Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering http://t-s.today/

2015, Том 2, №1 / 2015, Vol 2, No 1 http://t-s.today/issues/vol2-no1.html

URL статьи: http://t-s.today/PDF/03TS115.pdf

DOI: 10.15862/03TS115 (http://dx.doi.org/10.15862/03TS115)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Зарудний А.И. Оценка пригодности старогодных металлических труб в качестве пилонов пешеходного моста через реку Белая. Часть 1. Визуальное и инструментальное обследование и построение расчетной схемы // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 2, №1 (2015) http://t-s.today/PDF/03TS115.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Zarudny A.I. [Suitability evaluation of the used metal pipes in the capacity of pylons of a pedestrian bridge across the river Belaya. Part 1: Visual and instrumental inspection and plotting of design diagram] Russian journal of transport engineering, 2015, Vol. 2, no. 1. Available at: http://t-s.today/PDF/03TS115.pdf (In Russ.)

Адрес для связи с авторами:
410054, Саратов, Политехническая 77

УДК 624.042

Овчинников Илья Игоревич
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Филиал в г. Сочи, Россия, Сочи
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Россия, Пенза
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Валиев Шерали Назаралиевич
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, Москва
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: Mosti.madi@mail.ru

Зарудний Андрей Игоревич
ООО «Институт «Проектмостореконструкция», Россия, Саратов
Инженер I категории
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

Оценка пригодности старогодных металлических труб в качестве пилонов пешеходного моста через реку Белая. Часть 1. Визуальное и инструментальное обследование и построение расчетной схемы

Аннотация. В связи с необходимостью продолжить строительство пешеходного моста, у которого были возведены фундаменты и пилоны из старогодных труб, возникла задача оценки пригодности пилонов для дальнейшего использования с учетом их эксплуатационного

состояния и предполагаемых нагрузок от собственного веса мостового сооружения и других проектных нагрузок. Приведены результаты визуального и инструментального обследования текущего состояния стоек пилонов пешеходного висячего моста.

Анализ результатов обследования показал, что толщина стенок старогодных труб стоек пилонов соответствует проектным значениям; толщина лакокрасочного покрытия меньше проектных значений и потому покрытие не обеспечивает антикоррозионную защиту стоек; марка стали использованных старогодных труб соответствует проектной; механические характеристики металла по данным измерения твердости не ниже нормативных значений.

Для обеспечения долговечной эксплуатации стоек пилонов рекомендовано заглушить верхнюю часть стоек, закрыв доступ воды внутрь стоек, и выполнить качественную антикоррозионную защиту металлоконструкций. Далее в работе рассмотрена задача построения расчетных схем пешеходного моста, включая предполагаемые нагрузки, для анализа напряженно-деформированного состояния стоек пилонов из старогодных труб, который будет рассмотрен во второй части настоящей работы.

Ключевые слова: пешеходный мост; пилоны; старогодные трубы; обследование моста; построение расчетной схемы; расчетный анализ

Введение

В республике Башкортостан через реку Белая был запроектирован пешеходный мост. Ниже приведены основные характеристики моста. Общий вид и поперечный разрез приведен на рисунке 1.

Основные технические нормы проектирования пешеходного моста через р. Белая приняты в соответствии с СНиП 2.05.02-85*, СНиП 2.05.03-84* и типовыми проектам.

В соответствии СНиП 2.05.03-84* на пешеходном мосту через р. Белая приняты следующие технические нормативы: - габарит моста Г – 4.5 м; вероятность превышения расчетного паводка 2%; ширина пешеходной части – 4.5 м; временные вертикальные нагрузки 400 кг/м^2 от толпы и от одиночной автомашины с давлением на заднюю ось 19.6 кН. - схема моста – 2 х 96.0 м. Основные конструктивные элементы моста приняты по действующим типовым проектам и применительно к ним.

Конструкция моста разработана применительно ТП серии 3.508.2-2 «Стальные пролетные строения висячих пешеходных мостов пролетами 63-126 м с габаритами проходов 1.5 – 4.5 м» Мост по проекту представляет собой комбинацию цепи, с балкой жесткости опирающуюся на опоры (пилоны). Ширина моста между перильными стойками 4.5 м. Пролетное строение моста представляет собой балку жесткости длиной 96.0 м из двутавра № 40Б1 собранную из секций по 12.0 м, подвешенную к двум закрытым стальным канатам через металлические подвески. Тяжи подвесок представляют собой разной длины арматурные стержни А-I диаметром 36 мм. Пешеходная часть моста металлическая, из стальных листов с чечевичным рифлением и металлическим перильным ограждением.

Предусмотрено применение канатов (диаметр троса 52 мм по ТУ 14-4-1216-82). Расстояние между несущими канатами 6,012 м. Канаты поддерживаются береговыми и одной промежуточной мачтами (пилонами) из металлических труб Ø426х10 мм на буровых столбах диаметром 1220х14 мм. Концы тросов закреплены к анкерам через натяжные устройства.

При изготовлении металлоконструкций применяются для несущих конструкций балки жесткости низколегированная сталь 15ХСНД по ГОСТ 6713-91, настил из стали Ст3 по ГОСТ

380-94, перильное ограждение из углеродистой стали ВСт 3СП по ГОСТ 380-94, для заполнения перил - сталь ВСт3кл2. Подвески – сталь 15ХСНД, тяжи подвесок – сталь 09Г2С-6 по ГОСТ 19281-89, пилоны – сталь определена полевыми испытаниями. Натяжные устройства – сталь 15ХСНД. Канаты стальные оцинкованные спиральные закрытой конструкции по ТУ 14-4-126-82 Ø52 В-Н-ОЖ. Анкерные втулки, литые из стали 35Л по ГОСТ 977-75. Для соединения несущих элементов приняты сварочные материалы по ВСН 169-80 (Минстрой). Высокопрочные болты, гайки, шайбы по ГОСТам 22353-77, 22355-77,22356-77 и ГОСТ 22357-77. Болты шарниры из стали 35Г по ГОСТ 1050-74.

Опоры моста представляют собой два буровых столба диаметром 1220 мм, объединенных между собой связями из двутавровых балок №40Ш1 с устройством площадок для опирания пролетного строения и установки пилонов. Опоры запроектированы применительно к типовому проекту серии 3.503.1-102 из буровых столбов СБН 12-90-1.

Вертикальная нагрузка на грунт под столбом, с учетом веса пилона и столба, согласно проектной документации на береговых опорах составляет – 57 тс, на промежуточной опоре – 111 тс.

Пилоны представляют собой вертикальные стойки, изготовленные из старогодных металлических труб Ø426х10 мм, расположенные параллельно друг к другу и объединенных между собой поперечными связями и рёбрами жёсткости из двутавра № 45. Поперечные связи крепятся к стойкам пилонов через 2.5 м. Высота пилонов 14.3 м с оголовками. На верхних связях пилонов устраиваются смотровые площадки.

Анкера несущих тросов представляют собой опоры из буровых столбов СБН 12-60-1 диаметром 1220 мм длиной 6 м. Расстояние между столбами анкерных опор – 6 м. Конструкция анкеров предусматривает монтаж натяжных устройств для регулировки канатов.

В качестве канатов применены стальные оцинкованные спиральные канаты закрытой конструкции диаметром 52.0 мм ОЖ по ТУ 14-4-1216-82 по два на каждой ветви моста, переброшенные через пилоны и закрепленные к анкерам через натяжные устройства. Стрела провеса каната в середине пролетов 9.6 м. К канатам крепятся подвески через 6.0 м и пешеходная часть моста. Предварительная вытяжка канатов не предусмотрена, только выпрямление при усилии 30.0-40.0 кПа.

Согласно проектной документации, расчетные усилия натяжения в 1-ой ветке – 87.5 тс. Разрывное усилие одного каната согласно проектной документации – 257.9 тс.

Пешеходная часть моста состоит из двух пролетов по 96 м - 8 секций длиной 12 м в каждом пролете. Секция представляет собой две продольные балки из двутавра № 40Б1 по ГОСТ 26020-83. Расстояние между балками по осям двутавра 3.20 м. Продольные балки объединены между собой поперечными связями из швеллера № 20П по ГОСТ 8240-97 длиной 3.17 м. Поперечные связи устанавливаются через 1.5 м.

С внешней стороны пешеходной части устраивается перильное металлическое ограждение высотой 1,1 м. Перильное ограждение изготавливается секциями по 3.0 м.

В силу ряда причин к 2015 году полностью были построены только фундаменты и стойки пилонов всех 3-х опор (рис. 2, 3, 4), а дальнейшее сооружение висячего пешеходного моста было приостановлено. При этом, как это обычно принято в России, никаких мер по обеспечению сохранности уже построенных компонентов мостового сооружения не было принято.

В связи с необходимостью продолжить строительство пешеходного моста возникла задача оценки пригодности существующих пилонов из старогодных металлических труб для

дальнейшего использования с учетом их эксплуатационного состояния и предполагаемых нагрузок от собственного веса мостового сооружения и других проектных нагрузок.

В связи со сказанным в июне 2015 года было проведено обследование текущего состояния стоек пилонов пешеходного висячего моста и инструментальные измерения геометрических и физико-механических характеристик стоек пилонов.

