

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

2015, Том 2, №2 / 2015, Vol 2, No 2 <http://t-s.today/issues/vol2-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/03TS215.pdf>

DOI: 10.15862/03TS215 (<http://dx.doi.org/10.15862/03TS215>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Зарудный А.И. Оценка пригодности старогодных металлических труб в качестве пилонов пешеходного моста через реку Белая. Часть 2. Расчетный анализ напряженно-деформированного состояния стоек пилонов на действие проектных нагрузок // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 2, №2 (2015) <http://t-s.today/PDF/03TS215.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 2: Design analysis of stress-strain state of pylon legs resistant to the action of the design loads] Russian journal of transport engineering, 2015, Vol. 2, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/03TS215.pdf> (In Russ.)

**УДК 624.042**

**Овчинников Илья Игоревич**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов<sup>1</sup>  
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  
Профессор  
Доктор технических наук  
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

**Зарудный 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 2. Расчетный анализ напряженно-деформированного  
состояния стоек пилонов на действие проектных нагрузок**

<sup>1</sup> 410054, Саратов, Политехническая 77

**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. В первой части работы были приведены результаты визуального и инструментального обследования текущего состояния стоек пилонов пешеходного висячего моста и построены расчетные схемы пешеходного моста с пилонами из старогодных труб. В данной работе представлены результаты расчета пешеходного моста на действие различных сочетаний нагрузок, получены значения максимальных напряжений в сечениях стоек пилонов из старогодных труб, а также величины перемещений верхних концов стоек пилонов. Показано, что и максимальные напряжения, и перемещения при действии различных сочетаний нагрузок не превосходят предельных величин. Следовательно, эксплуатации стоек пилонов из старогодных труб возможна. Для обеспечения долговечной эксплуатации пилонов рекомендовано обеспечить их эффективную антикоррозионную защиту.

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

### Введение

В первой части настоящей работы [1] отмечено, что 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.

Отмечалось, 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 [2-7]. В данном же случае старогодные трубы были применены для сооружения пилонов пешеходного моста.

Анализ результатов проведенного 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. Далее в работе была рассмотрена задача построения расчетных схем пешеходного моста, включая предполагаемые нагрузки, для анализа напряженно-деформированного состояния стоек пилонов из старогодных труб, результаты которого и рассмотрены ниже.

На рис. 1 приведен общий вид и разрез рассчитываемого пешеходного моста. Сбор нагрузок и формирование расчетных схем для компьютерного анализа проведено в первой части настоящей работы [1].

### 1. Особенности расчета конструкций с учетом нелинейностей различного вида

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

Но сначала в связи с возможностью проявления нелинейных свойств рассматриваемой системы, рассмотрим особенности применения нелинейного шагового процессора для решения нелинейных задач.

Сначала заметим, что в конструкциях могут появляться нелинейности различных видов. Наиболее известными из них являются геометрическая и физическая нелинейность. Менее известна, но в последнее время широко исследуется конструктивная нелинейность, учитывающая возможность изменения расчетной схемы сооружения в процессе ее нагружения или деформирования во времени. Еще менее известна так называемая генетическая нелинейность, проявляющаяся при описании поведения конструкций в процессе их возведения.

Также обратим внимание на то, что при решении задач нужно различать их нелинейную и краевую части. Так вот, все известные методы, такие как метод конечных разностей, вариационные методы различных видов и модификаций, методы коллокаций, методы конечных элементов предназначены для решения именно краевых задач или, по крайней мере, для решения краевых частей сложных задач расчета конструкций. А для решения нелинейных задач или нелинейных частей задач существуют три основных метода: метод последовательных приближений (или в трактовке теории упругости – метод упругих решения А.А. Ильюшина); метод переменных коэффициентов (или в трактовке теории упругости - метод переменных параметров И.А. Биргера) и шаговые методы (метод продолжения по параметру, метод последовательных нагружений или нагреваний, метод последовательных возмущений параметров).

В программном комплексе Лира для решения нелинейных задач используется шаговый нелинейный процессор, который предназначен для решения физически и геометрически нелинейных, а также контактных задач.

В линейных задачах существует прямая пропорциональность между нагрузками и перемещениями вследствие малости перемещений, а также между напряжениями (усилиями) и деформациями вследствие линейного закона Гука. Поэтому для линейных задач справедлив принцип суперпозиции и независимости действия сил.

В физически нелинейных задачах отсутствует прямая пропорциональность между напряжениями и деформациями. Материал конструкции подчиняется нелинейному закону деформирования. Закон деформирования может быть и несимметричным – с различными пределами сопротивления растяжению и сжатию.

В геометрически нелинейных задачах отсутствует прямая пропорциональность между деформациями и перемещениями. На практике наибольшее распространение имеет случай больших перемещений при малых деформациях.

В задачах конструктивной нелинейности имеет место изменение расчетной схемы по мере деформирования конструкции – например, в момент достижения некоторой точкой конструкции определенной величины перемещения возникает контакт этой точки с опорой.

Для решения таких задач шаговый нелинейный процессор организует процесс пошагового нагружения конструкции и обеспечивает решение линеаризованной системы уравнений на каждом шаге для текущего приращения вектора узловых нагрузок, сформированного для конкретного нагружения.

Шаговый нелинейный процессор позволяет получить напряженно-деформированное состояние для мономатериальных и для биматериальных, в частности железобетонных, конструкций.

Моделирование физической нелинейности производится с помощью библиотеки законов деформирования материалов.

Моделирование геометрической нелинейности производится с помощью конечных элементов, учитывающих изменение геометрии конструкции и возникновение мембранной группы напряжений (усилий), что позволяет рассчитывать мембранные и вантовые конструкции.

Моделирование конструктивной нелинейности обеспечивается наличием специальных конечных элементов с односторонними связями.

Матрица жесткости линеаризованной физически нелинейной системы формируется на основании переменных интегральных жесткостей, получаемых в точках интегрирования как по сечению, так и по конечному элементу при решении линейной задачи на каждом шаге. Сечение конечного элемента в точках интегрирования дробится на ряд элементарных подобластей, в центрах которых определяются новые значения жесткостных характеристик в соответствии с заданной диаграммой деформирования. На каждом шаге решается линеаризованная задача с формированием векторов перемещений, усилий (напряжений) и новых жесткостей по касательному модулю деформации для следующего шага.

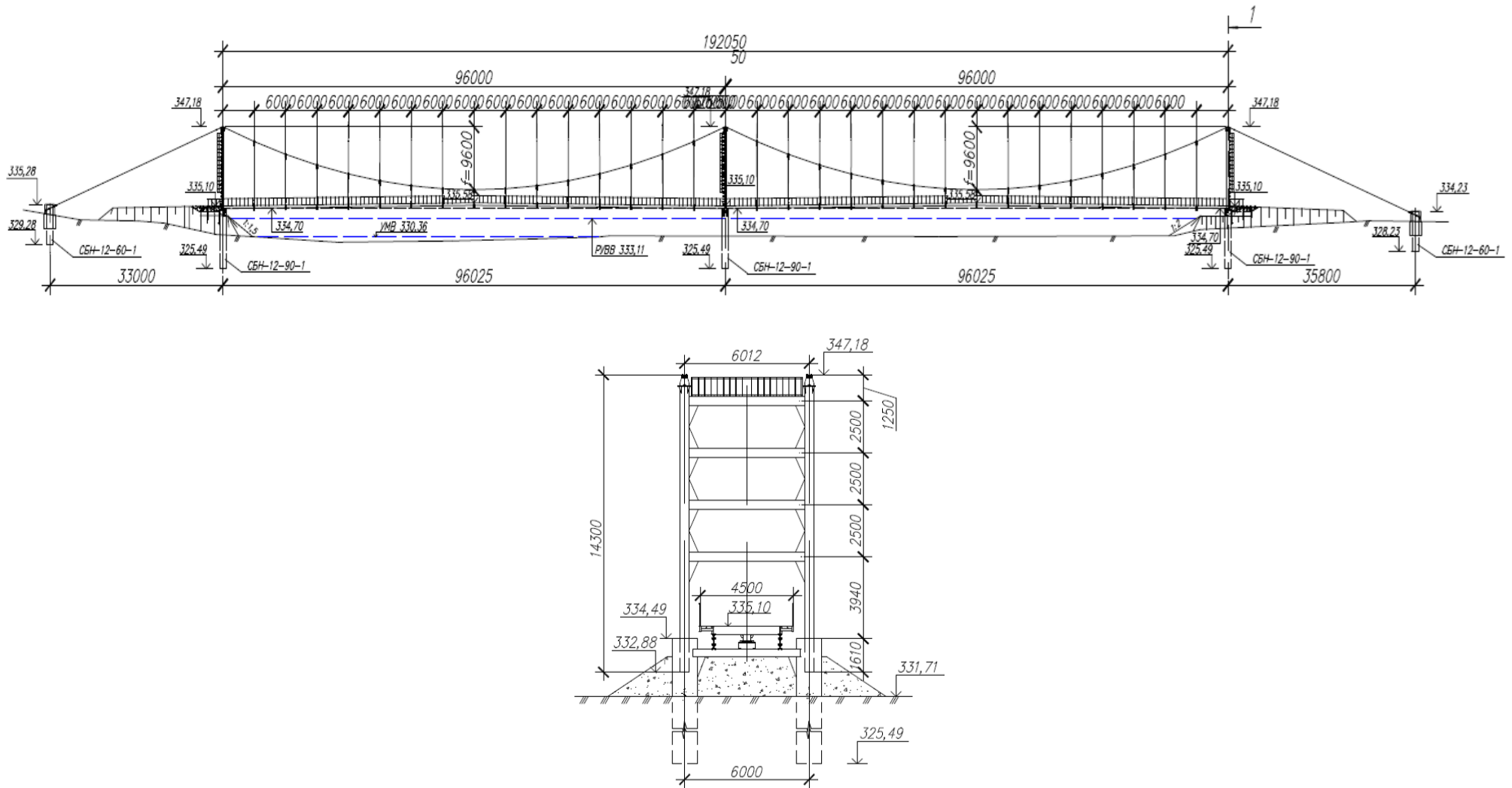
При расчете геометрически нелинейных систем считается, что закон Гука соблюдается. На каждом шаге происходит учет мембранной группы усилий (для стержней – учет продольной силы) при построении матрицы жесткости.

