

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

2020, №2, Том 7 / 2020, No 2, Vol 7 <https://t-s.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/19SATS220.pdf>

DOI: 10.15862/19SATS220 (<http://dx.doi.org/10.15862/19SATS220>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Коптилов В.А., Лебедев В.С., Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.И. Моделирование поведения перильных ограждений с учетом их совместной работы с пролетным строением мостов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2020 №2, <https://t-s.today/PDF/19SATS220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/19SATS220

For citation:

Koptilov V.A., Lebedev V.S., Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.I. (2020). Modeling the behavior of pedestrian railings taking into account their joint work with the span of bridges. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(7). Available at: <https://t-s.today/PDF/19SATS220.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/19SATS220

УДК 624.04

Коптилов Виталий Антонович

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Магистрант 2 курса
E-mail: koptilovvv@bk.ru

Лебедев Василий Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Магистрант 2 курса
E-mail: lebedevvasiliy96@gmail.com

Мандрик-Котов Борис Борисович

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия
Соискатель
E-mail: bmandrik@pgmsl.ru

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgesar@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=177132

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191523104>

Моделирование поведения перильных ограждений с учетом их совместной работы с пролетным строением мостов

Аннотация. Анализируется проблема расчета перильных ограждений из полимерных композитных материалов на мостовых сооружениях. Отмечается, что, хотя методы расчета различных изделий и конструкций из полимерных композитных материалов достаточно разработаны, однако методы расчета перильных ограждений еще только начинают разрабатываться. Нормативные методы расчета перильных ограждений весьма примитивные и не учитывают всех особенностей их работы. В статье рассматривается применение метода

конечных элементов к расчету перильных ограждений, причем кроме нормативных нагрузок, учитывается действие ветровой нагрузки и совместная работа перильного ограждения с пролетным строением. Показано, что совместная работа перильного ограждения с пролетным строением даже при статическом нагружении оказывает значительное влияние на его напряженно-деформированное состояние, увеличивая его, что в определенных случаях при наличии дефектов монтажа привести к разрушению перильного ограждения из полимерных композитных материалов.

Ключевые слова: перильное ограждение; мостовое сооружение; полимерные композитные материалы; моделирование перильного ограждения; дефекты перильного ограждения; напряженное состояния перильного ограждения

Введение

Полимерные композитные материалы (ПКМ) достаточно широко применяются в транспортном строительстве для [1]: (1) изготовления малых мостов и элементов больших мостов, такие как плиты проезжей части, тротуарные настилы [2]; (2) в качестве полимерной композитной арматуры при внутреннем (стержневая арматура) и внешнем (трубчатая арматура) армировании бетонных конструкций [3]; (3) в качестве элементов усиления ослабленных железобетонных и реже металлических конструкций транспортных сооружений [4; 5].

В последнее время расширилось применение полимерных композитных материалов для изготовления малонагруженных элементов конструкций транспортных сооружений, таких как опоры освещения, водоотводные лотки, перильные ограждения.

К сожалению вопросам применения ПКМ в перильных ограждениях больше внимания уделяется в различных рекламных публикациях и различных стандартах и технических условиях, а научных и инженерных статей не так уж много, хотя патенты на элементы перильных ограждений и сами ограждения имеются [6–10].

Поэтому в данной работе мы рассмотрим вопросы расчета напряженно-деформированного состояния и моделирования поведения перильных ограждений в реальных условиях их эксплуатации, то есть с учетом их совместной работы с пролетными строениями мостовых сооружений, на которых они устанавливаются.

Анализ состояния проблемы

Так как в данной работе рассматриваются вопросы расчётного анализа перильных ограждений из полимерных композитных материалов, то сначала обратимся к проблеме расчета изделий и конструкций из полимерных композитных материалов.

Для начала отметим, что большую роль в развитии теории и методов расчета конструкций из полимерных и композитных материалов сыграл Малмейстер А.К., который с 1970 по 1984 годы возглавлял Академию наук Латвии. Он внес большой личный вклад в развитие нового научного направления механики полимерных и композитных материалов. Им выполнен ряд оригинальных научных исследований в этой области. А.К. Малмейстер был организатором Института механики полимеров, основателем журнала “Механика композитных материалов” (с 1965 по 1979 г. – “Механика полимеров”) и его многолетним главным редактором. А.К. Малмейстер автор широко известных монографий [11; 12] и научных статей, создатель крупной научной школы в области механики композитных материалов, биомеханики и теории оболочек и конструкций.

Отметим еще ряд книг, посвященных проблеме расчета конструкций из композитных материалов [13–17], которые были опубликованы еще в прошлом веке. За рубежом проблеме расчета конструкций из полимерных композитных материалов также уделялось внимание [18–20].

В то же время расчету перильных ограждений из полимерных композитных материалов посвящено весьма мало работ.

Например, в обзоре [21], посвященном рассмотрению семи нормативных документов, в которых описывается применение полимерных композитных материалов для создания пешеходных ограждений в транспортном строительстве, отмечается, что ни в одном из документов не рассматривается задача расчета перильных ограждений. Кроме того, указывается, что в России весьма мало корректных экспериментальных исследований перильных ограждений из полимерных композиционных материалов.

В статье [22] отмечается, что удерживающие пешеходные ограждения рассчитывают на прочность и устойчивость на действие вертикальной нагрузки 1,5 кН, приложенной на поручень и динамической горизонтальной нагрузкой в 600 Дж. В то же время имеющийся хотя и не такой большой опыт применения перильных ограждений из полимерных композитных материалов свидетельствует о том, что они весьма чувствительны к неточностям изготовления и нарушениям технологии монтажа. И хотя перильные ограждения относятся к малонагруженным конструкциям, но предварительные напряжения от неточности монтажа могут привести к тому, что не всегда учитываемые внешние силовые воздействия могут оказаться опасными для конструкции и должны быть учтены [23–25]. В статье [26] методом конечных элементов с использованием программного комплекса Nastran IN-CAD 2019 решается задача анализа напряженного состояния перильного ограждения из полимерных композитных материалов при совместном действии горизонтальной сосредоточенной и ветровой нагрузки. Обнаружено, что напряженное состояние элементов перильного ограждения под действием ветра значительно увеличивается, что говорит о необходимости учета такого воздействия.

Постановка задачи и методика решения

В статьях [23–25] обращается внимание на то обстоятельство, что перильные ограждения монтируются на мостовом полотне мостового сооружения, которое в процессе эксплуатации подвергается статическому нагружению от собственного веса, веса дорожной одежды, деформационных швов, тротуаров, перильных ограждений, а также динамическому нагружению проходящим транспортом, которое вызывает появление дополнительных инерционных сил. Перильные ограждения, находясь в контакте с пролетным строением в процессе эксплуатации также подвергаются динамическому нагружению через зону контакта стоек с мостовым полотном. Под действием этих факторов, дефекты монтажа перильных ограждений могут интенсивно развиваться, превращаясь в повреждения, которые также развиваются и в результате перильные ограждения довольно быстро могут выйти из строя. Обратим внимание на то обстоятельство, что основной проектной нагрузкой при расчете перильных ограждений является нагрузка от пешеходов, в то время как разрушение их при дефектах монтажа происходит от динамического воздействия колеблющегося мостового полотна.

Поэтому представляет интерес анализ поведения перильных ограждений с учетом их совместной работы с пролетным строением.

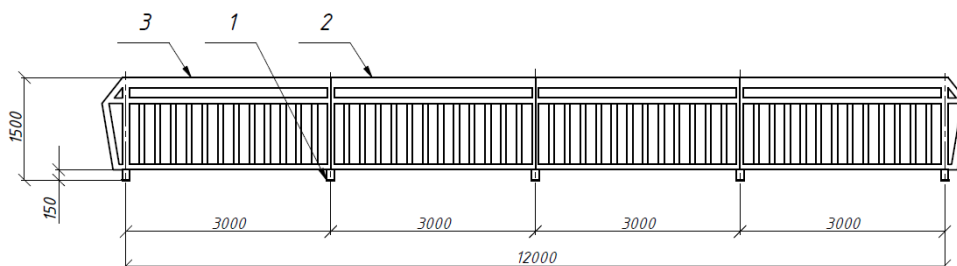
Далее проведено моделирование поведения стеклопластикового перильного ограждения при действии нормативной нагрузки. Затем, то же перильное ограждение рассматривается в

комплексе с пролетным строением, запроектированным по Серии №3.503.9-43-89 (Выпуск 1) и приложенной нормативной нагрузкой. Для расчета были использованы программные комплексы: Autodesk Inventor Professional 2020 с учебной лицензией и надстройка Autodesk Nastran IN-CAD 2020 с учебной лицензией.