Следует заметить, что старогодные трубы, то есть трубы, отработавшие нормативный срок эксплуатации в нефтяной и газовой промышленности достаточно широко применяются в мостостроении, особенно при сооружении малых и средних мостов [1-6]. В данном же случае старогодные трубы применены для сооружения пилонов пешеходного моста. Для оценки пригодности пилонов из старогодных труб проведен расчетный анализ пешеходного моста с использованием подходов, рассмотренных в работах [7-10].

Визуальное и инструментальное обследование

Стойки пилонов изготовлены из старогодных металлических труб Ø426x10 мм. По материалам исполнительной документации работы по сооружению стоек пилонов были выполнены в октябре 2014 г. Проведенный визуальный осмотр показал, что на внешней поверхности стоек пилонов наблюдается поверхностная коррозия металла, видны следы ржавчины и отслоение защитного покрытия.

В стойках пилонов имеется стыковой сварной шов (рис. 5). В проекте нет указаний на наличие сварного шва. В процессе обследования качество сварных швов не проверялась. Осмотр внутренней части стоек не представлялся возможным, хотя верхняя часть стоек пилонов не перекрыта и через нее внутри трубчатых стоек пилонов попадали осадки в виде дождя и снега).

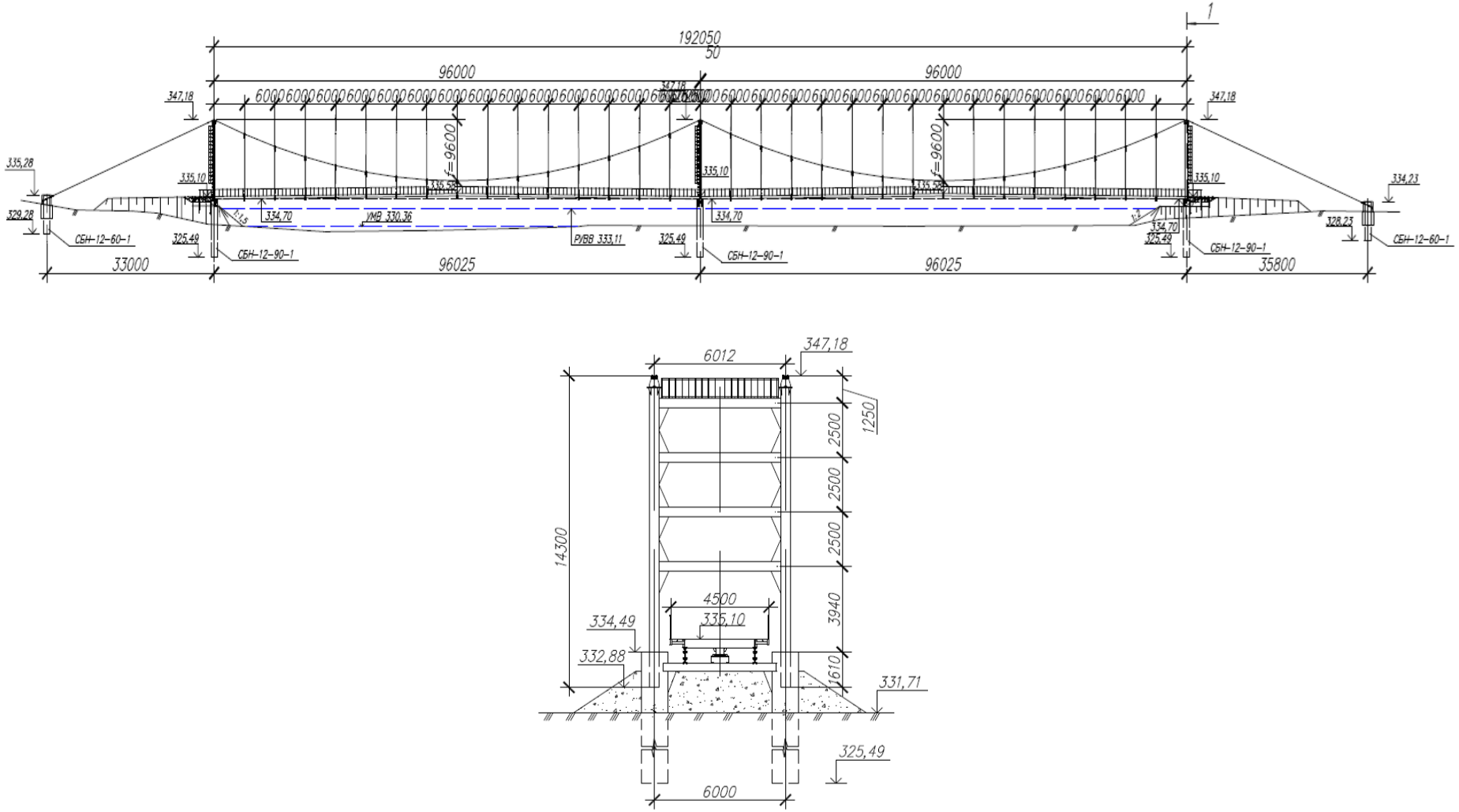

Рисунок 1. *Общий вид пешеходного моста. Чертеж авторов*

Figure 1. *General view of the pedestrian bridge. Authors' drawing*

Рисунок 2. *Стойки пилона №1. Фото авторов*
Figure 2. *Legs of pylon №1. Photo of authors*

Рисунок 3. *Стойки пилона №2. Фото авторов*
Figure 3. *Legs of pylon №2. Photo of authors*

Рисунок 4. *Стойки пилона №3. Фото авторов*
Figure 4. *Legs of pylon №3. Photo of authors*

Рисунок 5. *Вид на стойки пилона: а) левая стойка пилона №1; б) правая стойка пилона №2*
Видна поверхностная коррозия, отслоение защитного покрытия.
На правой стойке пилона 2 виден сварной стык.
Фото авторов
Figure 5. *View of pylon legs: a) the left leg of pylon №1; b) the right leg of pylon №2*
Visible surface corrosion, delamination of the protective coating.
Butt weld is seen on the right leg of pylon №2.
Photo of authors.

Для измерения толщины стенок стоек пилонов применялся толщиномер ультразвуковой УТ-111 общего назначения (рис. 6), предназначенный для ручного контактного измерения толщины изделий из материалов, у которых коэффициент затухания ультразвуковых колебаний на частоте 5,0 МГц не превышает 0,3 дБ/см, со скоростями распространения продольных ультразвуковых колебаний (УЗК) от 100 до 9999 м/с при одностороннем доступе к объекту измерения. Толщиномер предназначен для измерения толщины изделий с плоской и выпуклой цилиндрической поверхностями со стороны контакта с УЗ ПЭП в лабораторных и полевых условиях, при этом может применяться для контроля остаточной толщины металлоконструкций, подвергающихся коррозионному воздействию, в том числе и в атмосферных условиях. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Рисунок 6. *Определение толщины стенки трубы левой стойки пилона №1 толщиномером УТ-111 Фото авторов*

Figure 6. *Measurement of the pipe wall thickness of the left leg of pylon №1 by a thickness gauge UT-111 Photos of authors*

Таблица 1

Результаты измерения толщин стоек пилонов. Составлена авторами

Table 1

Results of measuring thickness of pylon legs. Compiled by authors

		Стойка							
		Левая				**Правая**			
	№ точек / № створа	1	2	3	4	1	2	3	4
Пилон 1	A	11,28	12,39	10,36	12,11	10.27	10.05	10.98	12.95
	B	10,13	10,29	11,41	12,25	11.88	11.76	12.75	11.28
	C	10,44	12,11	11,83	11,16	12.30	10.04	11.36	10.91
Пилон 2	A	11.14	12.00	12.36	11.14	12.84	11.06	11.50	12.63
	B	12.68	12.88	10.13	12.68	10.67	12.38	12.41	12.21
	C	10.85	12.46	10.75	10.85	10.21	10.00	10.80	12.68
Пилон 3	A	11.43	10.05	10.85	11.15	11.98	11.42	10.74	11.15
	B	12.12	12.53	12.08	12.95	12.60	10.05	11.42	12.23
	C	12.86	10.40	12.27	10.15	12.17	12.95	10.04	11.82

В ходе обследования местными жителями были предоставлены остатки металлической трубы, использованной при устройстве стоек пилонов (рис. 7). По результатам измерений: наружный диаметр – 426 мм, толщина стенки – 10 мм.