Для решения нелинейных задач необходимо задавать информацию о количестве шагов и коэффициентах к нагрузке. Схема может содержать несколько нагружений, из которых может быть сформирована последовательность (история) нагружений.

Для решения геометрически нелинейных задач реализован автоматический выбор шага нагружения.

## **2. Результаты расчета вантового моста с пилонами из старогородных труб**

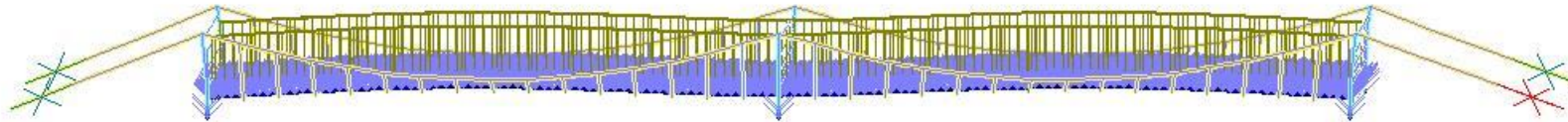
Ниже на рисунках 2 – 11 приведены результаты расчета вантового моста в ПК Лира – САПР. Расчетный анализ пешеходного моста с использованием подходов, рассмотренных в работах [8-11].



*Рисунок 1. Общий вид пешеходного моста. Составлен авторами*  
*Figure 1. General view of the pedestrian bridge. Comprised by authors*

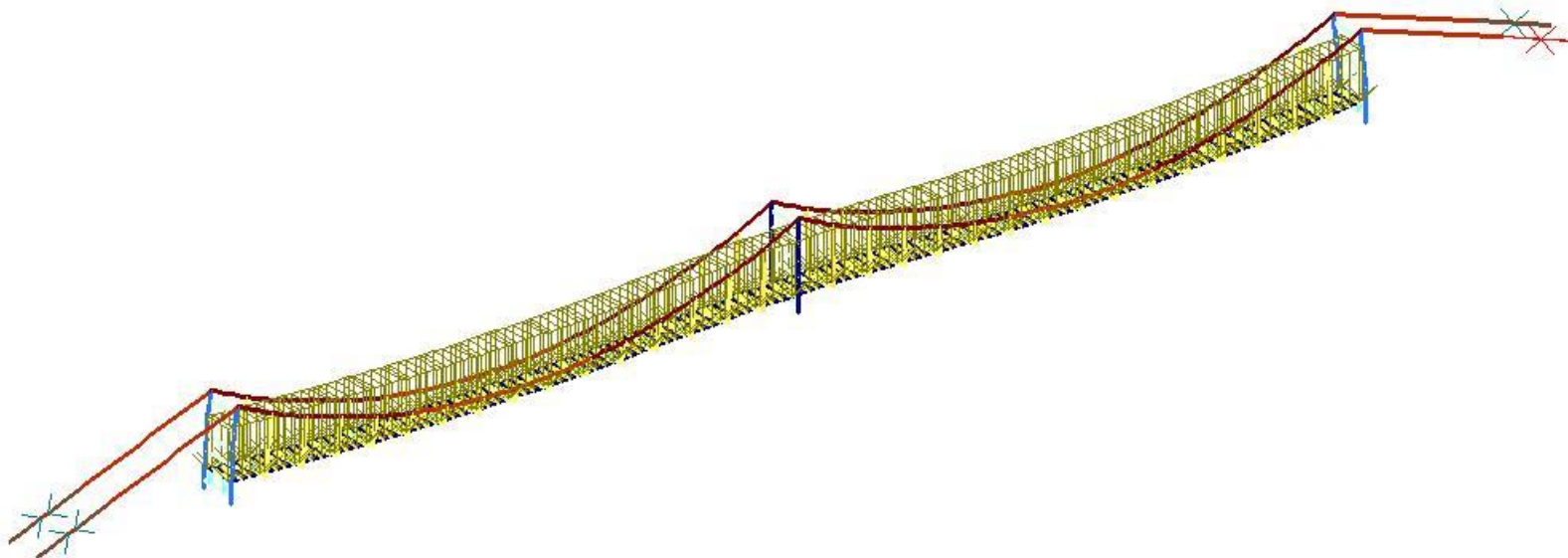
Результаты расчета в ПК Лира-САПР

Эпюры нормальных усилий N:



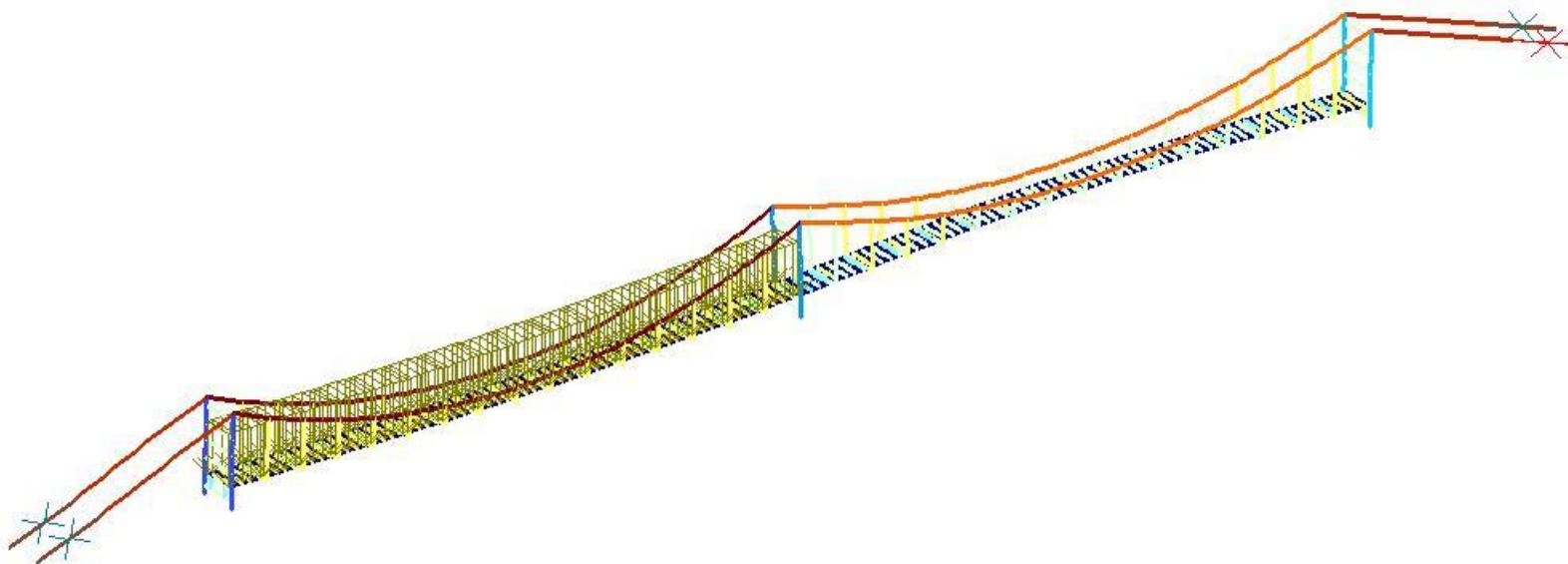
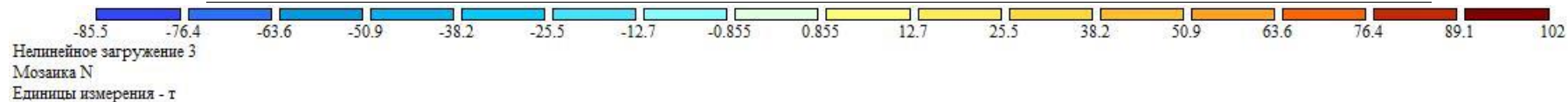
**Рисунок 2.** Эпюра N от собственного веса конструкций моста. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 8721(стержень) (стойка пилона опоры 2 с подветренной стороны)  $N = -47,715$  т)

**Figure 2.** Plot N of dead weight of the bridge constructions. Comprised by the authors.  
(maximum force in the element 8721 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from downwind)  $N = -47,715$  tons)