Моделирование перильного ограждения без учета совместной работы с пролетным строением

Параметрические характеристики перильного ограждения

Расчетная модель перильного ограждения была построена в программном комплексе Autodesk Inventor Professional 2020. Для упрощения расчета все элементы объединены в один монолитный блок, вместо разделения на стойки и элементы обрешетки. В качестве элемента скрепления выступают метизы. Длина ограждения составляет 12 метров или четыре пролета по 3 метра. Высота 1.5 метра. Соблюдены нормативные зазоры безопасности в 150 мм по¹. Размер стоек 100x100 мм, бруса обрешетки 80x100 мм, бортового бруса 100x150 мм, диаметр элементов обрешетки 80 мм. Крепление к плите проезжей части осуществляется через жесткую заделку стоек в стакане траверсы анкерного крепления. Траверса, в свою очередь, крепится к плите проезжей части посредством анкеровки. Внешний вид существующего перильного ограждения и его упрощенная поэлементная схема показана на рисунке 1. По вышеуказанным размерам была построена расчетная модель перильного ограждения в программном комплексе Autodesk Inventor Professional 2020. На рисунке 1 показан её чертеж с указанием основных элементов и размеров.



1 – траверса-крепление к плите проезжей части, 2 – центральные монолитные перила из стеклопластика, 3 – крайние монолитные перила из стеклопластика

Рисунок 1. Внешний вид перильного ограждения из стеклопластика на трассе обход г. Брянска, путепровод на 21 км, производство АО «Флотенк», и поэлементная монтажная схема (составлен авторами)

¹ СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с Изменением N 1). Официальное издание. Минрегион России. – М.: ОАО "ЦПП", 2011 г.

Сбор нагрузок

На перильное ограждение действует нормативная локальная нагрузка величиной 1.27 кН и ветровая нагрузка. Нормативная нагрузка берется из СП¹ и прикладывается перпендикулярно рабочей плоскости перильного ограждения с коэффициентом надежности 1.0. Также нагрузку необходимо приложить к элементам обрешетки, роль которых выполняют круглые стеклопластиковые прутья. На один пролёт приходится 12 прутьев, при приложении к ним вышеуказанной нагрузки, происходит двенадцатикратное увеличение нагрузки, поэтому к каждому пруту прикладывается лишь 1/12 от рабочей нагрузки, что составляет 0.106 кН.

Ветровая нагрузка рассчитывается по СП². Путепровод, представленный на рисунке 1, располагается в городе Брянск. Нормативное значение ветрового давления (w_0) для города Брянск по таблице 11.1 СП² равно 0.23 кПа.

Высота мостового полотна от уровня земли (h_1) составляет 7.0 метра, высота ограждения (h) составляет 1.5 метра, протяженность рассматриваемого ограждения (l) – 12 метров. То есть необходимо определить ветровое давление на отметках от 7.0 метров до 8.5 метров. Коэффициент повышения ветрового давления (k) для высот (z_e) 7.0 и 8.5 метра для типа местности В вычислим интерполяцией по п.11.1.6 СП² и получим значения 0.56 и 0.605 соответственно. Коэффициент пульсации давления ветра (ζ) в зависимости от высоты (z_e) для типа местности В и высот 7.0 и 8.5 метра будет равен 1.156 и 1.108 соответственно. Коэффициент пространственной корреляции пульсации давления ветра (v) вычисляем методом интерполяции и получаем 0.825. Рассчитаем аэродинамический коэффициент (c) для первого перильного ограждения по формуле В.6 из приложения В.1.14 СП²:

$$c_1 = \frac{(1.4 * 2.451) * 2 + (1.4 * 2.715) * 2}{12 * 1.5} = \frac{14.4648}{18} = 0.8036;$$

Для определения аэродинамического коэффициента для второго перильного ограждения, рассмотрим его в виде фермы, согласно приложению В.1.14² Тогда при помощи коэффициента заполнения ферм и относительного расстояния между фермами (b/h) вычислим аэродинамический коэффициент для второго перильного ограждения:

$$\varphi = \frac{2.451 * 2 + 2.715 * 2}{12 * 1.5} = \frac{10.332}{18} = 0.574;$$

$$\frac{b}{h} = \frac{9.82}{1.5} = 6.55;$$

По таблице В.8 СП² определим аэродинамический коэффициент (c_2) при помощи интерполяции по таблице 1. Получаем, что аэродинамический коэффициент второго перильного ограждения составляет 0.5763. Далее рассчитаем нормативное значение средней составляющей ветрового давления по формуле 11.2 из п.11.1.3 СП² для первого и второго перильного ограждений.

Таблица 1

Вычисление аэродинамического коэффициента

φ	b/h		
	6	6.5	7
0.5	0.61	0.655	0.7
0.55	0.555	0.6025	0.65

² СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2). Москва: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2017 г.

φ	b/h		
	6	6.5	7
0.575	0.5275	0.57625	0.625
≥ 0.6	0.5	0.55	0.6

Составлено авторами

$$w_{m.1} = 0.23 * \frac{0.56 + 0.605}{2} * 0.8036 = 0.1077 \text{ кПа};$$

$$w_{m.2} = 0.23 * \frac{0.56 + 0.605}{2} * 0.5763 = 0.0769 \text{ кПа};$$

Далее рассчитаем нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки, вычисляется по формуле 11.5 из п.11.1.8 СП².

$$w_{g.1} = 0.1077 * \frac{1.156 + 1.108}{2} * 0.825 = 0.1 \text{ кПа};$$

$$w_{g.2} = 0.0769 * \frac{1.156 + 1.108}{2} * 0.825 = 0.0718 \text{ кПа};$$

Тогда полная ветровая нагрузка на каждый элемент ограждения с учетом коэффициента надежности 1.4, вычисляется по формуле 11.1 из п.11.1.2 СП².

$$W_1 = 0.1077 + 0.1 = 0.2077 * 1.4 = 0.2908 \text{ кПа};$$

$$W_2 = 0.0769 + 0.0718 = 0.1487 * 1.4 = 0.2082 \text{ кПа};$$

СП² рекомендует в расчетах использовать пиковое значение ветровой нагрузки, которое рассчитывается по формуле 11.10, взятой из п.11.2 СП².

$$W_1 = 0.23 * \frac{0.56 + 0.605}{2} * \left[1 + \frac{1.156 + 1.108}{2} \right] * 0.8036 * 0.8 = 0.1836 \text{ кПа};$$

$$W_2 = 0.23 * \frac{0.56 + 0.605}{2} * \left[1 + \frac{1.156 + 1.108}{2} \right] * 0.5763 * 0.8 = 0.1317 \text{ кПа};$$

Значение пиковой ветровой нагрузки несколько меньше полной ветровой нагрузки. В расчете перильного ограждения будем принимать наибольшее значение.

Расчет перильного ограждения в ПК Nastran IN-CAD

Расчетная схема показана на рисунке 2. Размер сетки конечных элементов в программном комплексе задается равным 100 мм. Укрупнение сетки для отдельных элементов не задается. Зелёным цветом показана сетка конечных элементов с материалом стеклопластика, коричневым цветом задается сталь С345 для траверс.

Крепление к плите проезжей части пролетного строения осуществляется жестко через отверстия для анкерки, запрещая все перемещения и повороты, кроме оси у. По оси у мы ограничиваем только перемещение, защемляя нижнюю грань траверсы. Нагрузки, величина которых 1.27 кН и 0.2082 кПа, приложены перпендикулярно рабочей плоскости перильного ограждения и направлены в одну сторону.

