: ТулГУ, 2013 184 с.

15. Щекалёва В. А., Астанков К. Ю. Особенности вибропогружения свай в глинистых грунтах // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии : сборник материалов XIV Международной научно-технической конференции, 26-29 июня 2013 г., Тула / Тульский государственный университет – Тула: ТулГУ, 2013 184 с.

16. Astankov K., Rummyantsev S.A. The Non-harmonic Oscillations for Vibratory Pile Driving // Advanced Problems in Mechanics APM 2015 : XLIII International Conference book of abstracts, June 22-27, 2015, St. Petersburg, Russia P.124.

17. Астанков К. Ю. Овчинников И. Г. Использование неравновесных колебаний для вибропогружения свай // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, 26–27 октября 2017 г. Могилев / Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 292 с. : ил.

18. Астанков К.Ю., Пермикин А.С. Обзор методов монтажа пролётных строений большепролётных сталетрубобетонных мостов // Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструк-

туры: материалы VI Всероссийской национальной научно-практической конференции, 27-28 февраля 2024 г., Ростов-на-Дону / Ростовский государственный университет путей сообщения.

19. Гобов С. Е., Астанков К. Ю. Обзор современных подходов проектирования и строительства арочных мостов с применением сталетрубобетона // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 29-30 ноября 2023 года) / под науч. ред. С. В. Бушуева, канд. техн. наук ; отв. за выпуск В. В. Макаров. – Екатеринбург : УрГУПС, 2024. – Вып. 1 (256). – 513, [1] с.

20. Астанков К. Ю., Овчинников И. Г. Пролётные строения мостов из сталетрубобетонных арок с затяжкой // Новые идеи нового века : материалы XXIV международного форума 20-22 февраля 2024 г., Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет.

21. Гобов С. Е., Астанков К. Ю. Обзор современных видов проектирования и строительства арочных грунтозасыпных мостов. //МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта» / Research and Development of rail and auto transport (RnD RnAT 2024) : материалы Международной научно-практической конференции, 22-23 мая 2024 года, Екатеринбург /Уральский государственный университет путей сообщения – Екатеринбург: УрГУПС, 2024.

22. Н. Б. Кудайбергенов, К. Ю. Астанков, И. Г. Овчинников, Т. Ш. Абильмаженов. Применение сталетрубобетона в арочном мостостроении // Вестник Казахской головной архитектурно-строительной академии. 2024. №2 (92). С. 91-107. DOI: 10.51488/1680-080X/2024.2-07.

23. Румянцев С.А., Астанков К.Ю. Вибропогружение свай с использованием неравновесных колебаний различных типов // Транспорт Урала. 2014. № 3. С. 29–34. ISSN 1815–9400.

24. Румянцев С.А., Астанков К.Ю. Результаты экспериментальных исследований вибропогружения трубчатых свай с использованием неравновесных колебаний // Транспорт Урала. 2015. № 4 (47). С. 24-28. ISSN 1815–9400.

Публикации в прочих изданиях:

25. Астанков К. Ю., Овчинников И. Г. Современные подходы к проектированию и строительству арочных мостов с использованием сталетрубобетона // Мостовые сооружения – XXI век - 2024 - №1(60) С. 66-75.

Подписано в печать 24.06.2026. Формат 60×84 1/16.
Бумага писчая. Усл. печ. л. 1. Тираж 70 экз. Заказ № 280.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66
Отпечатано: Издательско-полиграфический центр УрГУПС
620034 г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66