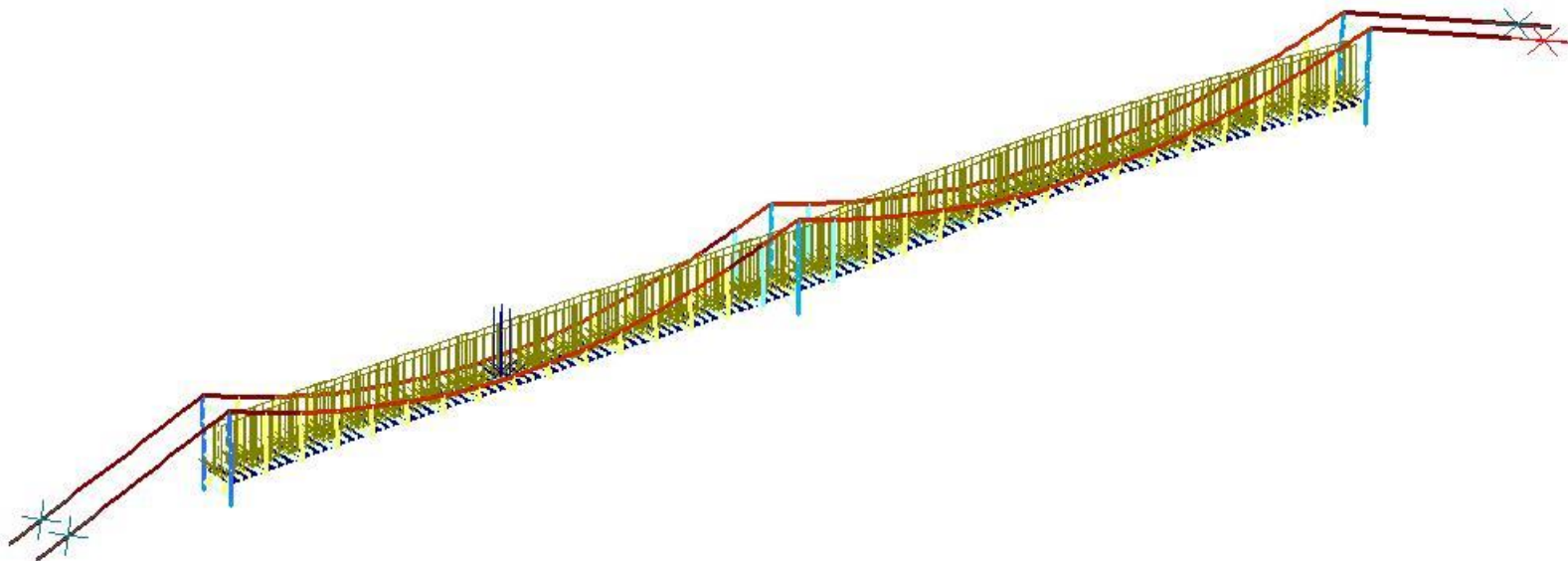
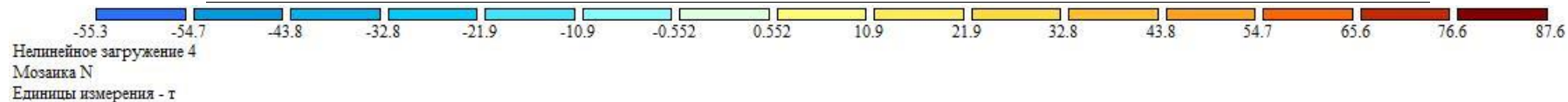
**Рисунок 3.** Эпюра  $N$  от пешеходной временной нагрузки в пролетах 1 и 2. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 8721 (стержень) (стойка пилон опоры 2 с подветренной стороны)  $N = -109,889$  т)

**Figure 3.** Plot  $N$  of the pedestrian temporary load in the spans 1 and 2. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 8721 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from downwind)  $N = -109,889$  tons)



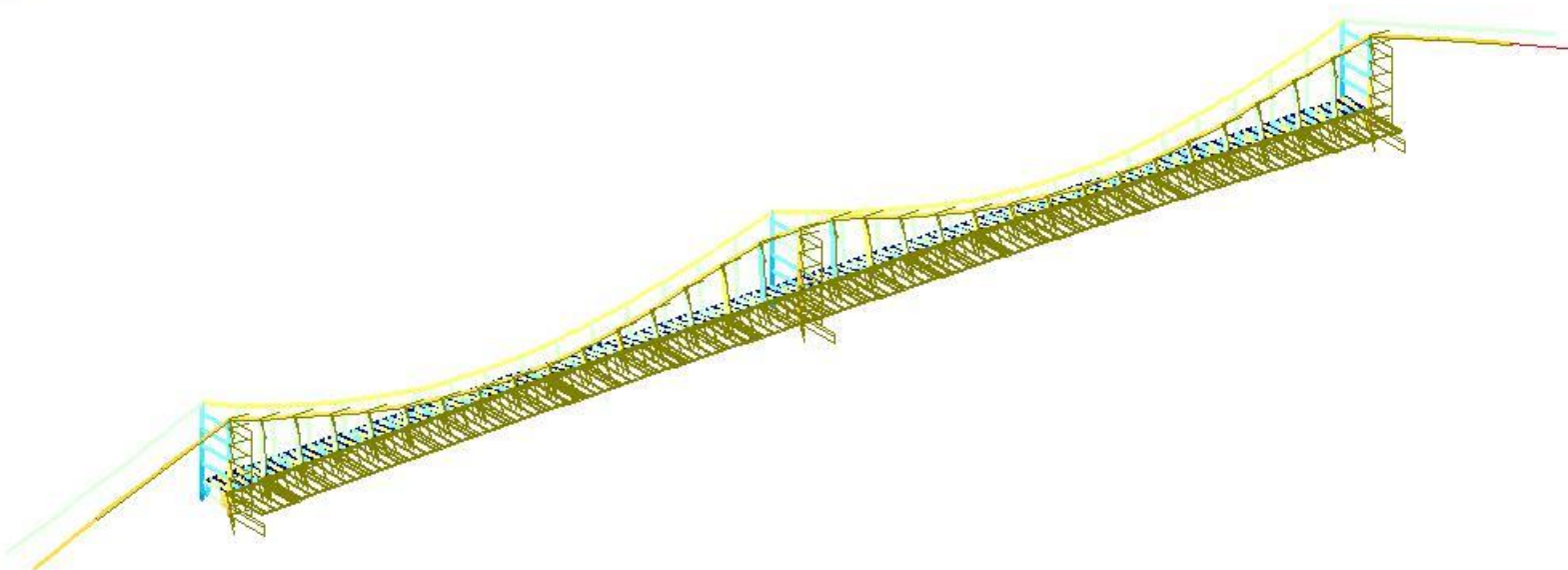
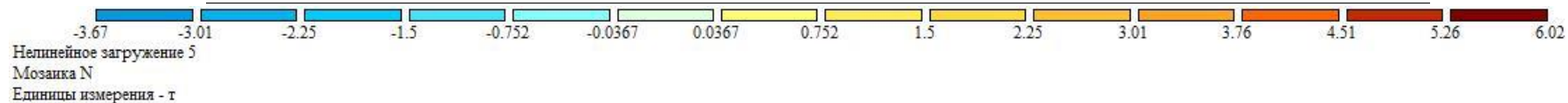
**Рисунок 4.** Эпюра  $N$  от пешеходной временной нагрузки в пролете 1. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 8721 (стержень) (стойка пилона опоры 1 с наветренной стороны)  $N = -85,5$  т)

**Figure 4.** Plot  $N$  of the pedestrian temporary load in the span 1. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 8721 (rod) (leg of the pylon bearing 1 from upwind)  $N = -85,5$  tons)



**Рисунок 5.** Эпюра  $N$  от временной нагрузки А8 класса АК в пролетах 1 и 2. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 5 (стержень) (стойка пилон опоры 1 с наветренной стороны)  $N = -55,3$  т)

**Figure 5.** Plot  $N$  of the temporary load A8 AK-class in the spans 1 and 2. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 5 (rod) (leg of the pylon bearing 1 from upwind)  $N = -55,3$  tons)