В результате расчета предоставляется картина напряженно-деформированного состояния перильного ограждения в виде изополей напряжений (рис. 3) и изополей перемещений (рис. 4). Датчики на рисунках показывают величину максимальных и минимальных значений с указанием их местоположения. Максимальное напряжение составляет 24.43 МПа и находится в траверсе, в стеклопластике же максимальное напряжение

составляет 22.25 МПа. Максимальное перемещение элементов обрешетки составляет 6.92 мм и располагается в середине пролёта перильного ограждения.

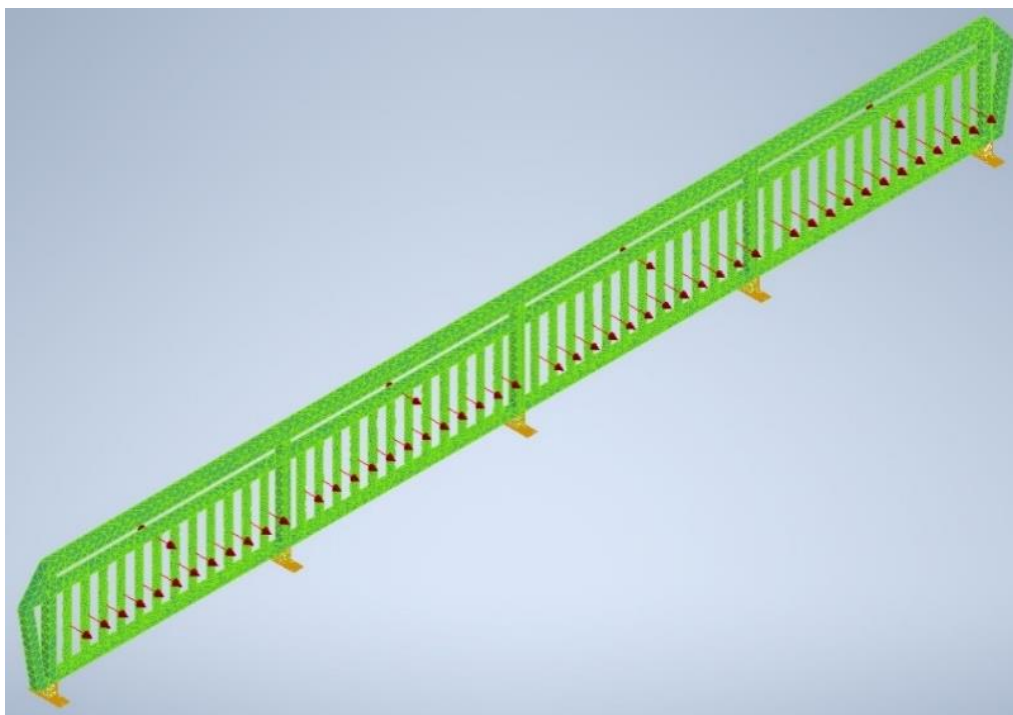


Рисунок 2. Расчетная схема перильного ограждения из стеклопластика, построенная в Autodesk Nastran IN-CAD (составлен авторами)

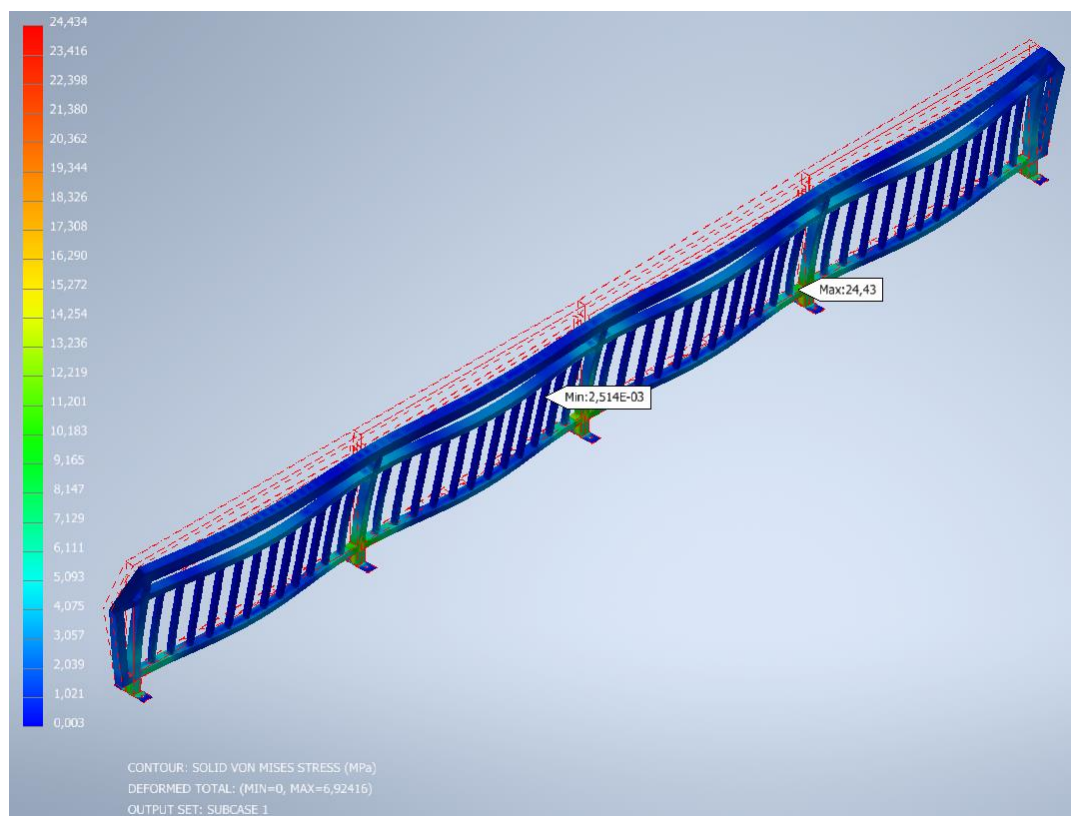


Рисунок 3. Напряжения по Мизесу в стеклопластиковом перильном ограждении, вызванные приложенной нагрузкой (составлен авторами)

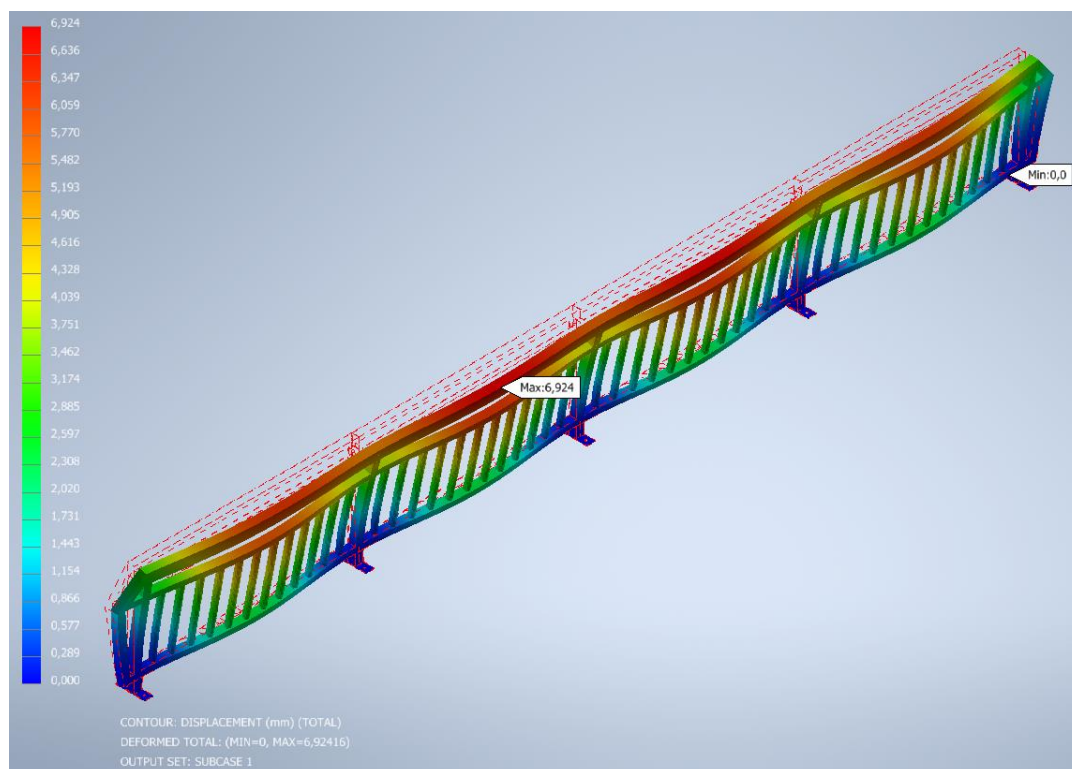


Рисунок 4. *Перемещения элементов стеклопластикового перильного ограждения, вызванные приложенной нагрузкой (составлен авторами)*