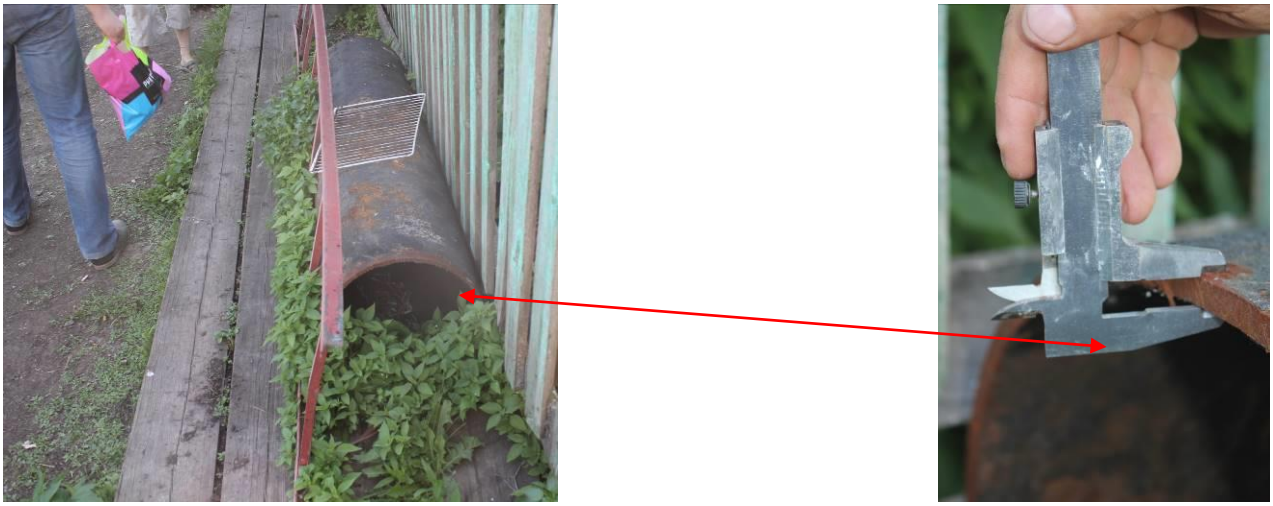

Рисунок 7. *Измерение параметров трубы, из которой изготавливались стойки пилонов. Фото авторов*

Figure 7. *Measurement of the pipe parameters, from which the pylon legs were made. Photos of authors*

Для измерения толщины лакокрасочного покрытия, нанесенного на поверхность трубчатых стоек пилонов, использовался цифровой толщиномер электромагнитного типа CoF Condtrol (рис. 8). Принцип действия прибора основан на изменении силы притяжения магнита к ферромагнитной подложке в зависимости от толщины немагнитной пленки.

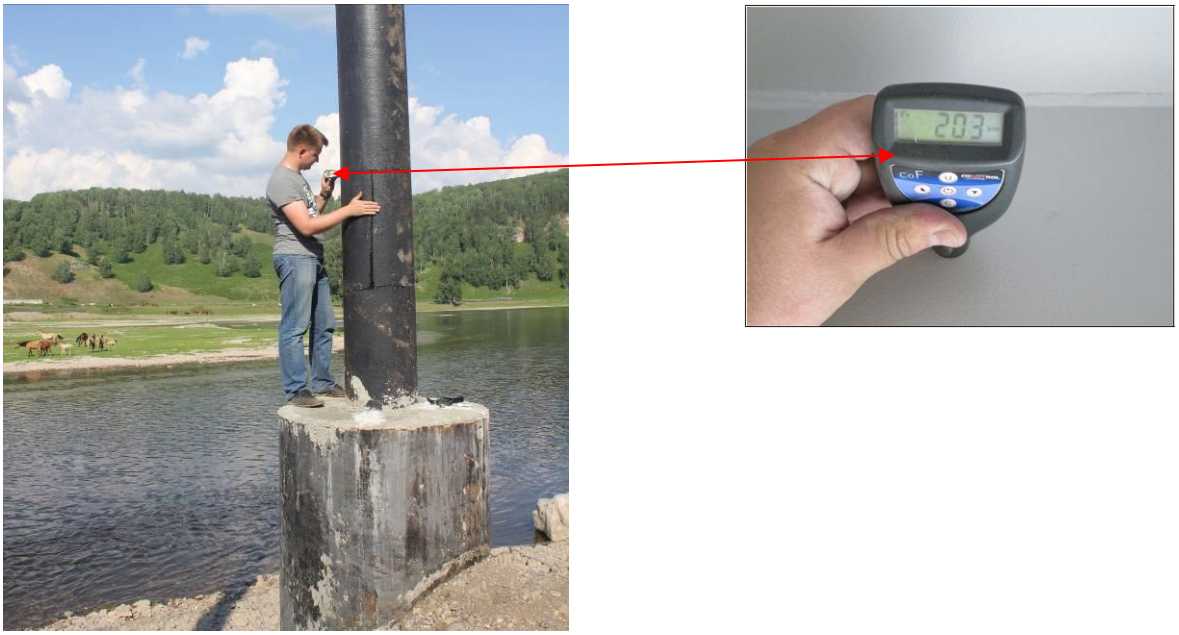

Рисунок 8. *Определение толщины защитного покрытия толщиномером марки CoF Condtrol. Фото авторов*

Figure 8. *Measurement of the protective coating thickness by CoF Condtrol thickness meter. Photos of authors*

Толщина покрытия на элементе определялась как средняя арифметическая величина из количества замеров, принятая для данной конструкции. Количество точек для выполнения замеров определялось выборочно в разных местах в зависимости от длины элемента: при длине элемента до 5 м - 5 точек; при длине элемента свыше 5 м - 11 точек. Определение толщины покрытия в каждой точке производилось по 5 контрольным замерам толщины в радиусе 5 мм, при этом максимальное и минимальное значения не учитывались. Толщина

покрытия в каждой точке определялась как среднее арифметическое из трех оставшихся показаний. Контрольные замеры толщины слоя лакокрасочного покрытия показали, что она меньше значений, предусмотренных в регламенте на окраску сооружения (не менее 240 мкм для наружных поверхностей). Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Фактически измеренные толщины лакокрасочного покрытия. Составлена авторами

Table 2

Actual measured thicknesses of the paint coating. Comprised by authors

Адрес серии измерений	Средняя фактическая толщина, мкм
Пилон 1, - левая стойка - правая стойка	 246 385
Пилон 2, - левая стойка - правая стойка	 160 284
Пилон 3, - левая стойка - правая стойка	 110 94

Для измерения твердости металла трубчатых стоек пилонов использовался твердомер портативный ультразвуковой ТКМ-459 (рис. 9), предназначенный для контроля твердости углеродистых конструкционных сталей по шкалам Роквелла (HRA), Роквелла (HRB), Шора (HSD). Твердомер предназначен для контроля временного сопротивления на разрыв (МПа) конструкционных углеродистых сталей перлитного класса путем автоматического перевода из результатов измерений по шкале Бринелля (HB) в соответствующие единицы – по таблице определенной ГОСТ 22761-77 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия». Принцип действия твердомера основан на измерении ультразвукового контактного импеданса (UCI – ultrasonic contact impedance).

На конце металлического стержня, входящего в состав датчика твердомера, закреплен алмазный наконечник. Стержень колеблется на собственной резонансной частоте. При создании нагрузки рукой пользователя, алмазный наконечник внедряется в материал и изменяет резонансную частоту стержня. Изменение собственной резонансной частоты стержня пропорционально глубине внедрения наконечника в материал. Поскольку глубина внедрения наконечника в материал является показателем твердости, то существует зависимость между изменением резонансной частоты стержня F и твердостью материала H:

$$H = f(F)$$

Электронный блок твердомера осуществляет прием частотного сигнала с датчика прибора, преобразование его в единицы твердости, вывод результатов измерений на дисплей, статистическую обработку и другие функции.

Результаты измерения твердости стали трубчатых стоек твердомером ТКМ-459 и соответствующие значения временного сопротивления приведены в таблице 3.

Рисунок 9. *Определение твердости металла стойки твердомером ТКМ-459*
Фото авторов
Figure 9. *Measurement of the leg metal hardness by TKM - 459 hardness gage*
Photo by authors

Таблица 3

Результаты измерения твердости металла стоек пилонов. Составлена авторами

Table 3

Measurement results of the metal hardness of pylon legs. Comprised by authors

Иссле-дуемый элемент	Место измерения	Толщина проката, мм	Твердость по Бриннелю по НВ, МПа	Временное сопротивление, МПа	Марка стали
Пилон 1	*Левая стойка (1.5 м от обреза фунд-та).* - передняя сторона - правая сторона	 10 10	 150 152	 500 506	09Г2С-6
	Левая стойка (1 м от обреза фунд-та). - задняя сторона - левая сторона	 10 10	 148 149	 490 495	09Г2С-6

Пилон 2	*Левая стойка (1.8 м от обреза фунд-та).* - передняя сторона - правая сторона	 10 10	 175 181	 580 602	09Г2С-6
	Левая стойка (1.4 м от обреза фунд-та). - задняя сторона - левая сторона	 10 10	 163 172	 540 570	09Г2С-6
Пилон 2	*Левая стойка (1.8 м от обреза фунд-та).* - передняя сторона - правая сторона	 10 10	 146 152	 485 508	09Г2С-6
	Левая стойка (1.4 м от обреза фунд-та). - задняя сторона - левая сторона	 12 20	 156 165	 512 550	09Г2С-6

Построение расчетных схем для анализа напряженно-деформированного состояния стоек пилонов на действие проектных нагрузок

Расчетная оценка напряженно-деформированного состояния стоек пилонов с учетом реальных геометрических и механических характеристик была выполнена с использованием программного комплекса ПК Лира-САПР

Основные расчетные положения

Расчеты металлоконструкций пешеходного моста выполнены в соответствии с СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы и СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.

Район рассчитываемой конструкции характеризуется следующими климатическими воздействиями согласно СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия: III ветровой район; нормативное давление ветра – 38 кг/м^2; тип местности «А».