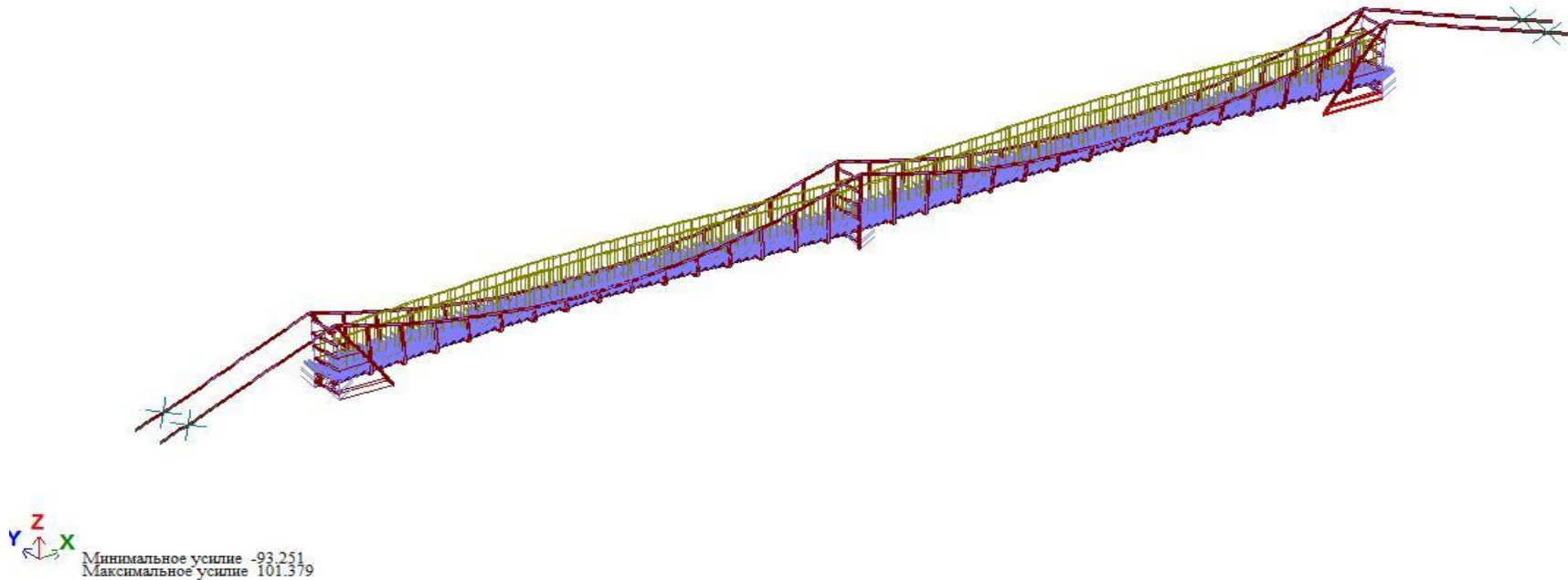


**Рисунок 6.** Эпюра  $N$  от статической и динамической нагрузки от ветра. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 8721(стержень) (стойка пилон опоры 2 с подветренной стороны)  $N = -2,42 \text{ т}$ )

**Figure 6.** Plot  $N$  of the static and dynamic wind loads. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 8721 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from downwind)  $N = -2,42 \text{ m}$ )

Эпюры моментов  $M_y$ :

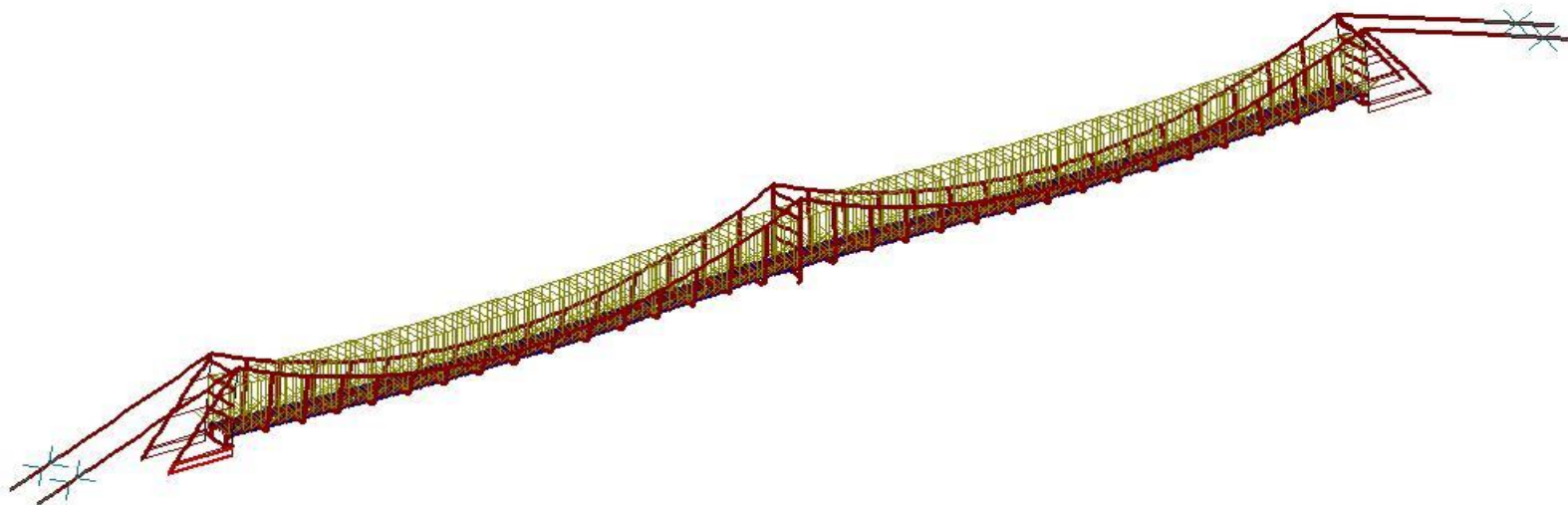
Нелинейное нагружение 1  
Эпюра  $M_y$   
Единицы измерения - т\*м




**Рисунок 7.** Эпюра  $M_y$  от собственного веса конструкций моста. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 8721 (стержень) (стойка пилон опоры 2 с подветренной стороны)  $M_y = -0,2067 \text{ т*м}$ )

**Figure 7.** Plot  $M_y$  of dead weight bridge constructions. Comprised by the authors.  
(maximum force in the element 8721 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from downwind)  $M_y = -0,2067 \text{ т/м}$ )

Нелинейное нагружение 2  
Эпюра  $M_y$   
Единицы измерения - т\*м

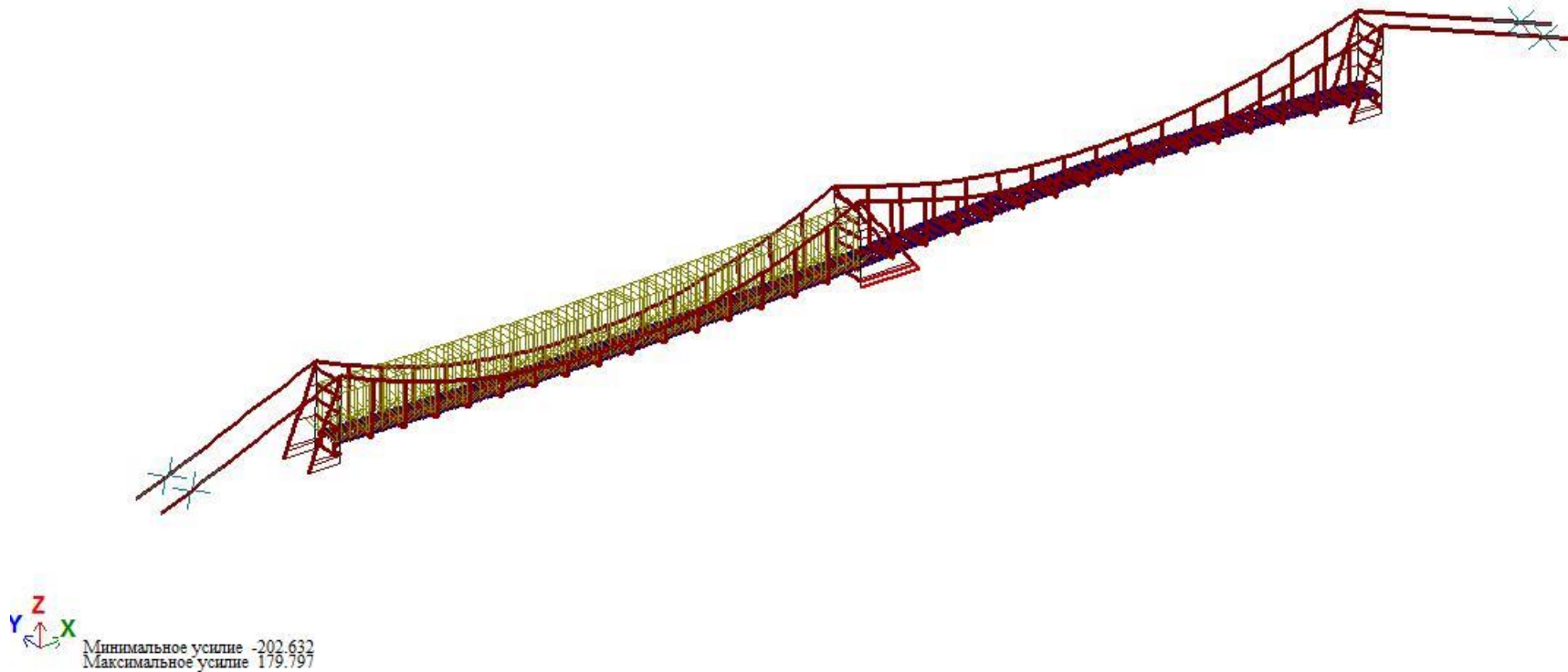


 Минимальное усилие -195,716  
Максимальное усилие 202,73

**Рисунок 8.** Эпюра  $M_y$  от пешеходной временной нагрузки в пролетах 1 и 2. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 33(стержень) (стойка пилона опоры 3 с наветренной стороны)  $M_y = -195,88 \text{ т*м}$ , стойка пилона опоры 1 с наветренной стороны)  $M_y = 20,2854 \text{ т*м}$ )