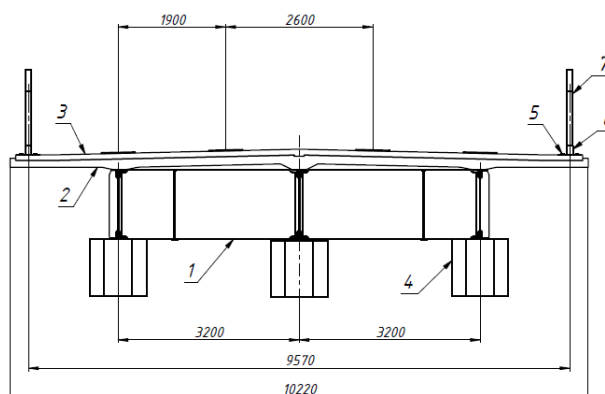
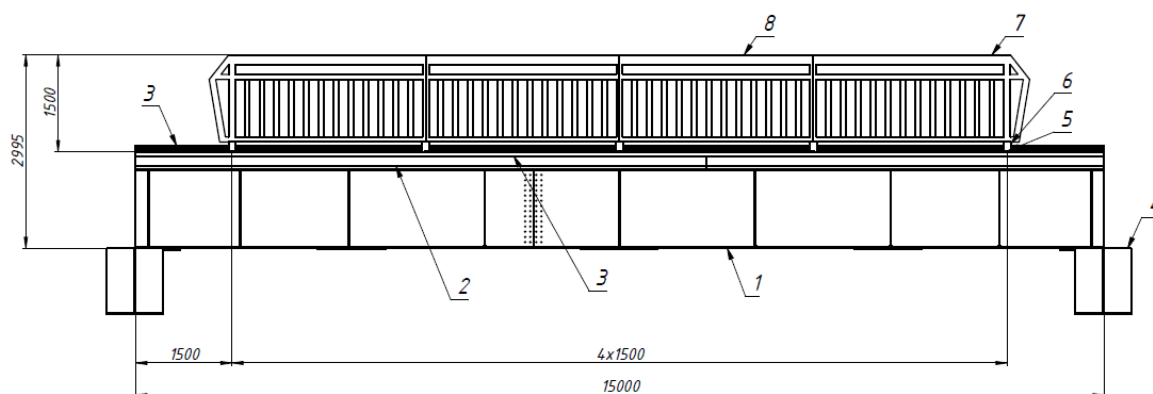
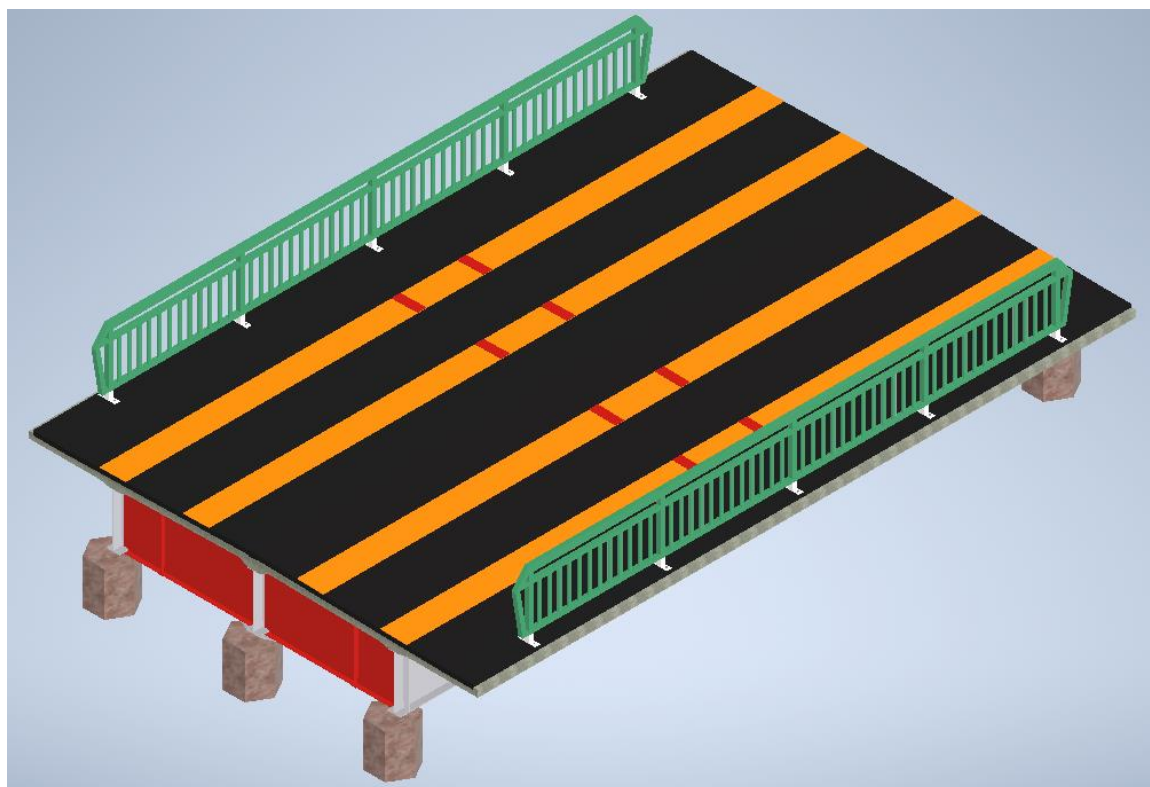
Принимаем предел текучести стеклопластика 100 МПа, то есть наихудший вариант с фенолформальдегидной смолой. Тогда запас прочности перильного ограждения составляет 77.7 %. Предельный эстетико-психологический вертикальный прогиб для перильного ограждения определяется по таблице Д.1 СП² и составляет $l/150$, где l – расчетный пролёт. Тогда получаем, что предельный прогиб составляет 20 мм, что больше расчетного прогиба, равного 6.92 мм. Суммарная масса ограждения составляет 499.6 кг. Стеклопластиковое перильное ограждение с запасом выдерживает приложенную расчетную нагрузку.

Моделирование перильного ограждения с учетом совместной работы с пролетным строением Параметрические характеристики конструкций

Путепровод для расчета смоделирован согласно Серии №3.503.9-43-89 (Выпуск 1), при этом его конструкция была упрощена. Болтовые соединения были заменены на сварные, чтобы избежать нежелательных коллизий, так как в данном случае нас больше интересуют напряжения в перильном ограждении, а не прочностные характеристики пролетного строения. Рёбра жесткости и связевые фермы по нижнему поясу присутствуют в полном объёме.

Мостовое сооружение представляет собой стальное пролетное строение с железобетонной плитой проезжей части. Толщина асфальтобетонного покрытия составляет 100 мм. Пролётное строение опирается на железобетонные столбы для упрощения расчетной схемы (рис. 5). Перильное ограждение крепится через анкерные болты к плите проезжей части. Четыре оранжевые полосы (0.6x15.0 м) на асфальтобетонном покрытии необходимы для приложения полосовой нагрузки, восемь красных полосок (0.6x0.2 м) необходимы для приложения сосредоточенной нагрузки АК (А14), на которую рассчитано данное пролетное строение. Внешний вид и поэлементная чертежная схема транспортного сооружения

представлены на рисунке 5. Модель построена в программном комплексе Autodesk Inventor Professional 2020. Параметрические характеристики перильного ограждения приняты такими же, как и ранее.