Расчеты пешеходного моста проведены по первому (по прочности) и по второму (по пригодности к нормальной эксплуатации) предельным состояниям.

По первому предельному состоянию расчеты проведены на расчетные нагрузки, по второму – на нормативные нагрузки.

При расчете металлоконструкций пешеходного моста учитывались следующие виды нагрузок: масса (собственный вес) металлоконструкций пешеходного моста; временная пешеходная нагрузка (400 кг/м^2), согласно СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы; временная вертикальная нагрузка от автотранспортных средств (класс нагрузки А8) в виде полосы АК, которая включает одну двухосную тележку с осевой нагрузкой Р, равной 8 тс, и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью ν (на обе колеи) – 0.8 тс/м; ветровая нагрузка (нормальная и пульсационная составляющие), соответствующая III ветровому району (тип местности А). Направления ветрового воздействия приняты перпендикулярно одной из боковых сторон моста.

Сбор постоянных и временных нагрузок

Геометрические характеристики металлоконструкций пролетного строения приняты в соответствии с проектной документацией (756-МП «Проектная документация строительства пешеходного моста через р. Белая в д. Набиево в Бурзянском районе республики Башкортастан»). Материал металлоконструкций пролетного строения – сталь 15ХСНД по ГОСТ 6713-91 и стали Ст3 по ГОСТ 380-94. Плотность стали – 7.85 г/см^3. Расчетное сопротивление стали металлоконструкций пилонов с учетом коэффициента запаса по материалу 3100 кг/см^2. Материал металлоконструкций подвески – сталь 15ХСНД, тяжи подвесок – сталь 09Г2С-6 по ГОСТ 19281-89.

В программном комплексе «Лира-САПР» смоделированы основные несущие элементы пешеходного моста. Собственный вес вспомогательных элементов металлоконструкций моста учтен в виде дополнительной распределенной нагрузки, приложенной к несущим элементам.

Временная вертикальная нагрузка от автотранспортных средств принята в соответствии с СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы (п. 2.12*). Класс нагрузки – А8. Нагрузка представлена в виде полосы АК, которая включает одну двухосную тележку с осевой нагрузкой Р, равной 8 тс, и равномерно распределенную нагрузку интенсивностью ν (на обе колеи) – 0.8 тс/м. Ветровые нагрузки собраны в соответствии с СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы (п. 2.24*) и представлены в таблицах 4,5,6. Динамический коэффициент и коэффициент надежности по нагрузке к постоянным и временным нагрузкам определены по пп. 2.10*, 2.22*, 2.23*, 2.32* СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы.

В соответствии с п. 2.24* (СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы) нормативную величину ветровой нагрузки W_n следует определять как сумму нормативных значений средней W_m и пульсационной W_p составляющих:

$$W_n = W_m + W_p.$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки W_m на высоте z над поверхностью воды или земли определяется по формуле:

$$W_m = W_0 k C_w,$$

Где:

W_0 – нормативное значение ветрового давления, принимаемое по СП 20.13330.2011 в зависимости от ветрового района территории РФ, в котором возводится сооружение;

k – коэффициент, учитывающий для открытой местности (типа А) изменение ветрового давления по высоте z, принимаемый по СП 20.13330.2011;

C_w – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления конструкций мостов и подвижного состава железных дорог и метрополитена, приведенный в обязательном приложении 9* СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы.

Значение средней составляющей ветровой нагрузки W_m приведено в таблице 4.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p на высоте z следует определять по указаниям, содержащимся в СП 20.13330.2011:

$$W_p = W_m x L n,$$

где:

x - коэффициент динамичности;

L - коэффициент пульсации давления ветра на уровне z;

n - коэффициент пространственной корреляции пульсации давления для расчетной поверхности сооружения.

При определении пульсационной составляющей ветровой нагрузки применительно к конструкциям мостов допускается руководствоваться следующим:

а) произведение коэффициентов Ln принимать равным:

$$0.55 – 0.15l/100, \text{ но не менее } 0.30,$$

где l - длина пролета или высота опоры, м;

б) если балочное пролетное строение является неразрезным, то коэффициент динамичности принимается равным x = 1.2.

Таблица 4

ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА НА МОСТ (значение средней составляющей ветровой нагрузки Wм). Составлена авторами

Table 4

WIND LOAD ON A BRIDGE (value of the W_m wind load average component). Comprised by authors

№	Элемент	Сечение	Ап.м., (м²)	L, (м)	Ак, (м²)	Аоб, (м2)	h, (м)	Wo (кг/м²)	γf	k	Cx	Wм (кг/м²) (норм. знач.)	Wм (кг/м²) (расч. знач.)	Wмп (кг/м) (норм. знач.)	Wмп (кг/м) (расчет. знач.)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Балка жесткости	Двутавр 27 П	0.270	192.0	0.273	52.416	4.78	38.0	1.4	0.750	1.7	48.450	67.830	13.227	18.518	
		Лист 130x130x12	0.003													
2	Перильное ограждение	Труба 80x60	0.060	192.0	0.126	24.192	5.60	38.0	1.4	0.780	1.4	41.496	58.094	5.228	7.320	
		Швеллер [8	0.040													
		Полоса 10x4	0.026													
3	Канат	Канат ø 52	0.052	266.0	0.052	13.832	11.90	38.0	1.4	1.048	2.8	111.454	156.036	5.796	8.114	
4	Подвеска	Тяж ø 36	0.036	9.720	0.036	0.540	10.90	38.00	1.40	1.023	2.8	108.79	152.31	6.04	8.46	
		Листы крепления	-	0.193	-											
5	Опоры	Буровой столб ø 1220	1.220	4.420	1.220	5.392	2.20	38.0	1.4	0.750	2.5	71.250	99.750	86.925	121.695	
		Труба ø 426	0.426	12.690	5.406	7.028	11.80	38.0	1.4	1.045	2.5	99.275	138.985	54.980	76.972	
		Смотровые ходы	-	3.807	-											

№ - номер расчетного поля;
h - отметка середины расчетного поля от основания башни, м;
Wo - нормативное значение ветровой нагрузки (табл. 11.1 [1]), кг/м²;
γf - коэффициент надежности (п. 2.32* [СНиП 2.05.03-84*]);
k - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте (табл. 11.4 [СП 20.13330.2011]);
Ап.м. - площадь проекции одного пог. метра i-го элемента на грань расчетного поля, м²;
Ак - сумма площадей проекции одного пог. Метра i-го элемента на грань расчетного поля, м²;
Аоб - сумма площадей проекции i-ых элементов на грань расчетного поля, м²;
Cx - аэродинамический коэффициент i-го элемента конструкции, принимается по приложению 9* [СНиП 2.05.03-84*];
L - расчетная длина i-го элемента, м.
Wм - значение средней составляющей ветровой нагрузки, (кг/м²);
Wмп - погонное значение средней составляющей ветровой нагрузки, (кг/м);

Значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p приведено в таблице 5.

Таблица 5

ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА НА МОСТ (значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p). Составлена авторами

Table 5

WIND LOAD ON A BRIDGE (value of the Wp wind load pulsation component). Comprised by authors

№	Элемент	Wм (кг/м^2) (норм. знач.)	Wм (кг/м^2) (расч. знач.)	ξL	ν	Wp (кг/м^2) (норм. знач.)	Wp (кг/м^2) (расч. знач.)	Wрп (кг/м) (норм. знач.)	Wрп (кг/м) (расчет. знач.)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Балка жесткости	48.450	67.830	0.3	1.2	17.442	24.419	4.762	6.667	
2	Перильное ограждение	41.496	58.094	0.3	1.2	14.939	20.914	1.882	2.635	
3	Канат	111.454	156.036	0.3	1.2	40.123	56.173	2.086	2.920	
4	Подвеска	108.790	152.310	0.535	1.2	69.84	97.78	3.88	5.436	
5	Опоры (буростолб)	71.250	99.750	0.543	1.2	46.427	64.997	56.679	79.351	
	Опоры (пилон)	99.275	138.985	0.531	1.2	63.258	88.561	35.030	49.042	

Wм - значение средней составляющей ветровой нагрузки, (кг/м^2);
ξ - коэффициент динамичности (п. 2.24* СНиП 2.05.03-84*);
L - коэффициент пульсации давления ветра на уровне z (п. 2.24* СНиП 2.05.03-84*);
ν - коэффициент пространственной корреляции пульсации давления для расчетной поверхности сооружения (п. 2.24* СНиП 2.05.03-84*);
Wp - значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки, (кг/м^2);
Wрп - погонное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки, (кг/м).

Значение ветровой нагрузки W_n (средняя и пульсационная составляющие) приведено в таблице 6.

Предпосылки и результаты расчётов

Поверочный расчёт металлоконструкций пешеходного моста выполнен по методике предельных состояний в соответствии со СНиП 2.05.03-84*.

При проведении поверочного расчёта было принято следующее:

1. Собственный вес конструкций принят с учётом фактических данных с коэффициентами надёжности по нагрузке по СНиП 2.05.03-84*. Вес бетонных и металлических конструкций принят с коэффициентом надёжности равным 1,1; для перильного и барьерного ограждения – 1,1.