**Figure 8.** Plot  $M_y$  of a pedestrian temporary load in the spans 1 and 2. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 33 (rod) (leg of the pylon bearing 3 from upwind)  $M_y = -195,88 \text{ t/m}$ , leg of the pylon bearing 1 from upwind)  $M_y = 20,2854 \text{ t/m}$ )

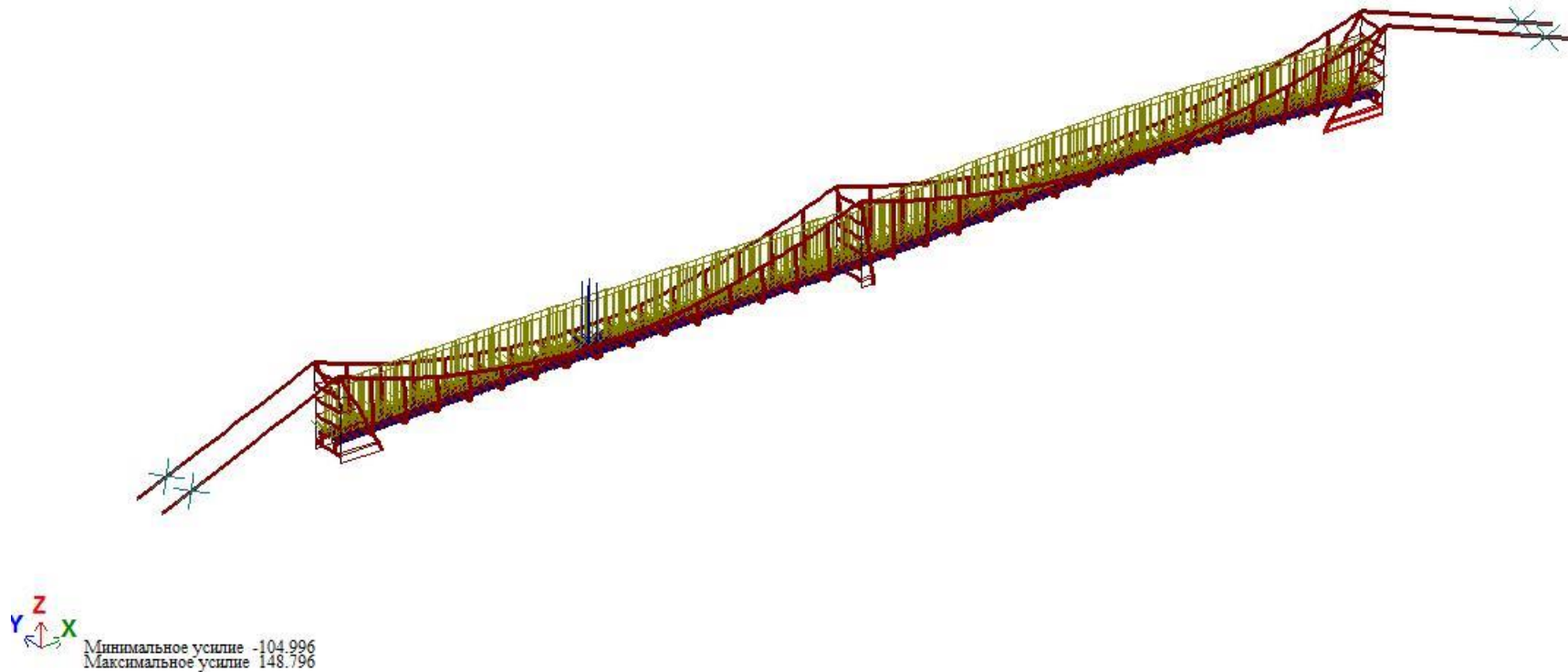
Нелинейное нагружение 3  
Эпюра  $M_y$   
Единицы измерения - т\*м



**Рисунок 9.** Эпюра  $M_y$  от пешеходной временной нагрузки в пролете 1. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 38 (стержень) (стойка пилона опоры 2 с наветренной стороны)  $M_y = -20,296 \text{ т*м}$ )

**Figure 9.** Plot  $M_y$  of a pedestrian temporary load in the span 1. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 38 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from upwind)  $M_y = -20,296 \text{ т/m}$ )

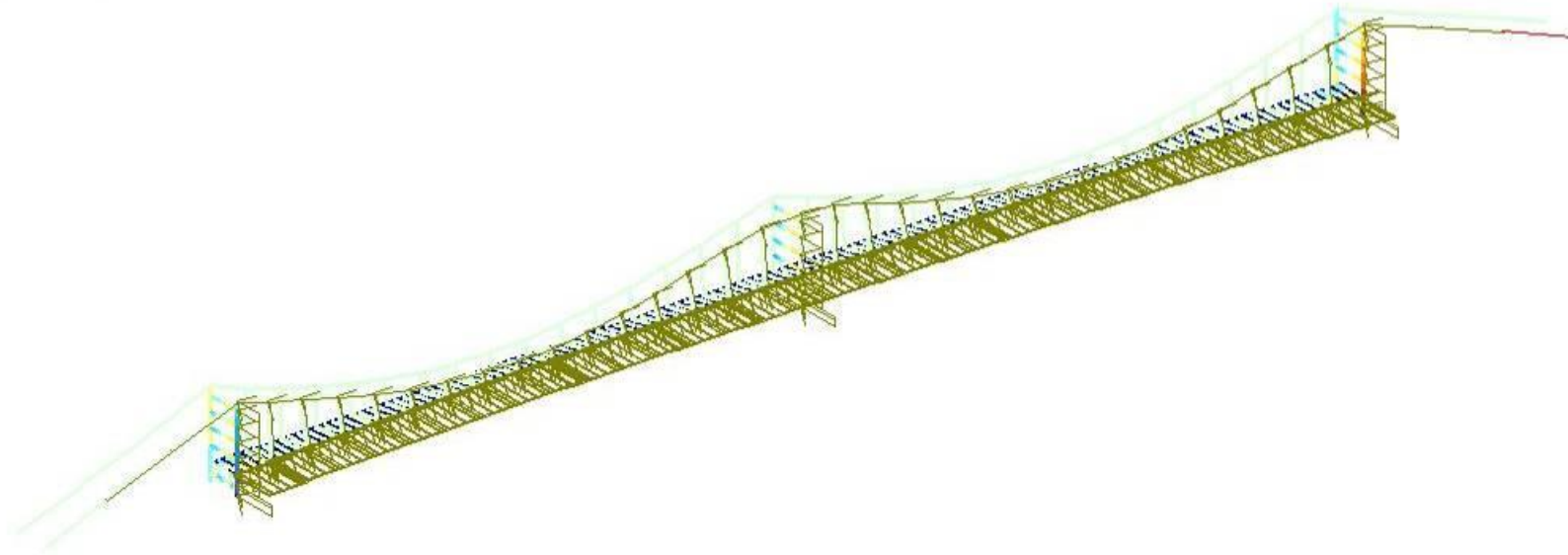
Нелинейное нагружение 4  
Эпюра My  
Единицы измерения - т\*м



**Рисунок 10.** Эпюра  $M_y$  от временной нагрузки А8 класса АК в пролетах 1 и 2. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 5 (стержень) (стойка пилона опоры 1 с подветренной стороны)  $M_y = -10,493 \text{ т*м}$ )

**Figure 10.** Plot N of the temporary load A8 AK-class in the spans 1 and 2. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 5 (rod) (leg of the pylon bearing 1 from downwind)  $M_y = -10,493 \text{ t/m}$ )

Нелинейное нагружение 5  
Мозаика My  
Единицы измерения - т\*м



**Рисунок 11.** Эюра  $M_y$  от статической и динамической нагрузки от ветра. Составлен авторами.  
(максимальное усилие в элементе 38 (стержень) (стойка пилон опоры 2 с наветренной стороны)  $M_y = 0,577 \text{ т*м}$ )

**Figure 11.** Plot  $M_y$  of the static and dynamic wind loads. Comprised by authors.  
(maximum force in the element 38 (rod) (leg of the pylon bearing 2 from upwind)  $M_y = 0,577 \text{ t/m}$ )

**Анализ результатов расчета по первому предельному состоянию**

С использованием результатов расчета висячего пешеходного моста в ПК Лира-САПР определим максимальные продольные усилия  $N$  и изгибающие моменты  $M$  от расчетных нагрузок на стойки пилонов, которые используются для дальнейшего расчета сечения стоек пилона по п. 4.28 СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы» для сжато – изгибаемых элементов:

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{\chi \cdot W} \leq R \cdot m,$$

где  $N$  – продольное усилие, действующее в сечении;  $A=130,7 \text{ см}^2$  – площадь поперечного сечения;  $M$  – изгибающий момент, действующий в сечении;  $\chi = 1,15$  – коэффициент, принимаемый по п. 4.26 для кольцевых сечений;  $W=1328,16 \text{ см}^3$  – момент сопротивления сечения;  $R=3100 \text{ кг/см}^2$  – расчетное сопротивление материала (металла);  $m=0,9$  – коэффициент условия работы для элементов и их соединений в пролетных строениях и опорах железнодорожных и пешеходных мостов при расчете на эксплуатационные нагрузки по таблице 60 СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы».

Для удобства анализа результатов расчета трубчатой стойки пилона опоры 2 с подветренной стороны сведем все данные в таблицу 1.

