

П78 Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте : сб. тез. докл. X междунар. конф. по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте, 23–25 мая 2017 г. / отв. за вып. Н. И. Невзоров. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – 112 с.

ISBN 978-5-7641-1015-8

В сборнике представлены тезисы докладов X Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте (ПГУПС, май 2017 г.).

Принят алфавитный порядок расположения тезисов по фамилии первого автора доклада.

Тематика выносимых на конференцию докладов соответствует основным направлениям работы конференции:

- экспериментально-теоретические исследования конструкций и конструкционных материалов;
- численные методы расчета сооружений на статические и динамические воздействия на базе современной вычислительной техники;
- аналитические методы решения прикладных задач механики твердого деформированного тела;
- научно-методические аспекты преподавания дисциплин прочностного цикла в транспортных вузах страны.

Сборник ориентирован на научных и инженерно-технических работников, связанных с расчетами и проектированием транспортных строительных конструкций.

ISBN 978-5-7641-1015-8

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017

**РАСЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ КАК СИСТЕМЫ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Б.М. Аллахвердов, Р.А. Шафеев  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

**THE CALCULATION OF THE SPATIAL STRUCTURE FLANGE JOINT AS A SYSTEM WITH UNILATERAL CONSTRAINTS WITH A METHOD FINITE ELEMENT**

B.M. Allakhverdov, R.A. Shafeev  
PGUPS, St. Petersburg, Russia

Плотно прилегающие фланцевые соединения труб прямоугольного сечения широко применяются в мостостроении, строительстве гражданских и промышленных зданий. Фланцы обычно служат для составления двух коробчатых сечений в единый стержень либо для прикрепления коробчатого элемента к другой части конструкции.

Фланцевое соединение состоит из фланцевых листов, которые привариваются к коробчатым элементам трубчатого (чаще прямоугольного) сечения и соединяют между собой рядами болтов (рис. 1). Фланцевый лист – это пластина обычно большей толщины, чем листы, из которых изготовлена сама труба.

Нагрузка на соединение передается через коробчатый элемент в виде продольной силы  $N$  и (или) изгибающих моментов  $M_x, M_y$ .

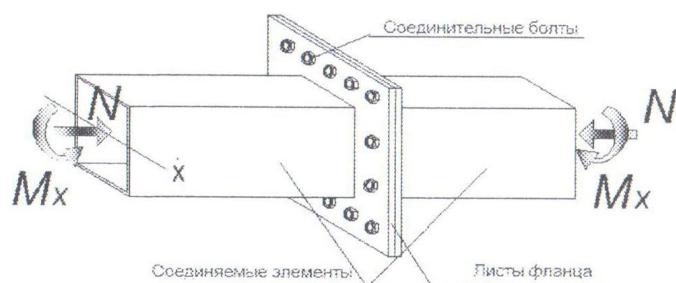


Рис. 1. Вид фланцевого соединения

1) имеются возможности продольных перемещений опорных узлов, что определяет работу конструкции как балки, работающей по безраспорной схеме;

2) пятовые узлы арочных дисков не имеют продольных перемещений, и конструкция работает как распорная арочная.

Из-за отсутствия жесткого закрепления поперечных диафрагм в замковых сечениях арочных дисков рассматривается плоская расчетная модель.

Обследования несущих конструкций мостика после реставрации дисков (устранения трещин с помощью сварки) выявили удовлетворительное состояние всех элементов сооружения. Анализ напряженно-деформированного состояния дисков подтвердил целесообразность восстановления этого замечательного памятника архитектуры.

Сегодня мостик Росси является единственным в Санкт-Петербурге мостовым сооружением с подлинными чугунными несущими конструкциями и чугунными элементами (лишь незначительное их количество отлито заново по аналогу сохранившихся).