Таблица 6

ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА НА МОСТ (значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки Wn). Составлена авторами

Table 6

WIND LOAD ON A BRIDGE (value of the Wn wind load pulsation component). Comprised by authors

№	Элемент	Wn (кг/м^2) (норм. знач.)	Wn (кг/м^2) (расч. знач.)	Wnп (кг/м) (норм. знач.)	Wnп (кг/м) (расчет. знач.)	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	Балка жесткости	65.892	92.249	17.989	25.184	
2	Перильное ограждение	56.435	79.008	7.110	9.955	
3	Канат	151.577	212.208	7.882	11.034	
4	Подвеска	178.637	250.092	9.926	13.897	
5	Опоры (буростолб)	117.677	164.747	143.604	201.046	
	Опоры (пилон)	162.533	227.546	90.010	126.014	

Wn - значение ветровой нагрузки (средняя и пульсационная составляющие), (кг/м^2);
Wnп - погонное значение ветровой нагрузки (средняя и пульсационная составляющие), (кг/м^2).

2. Расчет пешеходного моста выполнен в ПК Лира-САПР. При расчете учитывались следующие постоянные и временные нагрузки:

- загружение 1 – собственный вес конструкций пешеходного моста;
- загружение 2 – временная пешеходная нагрузка (400 кг/м^2), согласно СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы, в пролете 1;
- загружение 3 – временная пешеходная нагрузка (400 кг/м^2), согласно СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы, по всей длине моста;
- загружение 4 – временная вертикальная нагрузку от автотранспортных средств (класс нагрузки А8);
- загружение 5 – ветровая нагрузка (нормальная и пульсационная составляющие). В расчете учитывается заданное количество форм собственных колебаний (KF). Кроме динамических составляющих (количество которых ограничено предельной нормативной частотой для данного ветрового района), по которым раскладывается ветровая нагрузка, печатаются величины статической составляющей ветровой нагрузки. Значения динамической и статической составляющих ветровой нагрузки согласно положениям СНИП 2.01.07-85* (табл.6, карта N3, п.6.19) и "Руководства по расчету зданий и сооружений на действие ветра" (пп.1.3.2,1,2,2,6,2-6.5. табл.2,6,7,8,10,11,12, рис. 6).

3. Динамические коэффициенты и коэффициенты надёжности по нагрузке для временных нагрузок приняты по СНиП 2.05.03-84*.

4. Поперечное распределение усилий от временной нагрузки в пролётных строениях определялось с учётом реальной жёсткости главных балок.

Расчет выполнен программным комплексом "ЛИРА-САПР".

Ось Z условно принята за вертикальную ось.

В основу расчета положен метод конечных элементов в перемещениях. В качестве основных неизвестных приняты следующие перемещения узлов: X – линейное по оси X; Y – линейное по оси Y; Z – линейное по оси Z; UX – угловое вокруг оси X; UY – угловое вокруг оси Y; UZ – угловое вокруг оси Z.

Все сечения элементов пешеходного моста приняты согласно чертежам проекта.

В расчетную схему помимо стандартных прокатов включены следующие типы элементов: Тип 41. Конечный элемент предназначен для прочностного расчета тонких пологих оболочек (плит, балок-стенок). Тип 310. Конечный элемент обеспечивает расчёт всех видов стержневых систем с учетом геометрической нелинейности. Данный КЭ может моделировать работу нити. При этом полагается, что соблюдается закон Гука. Тип 308. Конечный элемент предназначен для моделирования предварительного натяжения, передаваемого в узлы основного тела конструкции. Жесткости задаются как для обычного стержня.

Для моделирования нагрузки от собственного веса конструкций пешеходного перехода использована стандартная функция ПК Лира-САПР для добавления собственного веса смоделированного сечения, при этом для расчетной нагрузки коэффициент введен надежности 1.1. Для упрощения расчетной модели вес вспомогательных конструкций, а также вес металлоконструкций, не участвующих в работе пролетного строения на изгиб в середине пролета, приложены с учетом коэффициента надежности 1.1 к несущим элементам в виде распределенной нагрузки. На рисунке 10 показана схема приложения нагрузки от собственного веса.

Для моделирования расчетной схемы пешеходную нагрузку приложим в виде распределенной нагрузки по ортотропной плите:

$$0{,}4\ \text{т/м}^2 \cdot 1{,}2 = 0{,}480\ \text{т/м}^2,$$

где:

0,4 т/м^2 - распределенная нагрузка от пешеходов по п. 2.21 СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”;

1,2 – коэффициент запаса по п.2.23д СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”.

Ветровая нагрузка приложена к элементам расчетной схемы моста. Значения нагрузки приведены в таблице 1.1. Коэффициент надежности (γ_f=1.4) принят с соответствии с п. 12.3 (ГОСТ 52748-2007. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения).

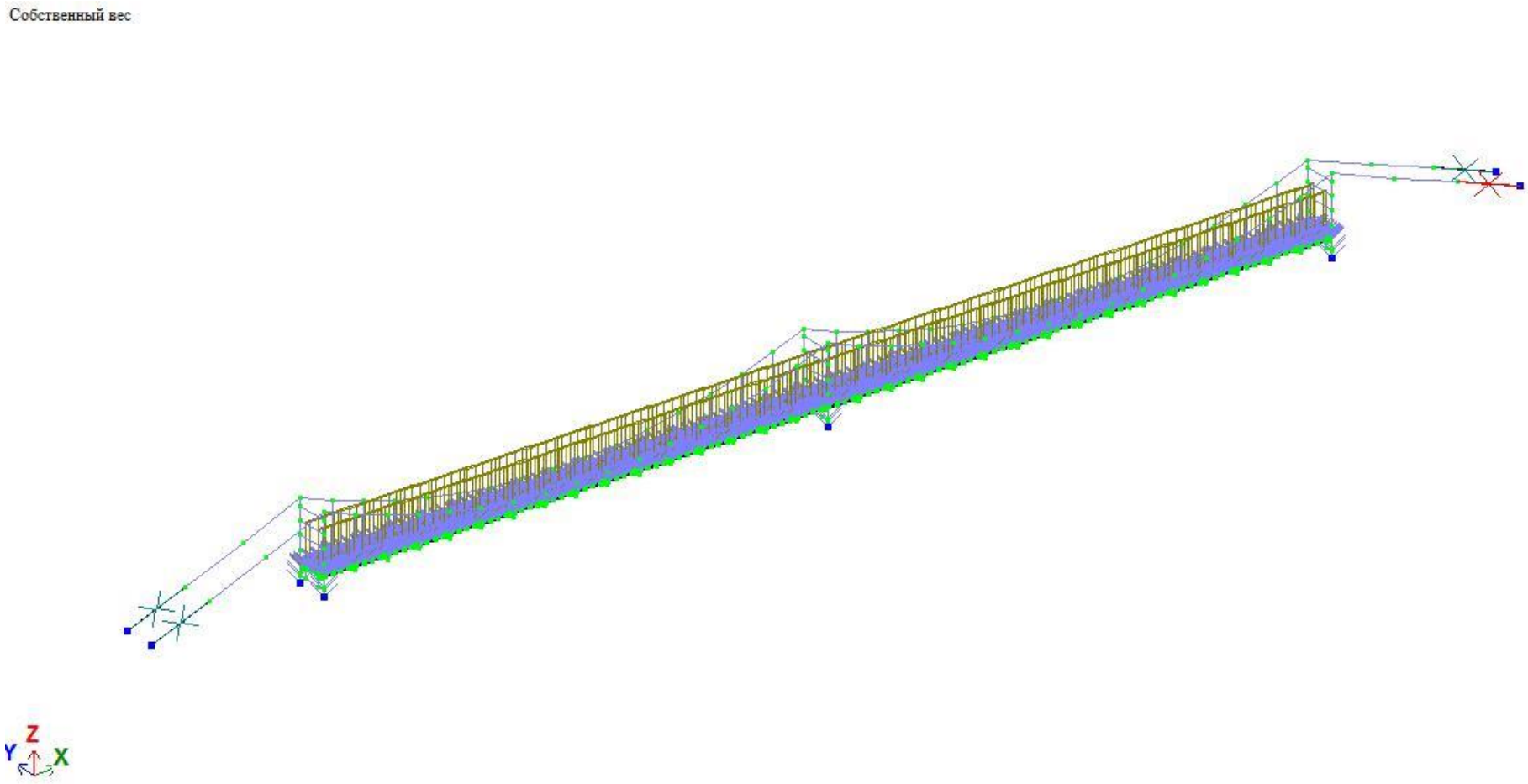

Рисунок 10. *Моделирование нагрузки от собственного веса. Составлен авторами*
Figure 10. *Simulation of gravity load. Comprised by authors*

Для моделирования расчетной схемы нагрузку А8 класса АК приложим в виде распределенной нагрузки по ортотропной плите для полосовой нагрузки и в виде точечной нагрузки к ортотропной плите для нагрузки от тележки:

$$1.15 \cdot 1.2 \cdot 8m = 11{,}04m \text{ на ось,}$$

где:

8 т - нагрузка на ось по п. 2.12 а СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”;

1,2 – коэффициент запаса по п.2.23 табл. 14 СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”;

1,15 – коэффициент динамики по п. 2.22 а СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”.

$$1.15 \cdot 1.2 \cdot 0.8m/м = 1{,}104m/м \text{ - полосовая нагрузка,}$$

где:

0,8 т/м - полосовая нагрузка по п. 2.12 а СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”;

1,2 – коэффициент запаса по п.2.23 табл. 14 СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”;

1,15 – коэффициент динамики по п. 2.22 а СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы”.