**Таблица 1**  
**Величины усилий в стойке пилона опоры 2 от действия различных сочетаний нагрузок**  
 (составлена авторами)

**Table 1**  
**Values of forces in the pylon bearing leg 2 as a result of action of different combinations**  
**of loads (comprised by authors)**

Нелинейное загружение	1 (собственный вес)	2 (временная пешеходная нагрузка в 1 и 2 пролете)	3 (временная пешеходная нагрузка в 1 пролете)	4 (временная нагрузка А8 в 1 и 2 пролетах)	5 (ветровая нагрузка)	Сочетание 1+2+5	Сочетание 1+3+5	Сочетание 1+4+5
Усилие								
$N, \text{т}$	-47.715	-109.889	-52.95	-35.858	-2.42	-160.024	-103.085	-85.993
$M_y, \text{т}^*\text{м}$	-0.206	-0.16	12.39	1.957	-0.004	-0.37	12.18	1.747
$M_z, \text{т}^*\text{м}$	-0.064	0.0003	-0.0007	-0.0003	-1.328	-1.3917	-1.3927	-1.3923
$M_x, \text{т}^*\text{м}$	0	0	0.006	0.002	-0.005	-0.005	0.001	-0.003

С использованием значений усилий определены максимальные напряжения в стойке пилона опоры 2, которые сведены в таблицу 2

**Таблица 2**  
**Напряжения в стойке пилона опоры 2 при разных сочетаниях нагрузок**  
 (составлена авторами)

**Table 2**  
**Stresses in the pylon bearing leg 2 at the various combinations of loads (Comprised by authors)**

Сочетание	Напряжения, по п.4.28 кг/см <sup>2</sup>
1+2+5	1318.642908
1+3+5	1591.352608
1+4+5	804.2013749

Аналогично предыдущему, величины усилий в трубчатой стойке пилона опоры 1 с подветренной стороны сведены в таблицу 3.

**Таблица 3**

**Величины усилий в стойке пилона опоры 1 от действия различных сочетаний нагрузок (составлена авторами)**

**Table 3**

**Values of forces in the pylon bearing leg 1 as a result of action of different combinations of loads (comprised by authors)**

Нелинейное загружение	1 (собственный вес)	2 (временная пешеходная нагрузка в 1 и 2 пролете)	3 (временная пешеходная нагрузка в 1 пролете)	4 (временная нагрузка А8 в 1 и 2 пролетах)	5 (ветровая нагрузка)	Сочетание 1+2+5	Сочетание 1+3+5	Сочетание 1+4+5
Усилие								
N, T	-57.725	-77.47	-79.06	-55.2	-2.42	-137.615	-139.205	-115.345
M <sub>y</sub> , T*М	-5.707	12.4127	6.684	-6.427	-0.004	6.7017	0.973	-12.138
M <sub>z</sub> , T*М	0.11	-0.0001	-0.0001	-0.0003	-1.328	-1.2181	-1.2181	-1.2183
M <sub>x</sub> , T*М	0.018	-0.0008	-0.0003	0.002	-0.005	0.0122	0.0127	0.015

С использованием значений усилий из таблицы 3 определены максимальные напряжения в стойке пилона опоры 1, которые сведены в таблицу 4

**Таблица 4**

**Напряжения в стойке пилона опоры 1 при разных сочетаниях нагрузок (составлена авторами)**

**Table 4**

**Stresses in the pylon bearing leg 1 at the various combinations of loads (comprised by authors)**

Сочетание	Напряжения, по п.4.28 кг/см <sup>2</sup>
1+2+5	1498.866089
1+3+5	1167.142958
1+4+5	1681.202262

Аналогично предыдущему, величины усилий в трубчатой стойке пилона опоры 3 с подветренной стороны сведены в таблицу 5.

**Таблица 5**

**Величины усилий в стойке пилона опоры 3 от действия различных сочетаний нагрузок (составлена авторами)**

**Table 5**

**Values of forces in the pylon bearing leg 3 as a result of action of different combinations of loads (comprised by authors)**

Нелинейное загружение	1 (собственный вес)	2 (временная пешеходная нагрузка в 1 и 2 пролете)	3 (временная пешеходная нагрузка в 1 пролете)	4 (временная нагрузка А8 в 1 и 2 пролетах)	5 (ветровая нагрузка)	Сочетание 1+2+5	Сочетание 1+3+5	Сочетание 1+4+5
Усилие								
N, T	-47.839	-75.52	-36.58	-47.839	-2.42	-125.779	-86.839	-98.098
M <sub>y</sub> , T*М	-0.2	-11.988	6.525	9.115	-0.004	-12.192	6.321	8.911
M <sub>z</sub> , T*М	-0.064	-0.0002	0.0009	0.0003	-1.328	-1.3922	-1.3911	-1.3917
M <sub>x</sub> , T*М	0	-0.0001	-0.003	-0.0008	-0.005	-0.0051	-0.008	-0.0058

С использованием значений усилий из таблицы 5 определены максимальные напряжения в стойке пилона опоры 3, которые сведены в таблицу 6.

**Таблица 6**

**Напряжения в стойке пилона опоры 3 при разных сочетаниях нагрузок  
(составлена авторами)**

**Table 6**

**Stresses in the pylon bearing leg 3 at the various combinations of loads (comprised by authors)**

Сочетание	Напряжения, по п.4.28 кг/см <sup>2</sup>
1+2+5	1765.763747
1+3+5	1088.163002
1+4+5	1341.046683

Сравним по п. 4.28 СНиП 2.05.03-84\* “Мосты и трубы” максимальные напряжения для различных сочетаний нагрузок в стойках пилона каждой опоры с предельными напряжениями, которые определяются по формуле:

$$3100 \text{ кг/см}^2 * 0,9 * 0,7 = 1953 \text{ кг/см}^2,$$

где 0,7 – коэффициент потери прочностных свойств в ходе деградации материала во время предыдущей эксплуатации (коэффициент на вторичное использование металлопроката).

Получим:

для опоры 1:  $1681,202 \text{ кг/см}^2 < 1953 \text{ кг/см}^2$ ;

для опоры 2:  $1591,352 \text{ кг/см}^2 < 1953 \text{ кг/см}^2$ ;

для опоры 3:  $1765,763 \text{ кг/см}^2 < 1953 \text{ кг/см}^2$ .

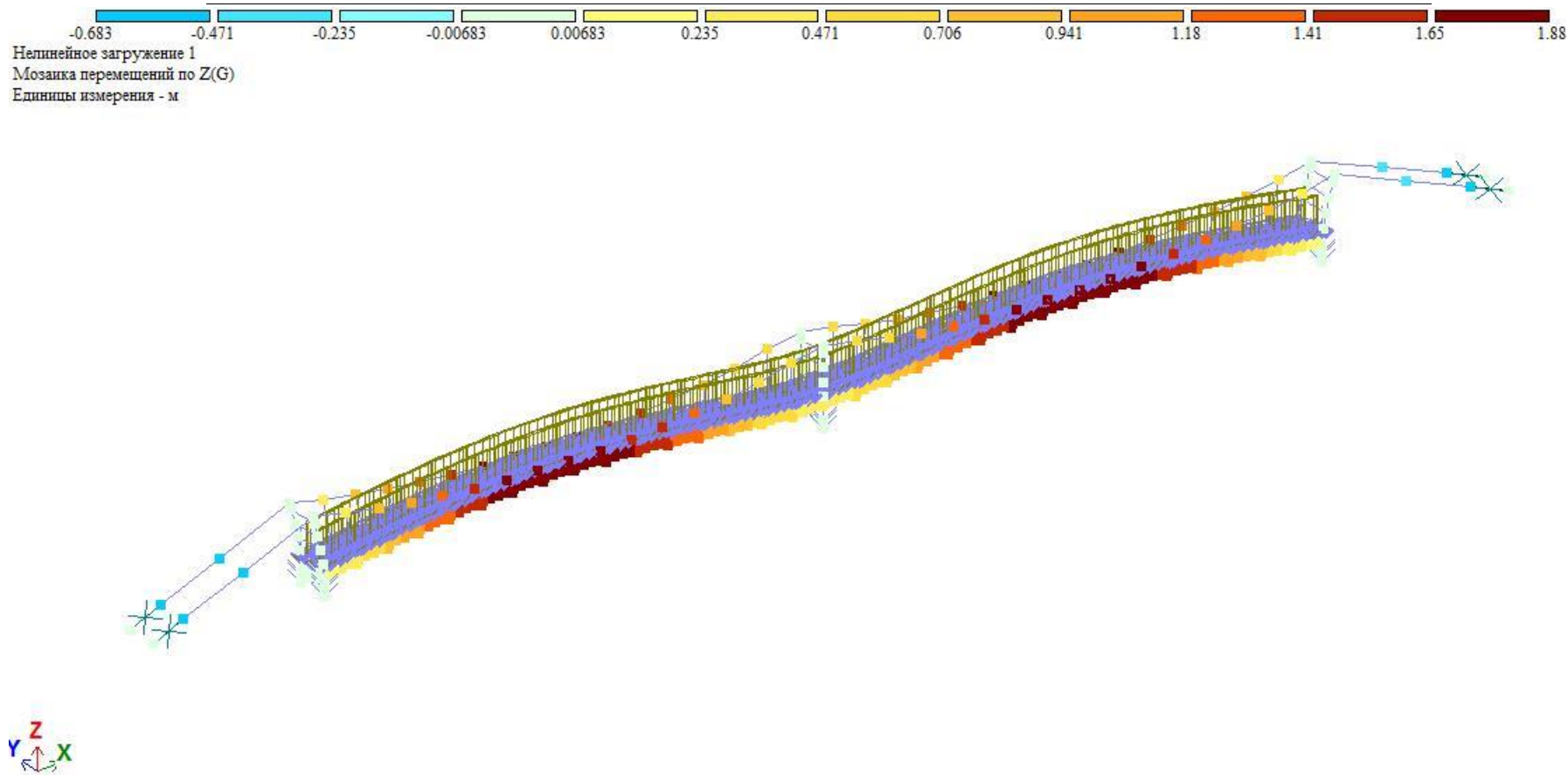
Следовательно, при расчете по первому предельному состоянию условие прочности выполняется для всех стоек пилонов всех трех опор.