1 – пролетное строение, 2 – ж/б плита проезжей части, 3 – асфальтобетонное покрытие, 4 – опорный ж/б столб, 5 – анкерный болт, 6 – траверса анкерного крепления, 7 – крайний элемент стеклопластикового ограждения, 8 – средний элемент стеклопластикового ограждения

Рисунок 5. Внешний вид и поэлементный чертеж серийного мостового сооружения со стеклопластиковым перильным ограждением (составлен авторами)

Сбор нагрузок

Нагрузки на перильное ограждение остаются такими же, как и ранее, то есть принимается, что данный путепровод располагается в городе Брянск и высота его дорожного полотна от уровня земли составляет 7.0 метра.

Согласно п.6.21 СП¹, нормативная нагрузка от пешеходов, совместно с нагрузкой АК равна 2.0 кПа. Нагрузка прикладывается к тротуарной плите. Учитывая коэффициент надежности по нагрузке (γ_f), равный 1.15, получим нагрузку на тротуарную плиту, равную 2.3 кПа.

Согласно СП¹, нагрузка АК(A14) подразделяется на полосовую и сосредоточенную. Интенсивность полосовой нагрузки равна 0.5К, где К = 14 кН/м. Ширина полосовой нагрузки 0.6 м. Коэффициент надежности по нагрузке 1.15, а коэффициент полосности для первой полосы равен 1.0, для второй полосы 0.6.

$$q_1 = \frac{14 * 0.5 * 1.0 * 1.15}{0.6} = 13.42 \text{ кПа} = 0.0134 \text{ МПа};$$

$$q_2 = \frac{14 * 0.5 * 0.6 * 1.15}{0.6} = 8.05 \text{ кПа} = 0.0081 \text{ МПа}.$$

Сосредоточенная нагрузка от базы четырёхколесной тележки АК (A14) на одну ось равна $10К = 140$ кН. Коэффициент надежности по нагрузке равен 1.5, коэффициент полосности принимается, как и для полосовой нагрузки.

$$P_1 = 140 * 0.5 * 1.5 * 1.0 = 105 \text{ кН};$$

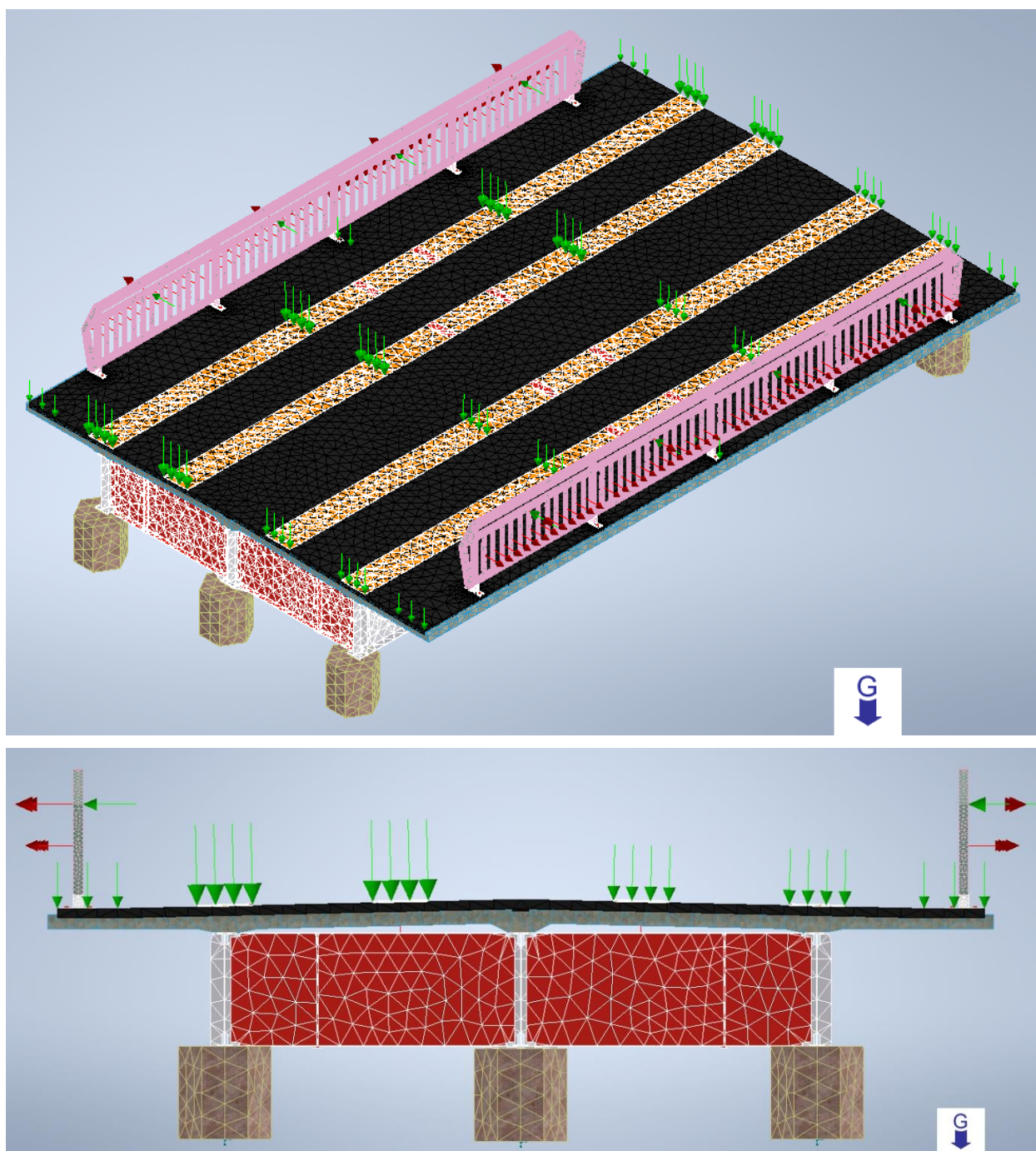
$$P_1 = 140 * 0.5 * 1.5 * 0.6 = 63 \text{ кН}.$$

Сосредоточенная нагрузка прикладывается в самом опасном месте – в середине пролета. Ветровое давление однонаправленное, примем направление справа налево. Нагрузка на перильное ограждение принимается, как распорное усилие, направленное в противоположные стороны от оси мостового сооружения.

Помимо вышеуказанных нагрузок учитывается собственный вес конструкций, введением ускорения свободного падения, равного 9.81 м/с^2 .

Расчет перильного ограждения совместно с пролетным строением на действие статической нагрузки в ПК Nastran IN-CAD

Расчетная схема показана на рисунке 6. Размер сетки конечных элементов в программном комплексе задается равным 250 мм. Укрупнение сетки задается равным 50 мм для анкерных болтов, траверсы анкерного крепления и элементов стеклопластикового перильного ограждения.



*Рисунок 6. Расчетная схема транспортного сооружения,
построенная в Autodesk Nastran IN-CAD (Составлен авторами)*

Розовым цветом показана сетка конечных элементов для конструкций из стеклопластика. Белым цветом показаны стальные элементы балок пролетного строения. Также белым цветом показаны пластины, через которые прикладывается нагрузка к пролетному строению. Черным цветом показан асфальтобетон, синим показана железобетонная плита проезжей части. Коричневым цветом показан бетон, который выполняет роль опорных стоек для пролетного строения.

Крепление перильного ограждения к плите проезжей части осуществляется через анкера. Расчетная модель защемляется через нижнюю грань опорных столбов, запрещая

перемещения и повороты во всех плоскостях. Приложение расчетных нагрузок аналогично описанному выше.

В результате расчета получена картина напряженно-деформированного состояния перильного ограждения в виде изополей напряжений (рис. 7) и изополей перемещений (рис. 8).