На рисунке 11 показана схема приложения временной пешеходной нагрузки в 1 пролете. На рисунке 12 приведена схема приложения временной пешеходной нагрузки в 1 и 2 пролете. На рисунке 13 приведена схема приложения временной нагрузки А8 класса АК в 1 и 2 пролете. На рисунке 14 показана схема приложения статической и динамической составляющей ветровой нагрузки. На рис. 15 показана схема приложения статической и динамической составляющей ветровой нагрузки на поперечный разрез пешеходного моста.

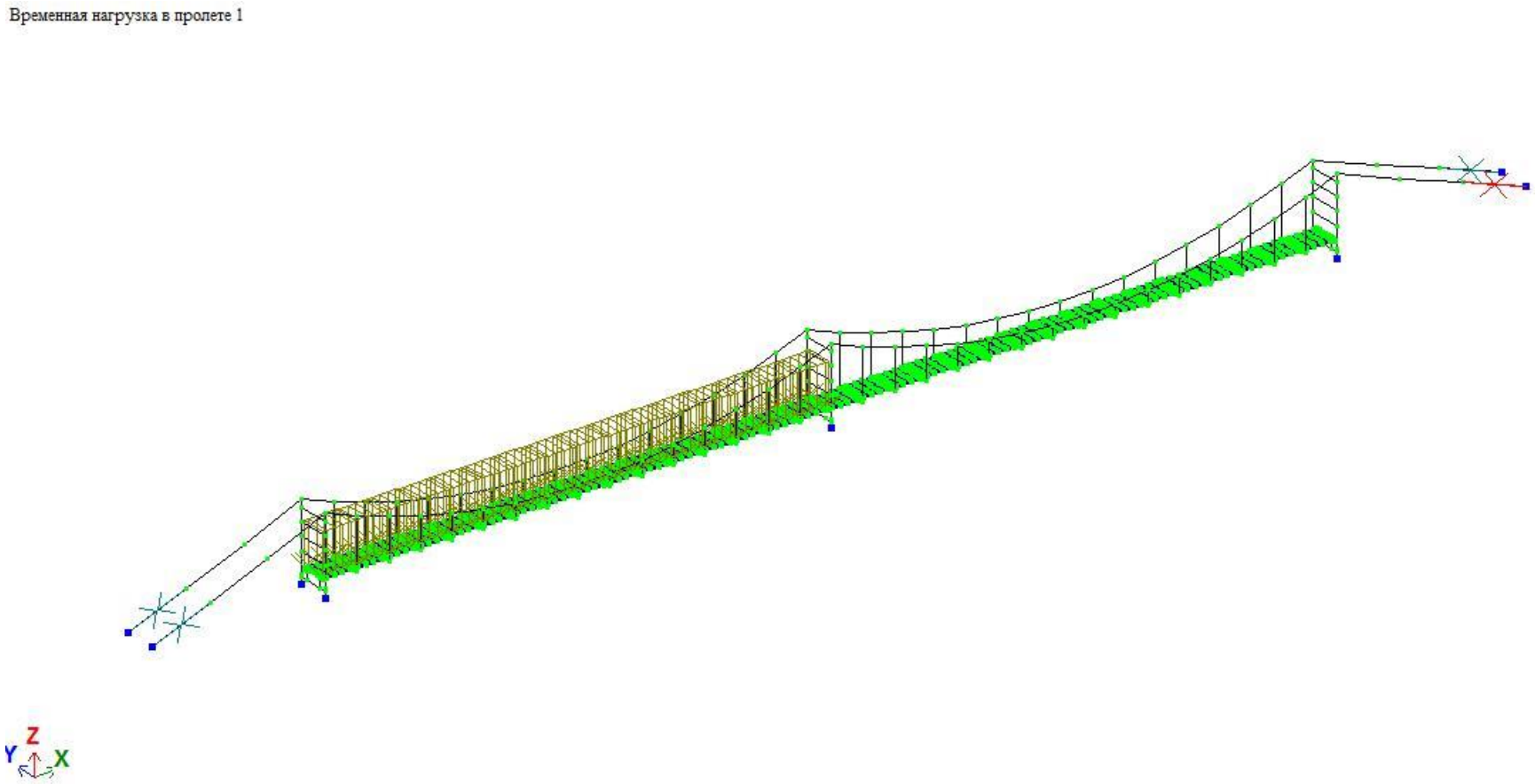

Рисунок 11. *Моделирование временной пешеходной нагрузки в 1 пролете. Составлен авторами*
Figure 11. *Simulation of a temporary pedestrian load in the bridge span 1. Comprised by authors*

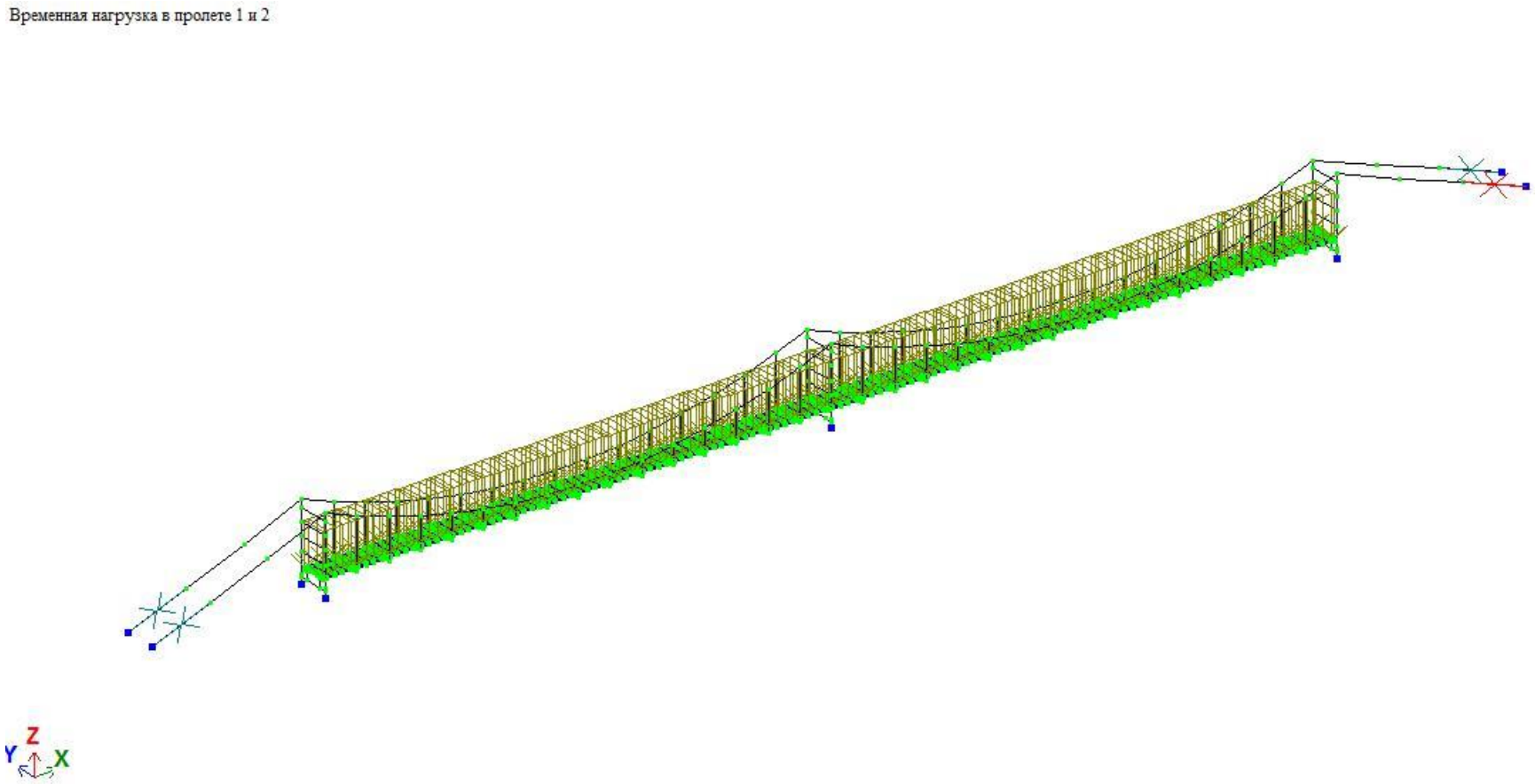

Рисунок 12. *Моделирование временной пешеходной нагрузки в 1 и 2 пролет. Составлен авторами*
Figure 12. *Simulation of a temporary pedestrian load in the bridge spans 1 and 2. Comprised by authors*