### Расчет по второму предельному состоянию

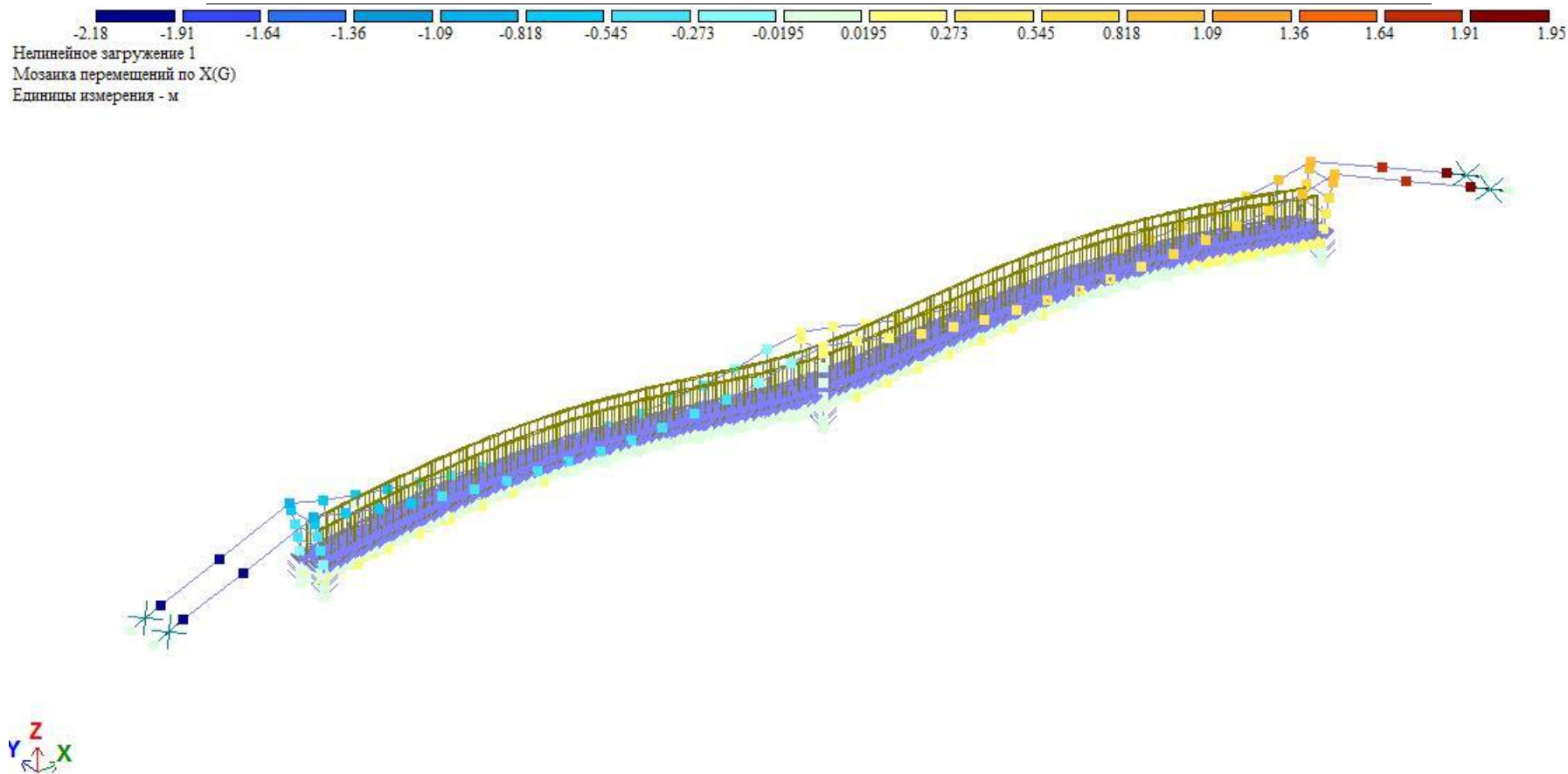
Расчет по второму предельному состоянию сводится к анализу перемещений (прогибов).

Для этого произведен расчет в ПК Лира-САПР висячего пешеходного моста на нормативные нагрузки: загрузка 1 – собственный вес конструкций пешеходного моста; загрузка 2 – временная пешеходная нагрузка ( $400 \text{ кг/м}^2$ ), согласно СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы, по всей длине моста; загрузка 3 – 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, определяются величины статической составляющей ветровой нагрузки. Значения динамической и статической составляющих ветровой нагрузки определяются 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).

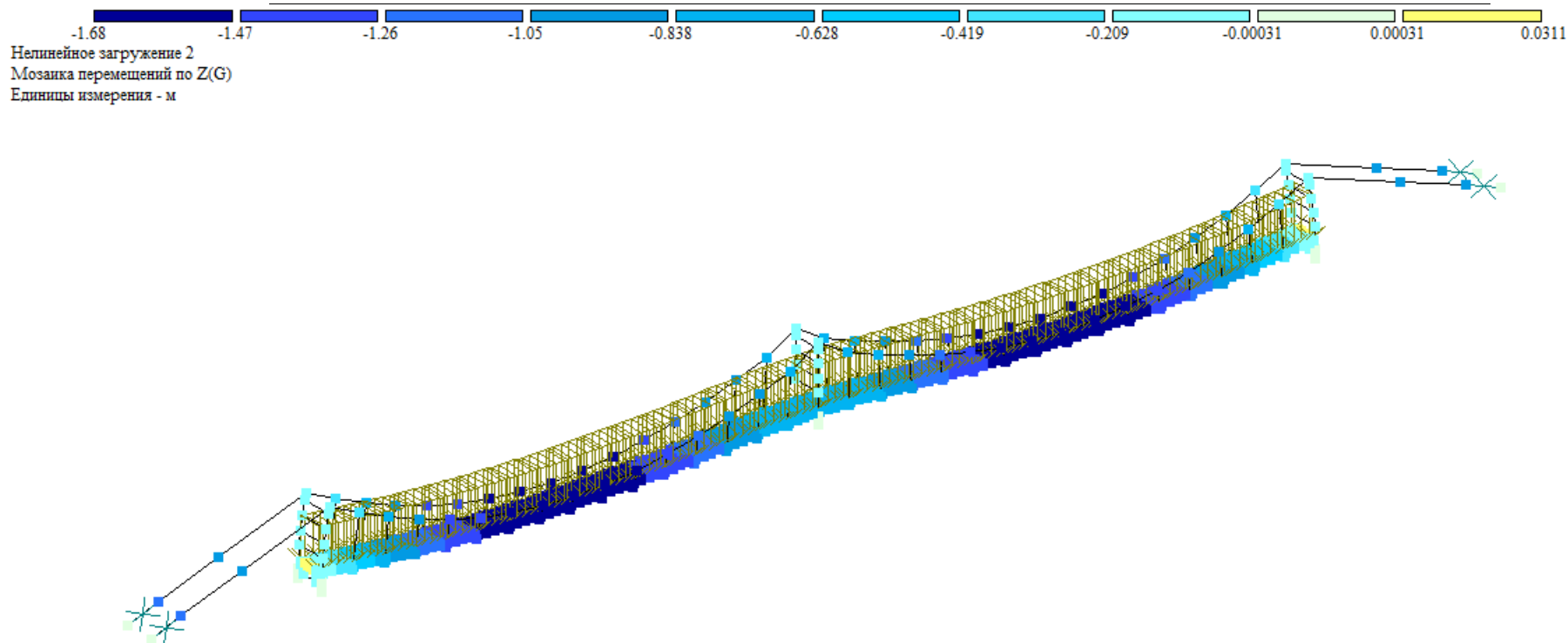
Результаты расчета в виде эпюр перемещений от различных загрузок приведены на рисунках.