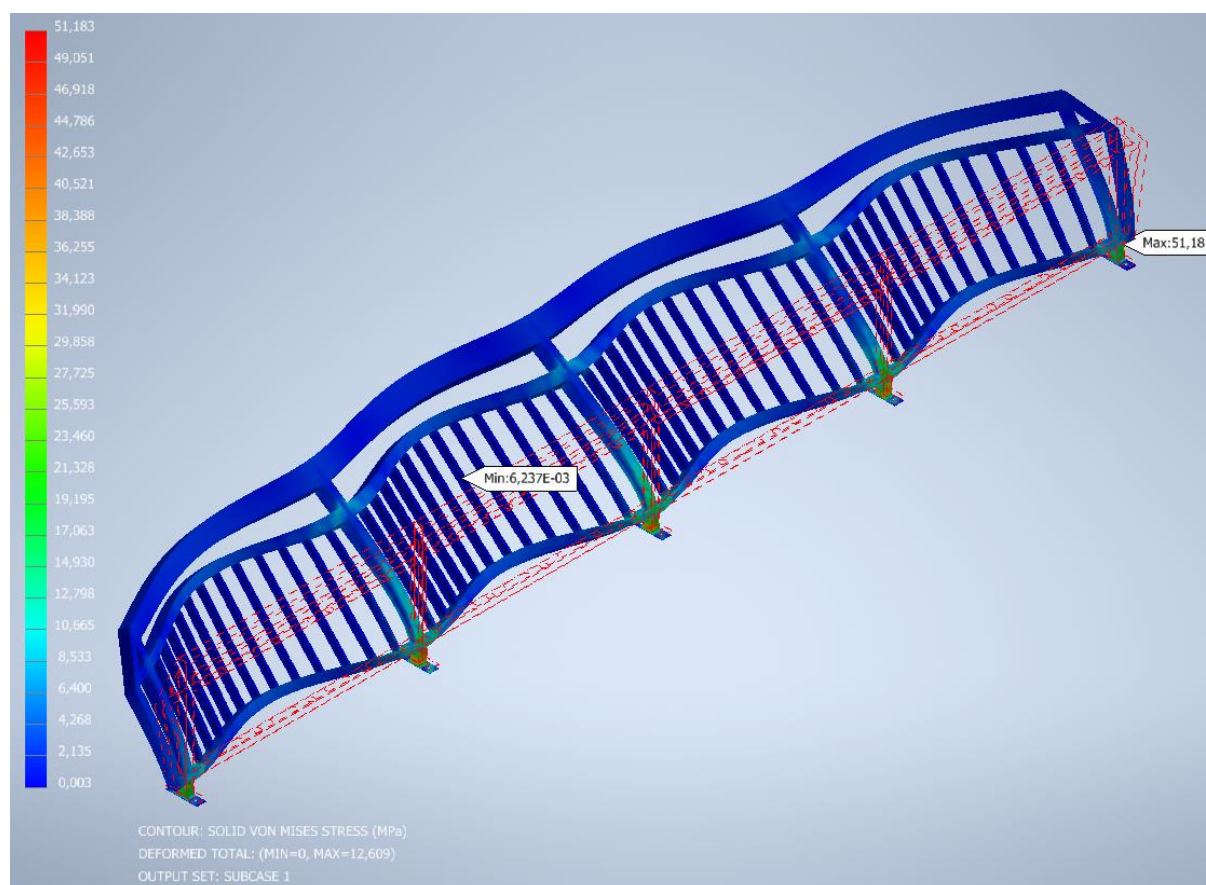


Рисунок 7. Напряжения по Мизесу в стеклопластиковом перильном ограждении, вызванные приложенной нагрузкой (составлен авторами)

Датчики на рисунке показывают величину максимальных и минимальных значений с указанием их местоположения. Наиболее нагруженной оказалось левое перильное ограждение, так как на него действуют несколько однонаправленных нагрузок. Максимальное напряжение составляет 51.18 МПа и находится в траверсе, в стеклопластике же максимальное напряжение составляет 31.0 МПа. Максимальное перемещение элементов обрешетки составляет 12.6 мм и располагается в середине пролёта перильного ограждения. Максимальный прогиб по оси u , вызванный нагрузкой АК (А14) составляет 1.2 мм.

Принимаем предел текучести стеклопластика 100 МПа, то есть наихудший вариант с фенолформальдегидной смолой. Тогда запас прочности перильного ограждения составляет 69.0 %. Предельный эстетико-психологический вертикальный прогиб для перильного ограждения определяется по таблице Д.1 СП² и составляет $l/150$, где l – расчетный пролёт. Тогда получаем, что предельный прогиб составляет 20 мм, что больше расчетного прогиба, равного 12.6 мм. Стеклопластиковое перильное ограждение с запасом выдерживает приложенную расчетную нагрузку.

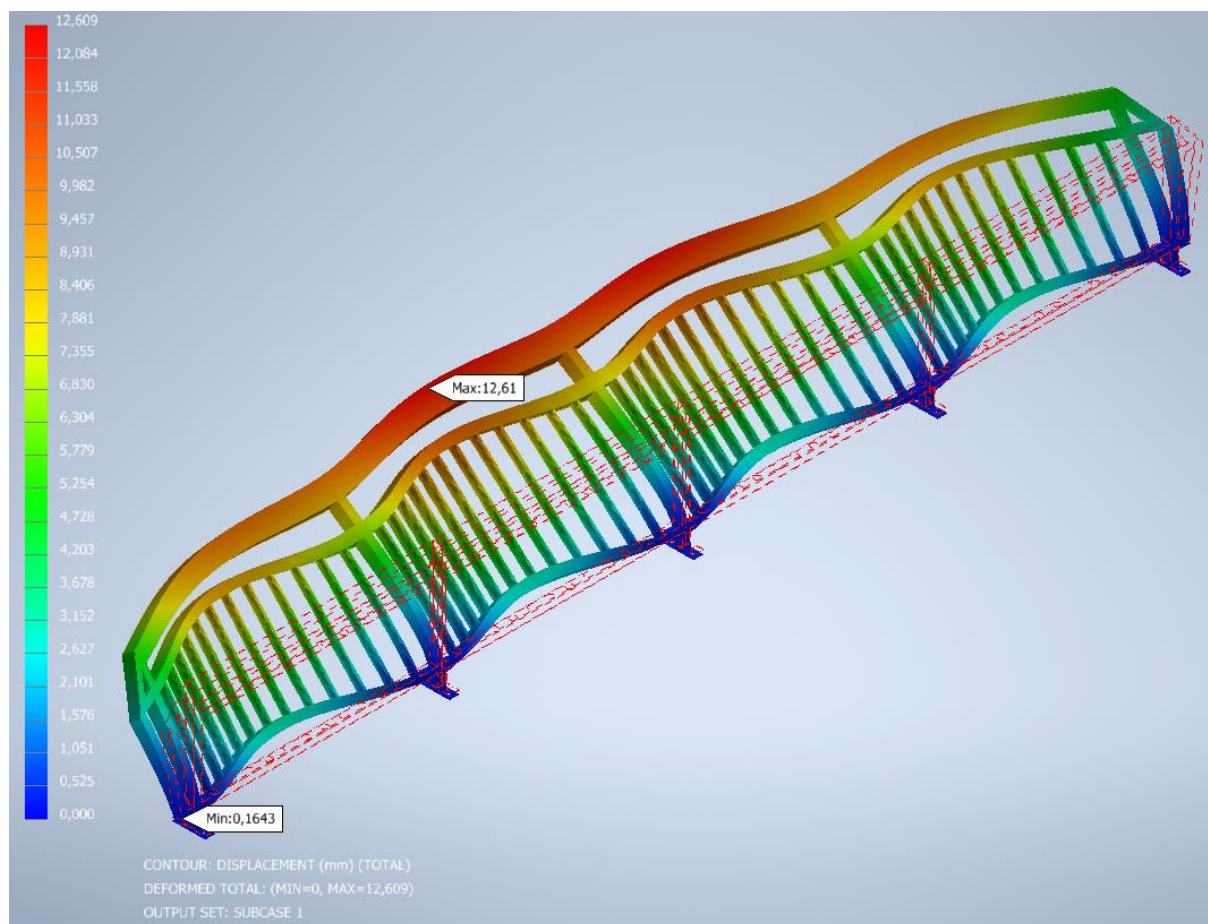


Рисунок 8. Перемещения элементов стеклопластикового перильного ограждения, вызванные приложенной нагрузкой (составлен авторами)

Анализ результатов расчета

Для обобщения данных, полученных в результате расчетов, была составлена таблица 2.