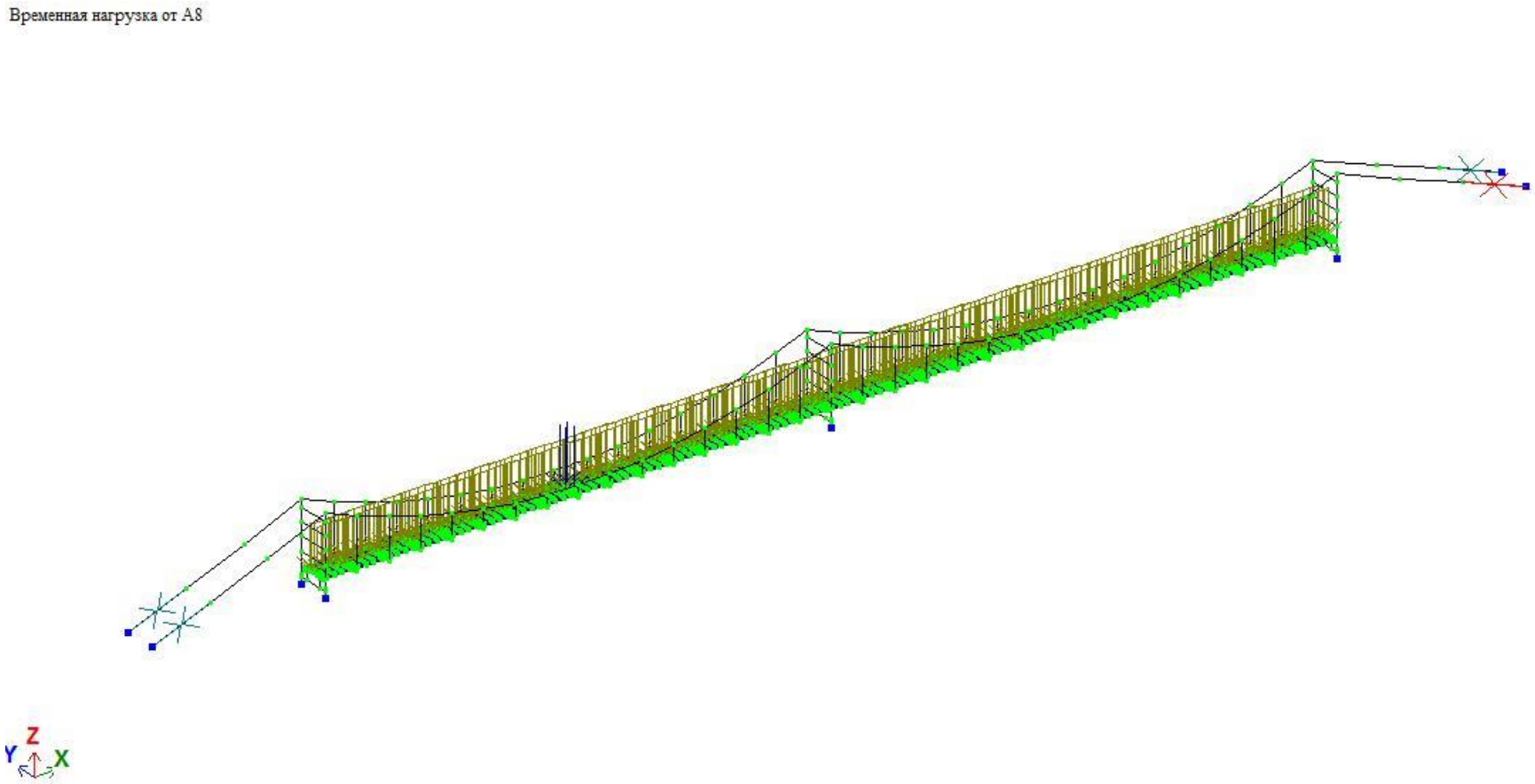

Рисунок 13. *Моделирование временной нагрузки А8 класса АК в 1 и 2 пролете. Составлен авторами*
Figure 13. *Simulation of a temporary load A8 AK-class in the bridge spans 1 and 2. Comprised by authors*

Ветер динамичекий и статический

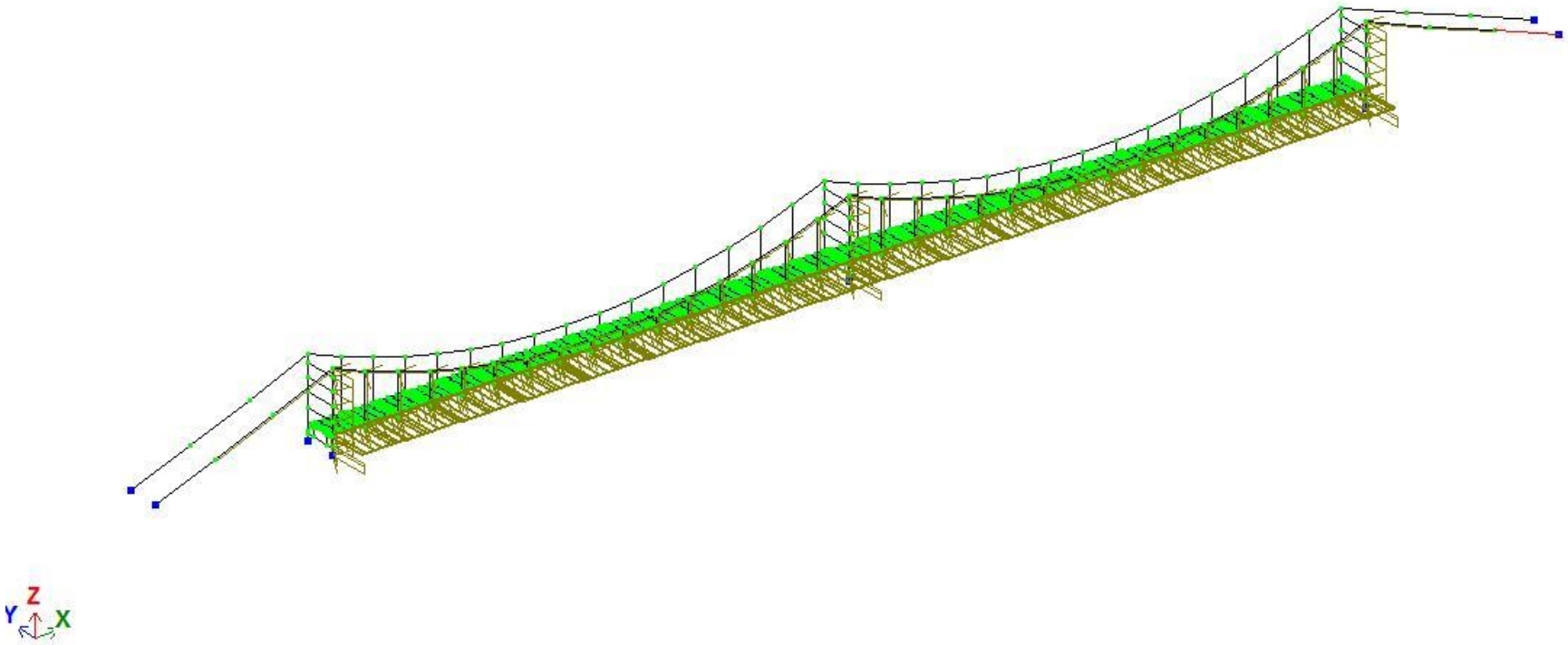

Рисунок 14. *Моделирование статической и динамической составляющей ветровой нагрузки. Составлен авторами*
Figure 14. *Simulation of the static and dynamic wind load components. Comprised by authors*

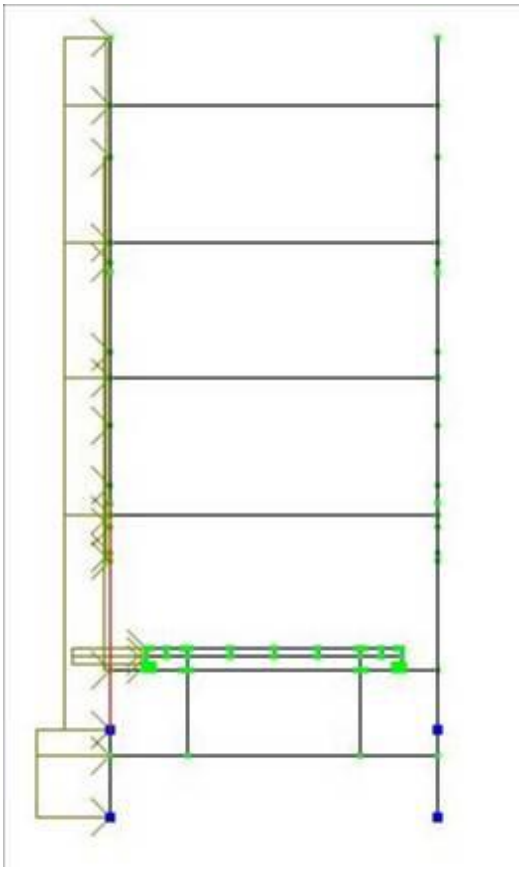

Рисунок 15. *Моделирование статической и динамической составляющей ветровой нагрузки (разрез поперечный). Составлен авторами*
Figure 15. *Simulation of the static and dynamic wind load components (cross-sectional plan). Comprised by authors*

Анализ результатов проведенного визуального и инструментального обследования позволяет отметить следующее:

- толщина стенок старогодных труб стоек пилонов соответствует проектным значениям (δ=10 мм);
- толщина лакокрасочного покрытия меньше проектных значений (240 мкм) и потому покрытие не обеспечивает антикоррозионную защиту стоек; об этом же свидетельствуют обнаруженные при обследовании следы ржавчины на поверхности стоек;
- марка стали использованных старогодных труб соответствует проектной 09Г2С-6 в соответствии с ГОСТ 19281-89; механические характеристики металла по данным измерения твердости не ниже нормативных значений (временное сопротивление разрыву, $s_в$,=470 МПа и предел текучес6ти $s_т$=320 МПа).