**Рисунок 12.** Этюра перемещений от собственного веса конструкций моста по Z. Составлен авторами.  
(узел 879 (середина пролета 1) перемещение вверх 1522 мм)  
**Figure 12.** The displacement plot under the action of dead weight of bridge constructions along Z. Comprised by authors.  
(unit 879 (mid-span 1) upward movement 1522 mm)

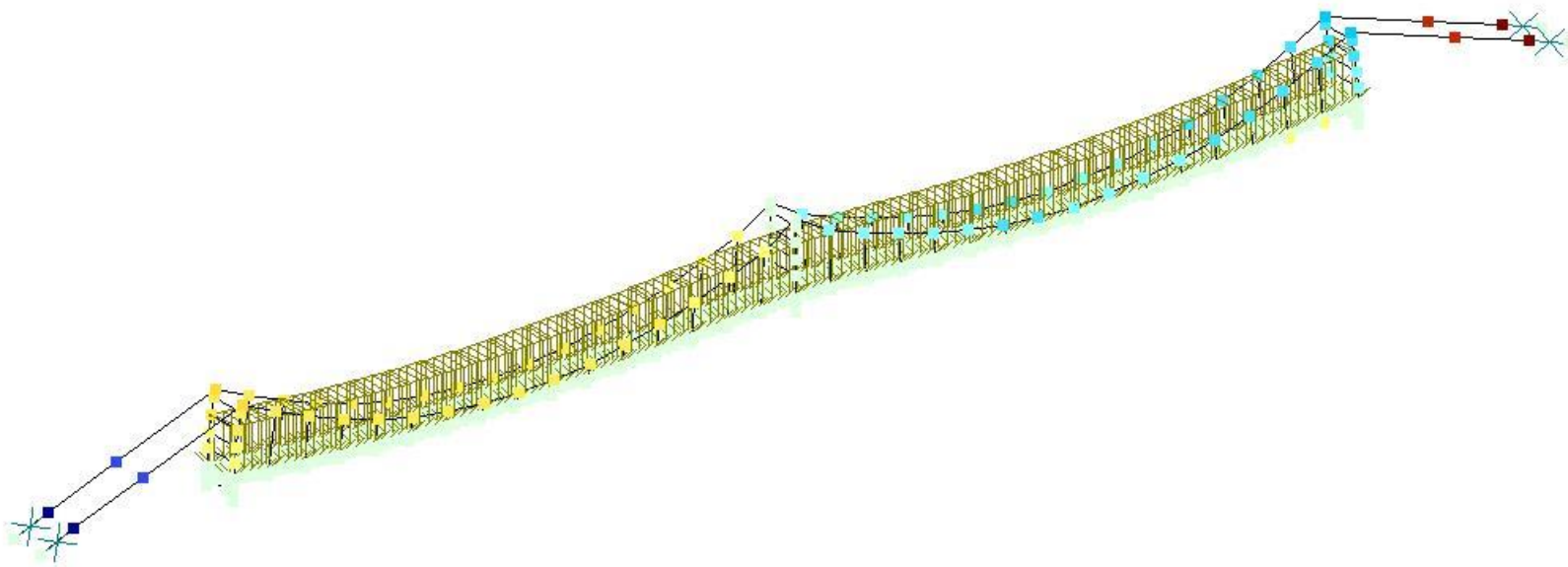
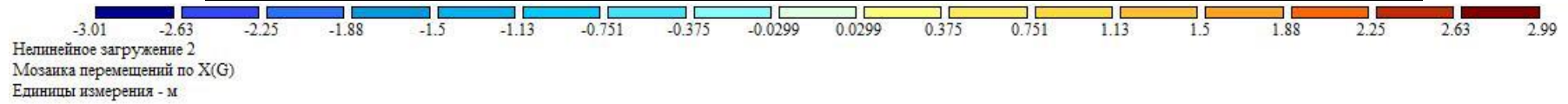


**Рисунок 13.** Эюра перемещений от собственного веса конструкций моста по X. Составлен авторами.  
(узел 25(верх стойки пилона опоры 2 подветренной стороны) перемещение 33,4 мм)  
**Figure 13.** The displacement plot under the action of dead weight of bridge constructions along X. Comprised by authors.  
(unit 25 (top of pylon bearing leg 2 from downwind) movement 33,4 mm)



**Рисунок 14.** Эпюра перемещений от временной пешеходной нагрузки в пролетах 1 и 2 по Z. Составлен авторами.  
(узел 879 (середина пролета 1) перемещение вниз 1735 мм)

**Figure 14.** The displacement plot under the action of temporary pedestrian load in the spans 1 and 2 along Z. Comprised by authors.  
(unit 879 (mid-span 1) downward movement 1735 mm)



*Рисунок 15. Эпюра перемещений от временной пешеходной нагрузки в пролетах 1 и 2 по X. Составлен авторами.  
(узел 25 (вверх стойки пилона опоры 2 подветренной стороны) перемещение 27,8 мм)*

*Figure 15. The displacement plot under the action of the temporary pedestrian load in the spans 1 and 2 along X. Comprised by authors.  
(unit 25 (top of the pylon bearing leg 2 from downwind) movement 33,4 mm)*

По результатам расчетов максимальное перемещение верхнего конца стойки пилона составило 6,12 см вдоль оси X и 0,46 см вдоль оси Y (перемещение от ветровой нагрузки). По п. 13.1 СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции» предельные перемещения конструкций не должны превышать предельных значений, установленных СНиП по нагрузкам и воздействиям. В соответствии с таблицей 22 предельное перемещение конструкции при высоте 14,3 метров должно быть не более  $\frac{1}{200} \cdot h$ , где h – высота конструкции, что составляет  $1430/200 = 7,15$  см.

Как видно, максимальное перемещение верха стойки опоры пилона меньше предельного значения:  $6,12 \text{ см} < 7,17 \text{ см}$ .

**Вывод.** По результатам выполненных расчетов и проверок можно сделать вывод о том, что применение старогодных труб d426x10 в качестве стоек пилонов опор висячего пешеходного моста и по прочности, и по жесткости допустимо. Но при этом необходимо обеспечить их эффективную антикоррозионную защиту в соответствии с рекомендациями [12] с целью недопущения развития коррозионных повреждений, могущих привести к уменьшению сечения трубчатых стоек с последующим ростом уровня напряжений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Зарудный 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 // Транспортные сооружения. 2015.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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 Scientific Conference Proceedings: в 3

- т. / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 3 т. с. 411 – 414.
7. 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.
  8. Бахтин С.А., Овчинников И.Г., Инамов Р.Р. Висячие и вантовые мосты. Проектирование, расчет, особенности конструирования. Изд-во СГТУ, Саратов, 1999, 124 с.
  9. Овчинников И.Г., Бахтин С.А., Кисин Б.С., Инамов Р.Р. Вантовые и висячие мосты. ВолгГАСА. Волгоград. 2002. 103 с.
  10. Овчинников И.Г., Инамов Р.Р., Бахтин С.А., Овчинников И.И. Висячие и вантовые мосты: эстетические проблемы. Саратов: Саратов. Гос. Техн. ун-т. 2002. 107 с.
  11. Овчинников И.Г., Дядченко Г.С. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. Учебное пособие. Саратов. СГТУ. 2005. 226 с.
  12. 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., библи. 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 2: Design analysis of stress-strain state of pylon legs resistant to the action of the design loads**

**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. The first part of paper presents the results of visual and instrumental inspection of the current state of pylon legs of the pedestrian suspension bridge and plotted design diagrams of a pedestrian bridge with pylons made of the used pipes. This paper familiarizes with the calculation results of the pedestrian bridge on an action of different combinations of loads. There were obtained the values of maximum stresses in cross sections of the pylon legs made of the used pipes, as well as those of displacements of the pylon leg top ends. It is shown that the maximum stresses and displacements under an action of the various combinations of loads do not exceed the limit values. Consequently, operation of the pylon legs made of the used pipes is feasible. To guarantee the long-lasting operation of the pylons, it is recommended to provide the effective anticorrosion protection.

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

### **REFERENCES**

1. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Zarudny A.I. Otsenka prigodnosti starogodnykh metallicheskikh trub v kachestve pilonov peshekhodnogo mosta cherez reku Belaya. Chast' 1. Vizual'noe i instrumental'noe obsledovanie i postroenie raschetnoy skhemy // Transportnye sooruzheniya. 2015.
2. 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.
3. 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 metallicheskimy proletnymi stroeniyami // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №5, 2013. s. 1-17.
  4. 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.
  5. Ovchinnikov I.G., Chernykh V.K., Kokin A.A., Dzhumagaliev E.S., Snegirev G.V. Innovatsionnye konstruksii proletnykh stroeniy mostov s ispol'zovaniem starogodnykh trub // Materialy mezhdunarodnoy 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.
  6. 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 Scientific Conference Proceedings: v 3 t. / Tikhookean. gos. un-t. – Khabarovsk: Izd-vo Tikhookean. gos. un-ta, 2014. – 3 t. s. 411 – 414.
  7. 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.
  8. Bakhtin S.A., Ovchinnikov I.G., Inamov R.R. Visyachie i vantovye mosty. Proektirovanie, raschet, osobennosti konstruirovaniya. Izd-vo SGTU, Saratov, 1999, 124 s.
  9. Ovchinnikov I.G., Bakhtin S.A., Kisin B.S., Inamov R.R. Vantovye i visyachie mosty. VolgGASA. Volgograd. 2002. 103 s.
  10. 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.
  11. Ovchinnikov I.G., Dyadchenko G.S. Peshekhodnye mosty: konstruksiya, stroitel'stvo, arkhitektura. Uchebnoe posobie. Saratov. SGTU. 2005. 226 s.
  12. Zashchita ot korrozii metallicheskih i zhelezobetonnykh mostovykh konstruksiy 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.