Таблица 2

Результаты расчета перильного ограждения

Вил расчета	Без учета работы пролетного строения	С учетом работы пролетного строения	Разница
Максимальное напряжение, МПа	24.43	51.18	26.75
Максимальное напряжение в стеклопластике, МПа	22.25	31.0	8.75
Запас прочности, %	77.7	69.0	8.7
Максимальная величина прогиба, мм	6.92	12.6	5.68
Допускаемый прогиб, мм	20.0		
Величина прогиба по оси Y, мм	0.3	1.2	0.9
Масса перильного ограждения с креплением, кг	499.6		

Составлено авторами

Анализ результатов расчета показывает, что напряженно-деформированное состояние перильного ограждения находится в допустимых пределах, однако за счет совместной работы перильного ограждения с пролетным строением, которое загружено расчетной нагрузкой АК(А14), напряжения в конструкции возросли. Максимальное напряжение в креплении

возросло на 110 % (в 2.1 раза), в стеклопластиковом перильном ограждении на 40 % (в 1.4 раза), прогиб увеличился на 80 % (в 1.8 раза), смещение по оси Y на 300 % (в 4 раза).

Заключение

На основании расчета можно сделать вывод, что при подборе сечения элементов перильного ограждения нужно учитывать его совместную работу с пролетным строением мостового сооружения. Совместная работа перильного ограждения с пролетным строением даже при статическом нагружении оказывает значительное влияние на его напряженно-деформированное состояние, увеличивая его. А это значит, что если пролетное строение получит некоторый прогиб под расчетной нагрузкой, то стальное перильное ограждение, работающее совместно с пролетным строением, может за счет пластических деформаций перераспределить напряжения, стеклопластиковое же перильное ограждение при таких нагрузках может начать деформироваться нелинейно и в конечном счете подвергнуться хрупкому разрушению.

В проведенном расчете моделировалось поведение перильного ограждения из полимерных композитных материалов без учета или с учетом совместной работы с пролетным строением, но только при статическом нагружении с учетом воздействия ветра. Большой интерес представляет исследование поведения перильного ограждения при наличии дефектов монтажа и повреждений при эксплуатации особенно в условиях динамического нагружения. Но это материал следующего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Мандрик-Котов Б.Б., Михалдыкин Е.С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве // Интернет-журнал «Науковедение» 2016. Том 8, № 6. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf>.
2. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 3. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении // Интернетжурнал «Науковедение». 2015. Том 7, № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN515.pdf>.
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная Москва: Изд-во АСВ, 2013. 200 с.

4. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций // Интернет-журнал «Науковедение» 2012. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf>.
5. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 2. Натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения // Интернет-журнал «Науковедение». 2012. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf>.
6. Мандрик-Котов Б.Б. Композитный анкер // Патент на изобретение № 2532553. Заявка 2013136425 Приоритет 05.08.2013. Дата регистрации 10.09.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.
7. Мандрик-Котов Б.Б. Лестничное ограждение // Патент на полезную модель № 134563. Заявка 2013137801 Приоритет 13.08.2013. Дата регистрации 20.11.2013. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.
8. Мандрик-Котов Б.Б. Узел крепления внутренней части секций ограждения // Патент на полезную модель № 142397. Заявка 2014107789 Приоритет 28.02.2014. Дата регистрации 22.05.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.
9. Мандрик-Котов Б.Б. Опора для крепления стойки // Патент на полезную модель № 141661. Заявка 2014107788 Приоритет 28.08.2014. Дата регистрации 30.04.2014. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.
10. Мандрик-Котов Б.Б. Ограждение // Патент на полезную модель № 168407. Заявка 2016144988 Приоритет 16.11.2016. Дата регистрации 02.02.2017. Патентообладатель: ООО ПГМ – Городское пространство.
11. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление жестких полимерных материалов. Рига: Зинатне, 1967, 398 с.
12. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление полимерных и композитных материалов. 3-е изд., перераб. и доп. Рига. Зинатне. 1980. 572 с.
13. Бажанов В.Л., Гольденблат И.И., Копнов В.А., Пospelов А.Д., Синюков А.М. Сопротивление стеклопластиков. М.: Химия, 1968, 304 с. 4.
14. Немировский, Ю.В. Прочность элементов конструкций из композитных материалов / Ю.В. Немировский, Б.С. Резников. – Новосибирск: Наука, 1986. – 166 с.
15. Разрушение конструкций из композитных материалов / И.В. Грушецкий, И.П. Димитриенко, А.Ф. Ермоленко и др.; Под ред. В.П. Тамужа, В.Д. Протасова. – Рига: Зинатне, 1986. – 264 с.
16. Васильев, В.В. Механика конструкций из композиционных материалов / В.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
17. Расчет и проектирование композиционных материалов и элементов конструкций / Б.Д. Аннин, А.Л. Каламбаров, А.Г. Колпаков, В.З. Партон. – Новосибирск: Наука, 1993. – 256 с.

18. Composite materials handbook: Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials. V. 1. Department of defense handbook. 2002. 586 p.
19. Composite materials handbook: Polymer matrix composite materials properties. V. 2. Department of defense handbook. 2002. 529 p.
20. Composite materials handbook: Polymer matrix composites materials usage, design and analysis. V. 3. Department of defense handbook. 2002. 693 p.
21. Овчинников И.И., Ильченко Е.Д., Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.Г. О нормативных документах по применению полимерных композиционных материалов для пешеходных ограждений в транспортном строительстве // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. Сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции. Саратов. 2017. с. 368–373.
22. Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.Г. Перильные ограждения: организация их испытаний // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию засл. деятеля науки РФ, акад. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Селяева В. П. (3–5 дек. 2019 г.) / редкол.: В. П. Селяев [и др.]; отв. ред. А.Л. Лазарев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – 516 с. с.165.
23. Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. На пути к эффективности. Особенности применения полимерных композитных материалов для устройства перильных ограждений на мостовых сооружениях // Дорожная держава. 2018. №83. С. 60–64.
24. Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.И., Овчинников И.Г. Особенности монтажа перильных ограждений из полимерных композитных материалов // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2019, Т.5, № 1. С. 1–10.
25. Мандрик-Котов Б.Б., Овчинников И.Г. Дефекты и повреждения перильных ограждений из полимерных композитных материалов // Техника и технология транспорта. 2019. № 11. С. 35. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-35СТС19.pdf>.
26. Овчинников И.И., Мандрик-Котов Б.Б. Учет действия ветра на перильные ограждения транспортных сооружений // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов, посвященной 20-летию создания кафедры электроэнергетики: в 2 т. Том 1 / отв. ред. А.Н. Халин. – 18–20 декабря 2019 г. Тюмень: ТИУ, 2019. – 319 с. С. 170–173.

Koptilov Vitaliy Antonovich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: koptilovvv@bk.ru

Lebedev Vasilij Sergeevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia
E-mail: lebedevvasiliy96@gmail.com

Mandrik-Kotov Boris Borisovich

Penza state university of architecture and construction, Penza, Russia
E-mail: bmandrik@pgmsl.ru

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia
E-mail: bridgesar@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8370-297X>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=177132

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191523104>

Modeling the behavior of pedestrian railings taking into account their joint work with the span of bridges

Abstract. The problem of calculating pedestrian railing made of polymer composite materials on bridge structures is analyzed. It is noted that, although methods for calculating various products and structures made of polymer composite materials have been sufficiently developed, however, methods for calculating pedestrian railing are still just beginning to be developed. Normative methods for calculating pedestrian railing are very primitive and do not take into account all the features of their work.

The article discusses the application of the finite element method to the calculation of pedestrian railing, and in addition to standard loads, the effect of the wind load and the joint work of the pedestrian railing with the span are taken into account. It is shown that the joint work of the pedestrian railing with the span, even under static loading, has a significant effect on its stress-strain state, increasing it, which in certain cases, in the presence of installation defects, leads to the destruction of the pedestrian railing from polymer composite materials.