Следовательно, основные геометрические и прочностные параметры стоек пилонов пешеходного моста соответствуют проектным значениям. Для обеспечения дальнейшей долговечной эксплуатации стоек пилонов необходимо заглушить верхнюю часть стоек, закрыв доступ воды внутрь стоек, и выполнить качественную антикоррозионную защиту металлоконструкций в соответствии с [11].

Построенные расчетные схемы пешеходного моста позволяют провести анализ напряженно-деформированного состояния стоек пилонов из старогодных труб на действие проектных нагрузок, который будет рассмотрен во второй части настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парышев Д.Н., Овчинников И.Г., Снегирев Г.В., Моисеев О.Ю., Харин В.В. Применение эффективного сварного профиля из элементов старогодных труб в пролетных строениях мостов // Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы первой международной научно-практической конференции. Курган. 23-24 мая 2013. с. 316-319.
2. Овчинников И.И., Миронов М.Ю., Овчинников И.Г., Снегирев Г.В., Черных В.К., Моисеев О.Ю. Обеспечение сохранности малых и средних мостов с металлическими пролетными строениями // Интернет-журнал "Науковедение" №5, 2013. с. 1-17.
3. Овчинников И.И., Снегирев Г.В., Овчинников И.Г., Черных В.К., Моисеев О.Ю. Харин В.В., Кокин А.А., Джумагалиев Э.С. Возможности эффективного применения старогодных труб при сооружении малых и средних мостов // Интернет-журнал "Науковедение" №5, 2013. с. 1-10.
4. Овчинников И.Г., Черных В.К., Кокин А.А., Джумагалиев Э.С., Снегирев Г.В. Инновационные конструкции пролетных строений мостов с использованием старогодных труб // Материалы межвузовской научно-практической конференции «Инновационные технологии в мостостроении и дорожной инфраструктуре». Изд. Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва. Спб. 2014. с. 291-297.
5. Черных В.К., Овчинников И.Г. Обеспечение сохранности пролетных строений мостов из старогодных труб // Новые идеи нового века – 2014: материалы Четырнадцатой Международной научной конференции = The new Ideas of New Century – 2014: The Fourteenth International Scentific Conference Proceedings: в 3 т. / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 3 т. с. 411 – 414.
6. Моисеев О.Ю., Парышев Д.Н., Овчинников И.Г., Копырин В.И., Харин В.В. Основные направления развития малого мостостроения // Инновации и исследования в транспортном комплексе. Материалы III Международной научно-практической конференции. Часть I (в двух частях) - Курган, 2015. - 384 с. с. 228-233.
7. Бахтин С.А., Овчинников И.Г., Инамов Р.Р. Висячие и вантовые мосты. Проектирование, расчет, особенности конструирования. Изд-во СГТУ, Саратов, 1999, 124 с.
8. 8.Овчинников И.Г., Бахтин С.А., Кисин Б.С., Инамов Р.Р. Вантовые и висячие мосты. ВолгГАСА. Волгоград. 2002. 103 с.
9. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Бахтин С.А., Овчинников И.И. Висячие и вантовые мосты: эстетические проблемы. Саратов: Сарат. Гос. Техн. ун-т. 2002. 107 с.
10. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. Учебное пособие. Саратов. СГТУ. 2005. 226 с.
11. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания / И.Г. Овчинников, А.И. Ликверман, О.Н. Распоров и др. – Саратов: Изд-во «Кубик», 2014. – 504 с.: ил. 155., табл. 23., библ. 175 наим.

Ovchinnikov Ilya Igorevich
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Moscow state automobile & Road technical university
Sochi branch, Russia, Sochi
E-mail: bridgeart@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich
Penza State University of Architecture and Construction, Russia, Penza
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Perm national research polytechnic university, Russia, Perm
E-mail: bridgesar@mail.ru

Valiev Sherali Nazaralievich
The Moscow automobile and road construction state technical university, Russia, Moscow
E-mail: Mosti.madi@mail.ru

Zarudny Andrey Igorevich
Institute «Proektmostorekonstruktsiya», Russia, Saratov
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

Suitability evaluation of the used metal pipes in the capacity of pylons of a pedestrian bridge across the river Belaya. Part 1: Visual and instrumental inspection and plotting of design diagram

Abstract. Whereas it is necessary to continue construction of a pedestrian bridge, for which the foundations and pylons made of the used pipes were built, the engineers were confronted with a problem of suitability evaluation of these pylons for further use with due account for their service state and the intended bridgework gravity loads as well as other design loads.

This article presents the results of the visual and instrumental inspection of the current state of suspension pedestrian bridge pylon legs. Analysis of the inspection results showed that the wall thickness of the used pipes of pylon legs meet the design values; thickness of the paint coating is less than the design values and so the coating does not provide anticorrosion protection of legs; steel grade of the used pipes corresponds to the design one; according to the hardness measurement data the metal mechanical characteristics are not lower than the regulatory values.

To ensure long-lasting operation of pylon legs, the authors recommend to suppress the top legs, closing the access of water inside them, and perform the high-quality anticorrosion protection of steel structures. Further, the article considers the problem of plotting pedestrian bridge design diagrams, including the intended loads, for the analysis of stress-strain state of the pylon legs made of used pipes, which will be considered in the second part of this work.

Keywords: pedestrian bridge; pylons; used pipes; inspection of bridge; plotting of design diagram; design analysis

REFERENCES

1. Paryshev D.N., Ovchinnikov I.G., Snegirev G.V., Moiseev O.Yu., Kharin V.V. Primenenie effektivnogo svarnogo profilya iz elementov starogodnykh trub v proletnykh stroeniyakh mostov // Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy pervoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan. 23-24 maya 2013. s. 316-319.

2. Ovchinnikov I.I., Mironov M.Yu., Ovchinnikov I.G., Snegirev G.V., Chernykh V.K., Moiseev O.Yu. Obespechenie sokhrannosti malykh i srednikh mostov s metallicheskimi proletnymi stroeniyami // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №5, 2013. s. 1-17.

3. Ovchinnikov I.I., Snegirev G.V., Ovchinnikov I.G., Chernykh V.K., Moiseev O.Yu. Kharin V.V., Kokin A.A., Dzhumagaliev E.S. Vozmozhnosti effektivnogo primeneniya starogodnykh trub pri sooruzhenii malykh i srednikh mostov // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №5, 2013. s. 1-10.

4. Ovchinnikov I.G., Chernykh V.K., Kokin A.A., Dzhumagaliev E.S., Snegirev G.V. Innovatsionnye konstruktsii proletnykh stroeniy mostov s ispol'zovaniem starogodnykh trub // Materialy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v mostostroenii i dorozhnoy infrastrukture». Izd. Voennoy akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya imeni generala armii A.V. Khruleva. Spb. 2014. s. 291-297.

5. Chernykh V.K., Ovchinnikov I.G. Obespechenie sokhrannosti proletnykh stroeniy mostov iz starogodnykh trub // Novye idei novogo veka – 2014: materialy Chetyrnadtsatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii = The new Ideas of New Century – 2014: The Fourteenth International Scentific Conference Proceedings: v 3 t. / Tikhookean. gos. un-t. – Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2014. – 3 t. s. 411 – 414.

6. Moiseev O.Yu., Paryshev D.N., Ovchinnikov I.G., Kopyrin V.I., Kharin V.V. Osnovnye napravleniya razvitiya malogo mostostroeniya // Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' I (v dvukh chastyakh) - Kurgan, 2015. - 384 s. s. 228-233.

7. Bakhtin S.A., Ovchinnikov I.G., Inamov R.R. Visyachie i vantovye mosty. Proektirovanie, raschet, osobennosti konstruirovaniya. Izd-vo SGTU, Saratov, 1999, 124 s.

8. 8.Ovchinnikov I.G., Bakhtin S.A., Kisin B.S., Inamov R.R. Vantovye i visyachie mosty. VolgGASA. Volgograd. 2002. 103 s.

9. Ovchinnikov I.G., Inamov R.R., Bakhtin S.A., Ovchinnikov I.I. Visyachie i vantovye mosty: esteticheskie problemy. Saratov: Sarat. Gos. Tekhn. un-t. 2002. 107 s.

10. Ovchinnikov I.G., Dyadchenko G.S. Peshekhodnye mosty: konstruktsiya, stroitel'stvo, arkhitektura. Uchebnoe posobie. Saratov. SGTU. 2005. 226 s.

11. Zashchita ot korrozii metallicheskikh i zhelezobetonnykh mostovykh konstruktsiy metodom okrashivaniya / I.G. Ovchinnikov, A.I. Likverman, O.N. Rasporov i dr. – Saratov: Izd-vo «Kubik», 2014. – 504 s.: il. 155., tabl. 23., bibl. 175 naim.