Keywords: pedestrian railings; bridge construction; polymer composite materials; pedestrian railings modeling; pedestrian railings defects; pedestrian railing stress state

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Mandrik-Kotov B.B., Mikhaldykin E.S. (2016) Problems of application of polymeric composite materials in transport construction. *Naukovedenie*, [online] 6(8). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616.pdf> (in Russian).
2. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. (2015) About the problem of the analysis of tube-confined concrete structures with a shell made of different materials. Part 3. Experience of using fiber reinforcement plastic in bridge. *Naukovedenie*, [online] 5(7). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN515.pdf> (in Russian).
3. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov E.P. (2013) *Armaturnaya kompozitnaya polimernaya. [Composite polymer fittings.]* Moscow, ASV Publishing House, p. 200.

4. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinoviev V.S., Umirov A.D. (2012) Issues of reinforcing reinforced concrete structures with composites: 1. Experimental studies of the characteristics of reinforcing composites of flexible concrete structures. *Naukovedenie*, [online] 2012. No. 4. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf> (in Russian).
5. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinoviev V.S., Umirov A.D. (2012) Issues of reinforcement of reinforced concrete structures with composites: 2. Field studies of reinforcement of reinforced concrete structures with composites, emerging problems and solutions. *Naukovedenie*, [online] 2012. No 4. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf> (in Russian).
6. Mandrik-Kotov B.B. (2014) Kompozitnyy anker. Patent na izobreteniyе № 2532553. Zayavka 2013136425 Prioritet 05.08.2013. Data registratsii 10.09.2014. Patentoobladatel': OOO PGM – Gorodskoye prostranstvo. [*Composite anchor // Patent for invention No. 2532553. Application 2013136425 Priority 05.08.2013. Registration date 09/10/2014. Patent holder: LLC PGM – Urban space.*]
7. Mandrik-Kotov B.B. (2013) Lestnichnoye ograzhdeniye // Patent na poleznuyu model' № 134563. Zayavka 2013137801 Prioritet 13.08.2013. Data registratsii 20.11.2013. Patentoobladatel': OOO PGM – Gorodskoye prostranstvo. [*Stair railings // Utility Model Patent No. 134563. Application 2013137801 Priority 08.13.2013. Registration date 11/20/2013. Patent holder: LLC PGM – Urban space.*]
8. Mandrik-Kotov B.B. (2014) Uzel krepleniya vnutrenney chasti sektsiy ograzhdeniya // Patent na poleznuyu model' № 142397. Zayavka 2014107789 Prioritet 28.02.2014. Data registratsii 22.05.2014. Patentoobladatel': OOO PGM – Gorodskoye prostranstvo. [*Mounting unit of the inner part of the fence sections // Utility Model Patent No. 142397. Application 2014107789 Priority 02.28.2014. Registration date 05.22.2014. Patent holder: LLC PGM – Urban space.*]
9. Mandrik-Kotov B.B. (2014) Mandrik-Kotov B.B. Opora dlya krepleniya stoyki // Patent na poleznuyu model' № 141661. Zayavka 2014107788 Prioritet 28.08.2014. Data registratsii 30.04.2014. Patentoobladatel': OOO PGM – Gorodskoye prostranstvo. [*Support for mounting the rack // Utility Model Patent No. 141661. Application 2014107788 Priority 08.28.2014. Registration date 04/30/2014. Patent holder: LLC PGM – Urban space.*]
10. Mandrik-Kotov B.B. (2017) Ograzhdeniye // Patent na poleznuyu model' № 168407. Zayavka 2016144988 Prioritet 16.11.2016. Data registratsii 02.02.2017. Patentoobladatel': OOO PGM – Gorodskoye prostranstvo. [*Fencing // Utility Model Patent No. 168407. Application 2016144988 Priority 11.16.2016. Registration date 02.02.2017. Patent holder: LLC PGM – Urban space.*]
11. Malmeister A.K., Tamuzh V.P., Teters G.A. (1967) Soprotivleniye zhestkikh polimernykh materialov. [*Resistance to hard polymer materials.*] Riga, Zinatne, p. 398.
12. Malmeister A.K., Tamuzh V.P., Teters G.A. (1980) Soprotivleniye polimernykh i kompozitnykh materialov. 3-e izd., pererab. i dop. [*Resistance of polymer and composite materials. 3rd ed., Revised. and add.*] Riga, Zinatne, p. 572.
13. Bazhanov V.L., Goldenblatt I.I., Kopnov V.A., Pospelov A.D., Sinyukov A.M. (1968) Soprotivleniye stekloplastikov. [*Fiberglass resistance.*] Moscow, KHimiya, p. 304.
14. Nemirovsky, Yu.V., Reznikov B.S. (1986) Prochnost' elementov konstruktsiy iz kompozitnykh materialov. [*Strength of structural elements from composite materials.*] Novosibirsk, Nauka, p. 166.
15. Grushetsky I.V., Dimitrienko I.P., Ermolenko A.F. et al.; Ed. Tamuzh V.P., Protasova V.D. (1986) Razrusheniye konstruktsiy iz kompozitnykh materialov. [*The destruction of structures made of composite materials.*] Riga, Zinatne, p. 264.

16. Vasiliev, V.V. (1988) *Mekhanika konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov.* [*Mechanics of structures made of composite materials.*] Moscow, Mashinostroyeniye, p. 272.
17. Annin B.D., Kalamkarov A.L., Kolpakov A.G., Parton V.Z. (1993) *Raschet i proyektirovaniye kompozitsionnykh materialov i elementov konstruksiy.* [*Calculation and design of composite materials and structural elements.*] Novosibirsk, Nauka, p. 256.
18. Composite materials handbook: Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials. V. 1. Department of defense handbook. 2002. 586 p.
19. Composite materials handbook: Polymer matrix composite materials properties. V. 2. Department of defense handbook. 2002. 592 p.
20. Composite materials handbook: Polymer matrix composites materials usage, design and analysis. V. 3. Department of defense handbook. 2002. 693 p.
21. Ovchinnikov I.I., Ilchenko E.D., Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.G. (2017) On regulatory documents on the use of polymer composite materials for pedestrian fences in transport construction. *Resource-energy-efficient technologies in the construction complex of the region. Collection of scientific papers on the materials of the V International scientific and practical conference. Saratov.* pp. 368–373. (in Russian).
22. Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.G. (2019) Railings: organization of their tests. *Dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, izdelij i konstrukcij: materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashch. 75-letiyu zasl. deyatelya nauki RF, akad. RAASN, d-ra tekhn. nauk, prof. Selyaeva V. P. (3–5 dek. 2019 g.)* [*Durability of building materials, products and structures: materials All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 75th anniversary of Honored Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor Selyaev V.P. (Dec 3–5. 2019)*] – Saransk: Publishing House of the Mordovian University, p. 516. p. 165. (in Russian).
23. Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G. (2018) On the way to efficiency. Features of the use of polymer composite materials for the device of railings on bridge structures. *Dorozhnaya derzhava.* No 83, pp. 60–64. (in Russian).
24. Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G. (2018) Features of the installation of railings made of polymer composite materials. *The Journal of Science and Education of North-West Russia* 1(5). pp. 1–10. (in Russian).
25. Mandrik-Kotov B.B., Ovchinnikov I.G. (2018) Defects and damage to railings made of polymer composite materials. *Technique and Technology of Transport*, [online] 2019. No 11. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-35CTC19.pdf> (in Russian).
26. Ovchinnikov I.I., Mandrik-Kotov B.B. (2019) Accounting for the effect of wind on the railings of transport facilities. *Energoberezheniye i innovatsionnyye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: materialy Natsional'noy s mezhdunarodnym uchastiyem nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 20-letiyu sozdaniya kafedry elektroenergetiki: v 2 t. Tom 1 / otv. red. A.N. Khalin. – 18–20 dekabrya 2019 g.* [*Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex: Materials of the National with International Participation Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, Scientists and Specialists, dedicated to the 20th Anniversary of the Department of Electric Power Engineering: 2 vol. 1 / hole ed. A.N. Khalin. – December 18–20, 2019*] Tyumen, TIU, p. 319, pp. 170–173.