УДК 539.25: 539.4.01

## СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ СИЛИКОНОВЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОННОЙ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Х.Х. Валиев, Ю.Н. Карнет, Ю.В. Корнев, О.Б. Юмашев

ИПРИМ, Москва, Россия,

В.В. Воробьев

КФУ, Казань, Россия

### STUDIES ON SURFACE STRUCTURE OF SILOXANE COMPOSITES WITH ELECTRON AND ATOMIC FORCE MICROSCOPY

Н.Н. Valiev, Yu.N. Karnet, Yu.V. Kornev, O.B. Yumashev

IPRIM, Moscow, Russia,

V.V. Vorobjev

KSU, Kazan, Russia

Полимерные композиты входят в число наиболее важных и широко используемых современных конструкционных материалов. Их дальнейшее усовершенствование требует знания распределения дисперсных наполнителей в матрицах различной природы [1]. Кремнийорганические полимеры (силиконы) – высокомолекулярные соединения, содержащие атомы кремния и углерода в составе элементарного звена макромолекулы. Наибольшее значение в промышленности имеют полиорганосилоксаны (полисилоксаны), основная молекулярная цепь которых построена из чередующихся атомов кремния и кислорода, а атомы углерода входят в состав боковых (обрамляющих) групп, связанных с атомом кремния. В работе [2] установлено существенное усиление физико-механических свойств синтетических

термостойких низкомолекулярных силоксановых эластомеров на основе СКТН А, наполненных двукисью кремния типа SIPERNAT 360.

В нашей работе с помощью электронной и атомно-силовой микроскопии изучается структура поверхности этих композитов. Использовались сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Merlin (Carl Zeiss, Германия) и атомно-силовой микроскоп (АСМ) easyScan (Nanosurf, Швейцария), работавший в контактной mode при комнатной температуре с нагрузкой на кантилевер 25,6 нН. В АСМ также использовалась мода фазового контраста. В таблице приведены составы композиций, исследованных методами СЭМ и АСМ.

Состав композиций на основе силоксановых низкомолекулярных каучуков, %

Ингредиент	Шифр смеси					
	C 300	C 309	C 310	C 311	C 312	C 313
Каучук СКТН А	100	80	90	80	70	60
SIPERNAT 360	–	20	10	20	30	40
Итого	100	100	100	100	100	100

Применение методов СЭМ и АСМ для визуализации топографии поверхности и срезов исследованных силиконовых каучуков с кремнекислотными наполнителями позволило непосредственно наблюдать изменения структуры композитных эластомеров в микро- и нанометровом диапазоне при увеличении концентрации усиливающих наполнителей. Снимки топографии и материального контраста поверхности композитов позволили визуализировать довольно однородное распределение частиц двукиси кремния в матрице силоксанового каучука. Размеры этих микро- и наноагрегатов наполнителя в различных композитах варьируют в широких пределах от 50 нм до 15 мкм, а ближайшие расстояния между ними – от 100 нм до 25 мкм.

Полученные данные позволяют понять причины проявления наполнителем SIPERNAT 360 усиливающих свойств в каучуке СКТН А, обусловленных не только химическим средством диоксида кремния и матрицы, но и однородным пространственным распределением наполнителя в композите. Обсуждается роль полярных гидроксильных групп (ОН), связанных с наполнителем (силанольными группами), взаимодействующих с силоксановыми сегментами (Si – O – Si) силикона с образованием водородной связи, что позволяет предотвратить макроскопическую агломерацию двукиси кремния при введении в полимер, обеспечивая гомогенность распределения наполнителя в композите. Увеличение поверхности взаимодействия наполнителя с полимером эффективно упрочняет исходную силиконовую матрицу.

Установленная с помощью СЭМ и АСМ корреляция особенностей распределения наполнителей в полимере с физико-механическими свойствами исследованных композитов важна для разработки основных принципов усиления прочности новых материалов.

## Библиографический список

1. Yanovsky Yu.G., Valiev H.H., Kornev Yu.V. et al. The role of the scale factor in estimation of the mechanical properties of composite materials with nanofillers // Int. J. Nanomechanics, Sci. and Techn. – 2010. – № 1 (3). – P. 187–210.
2. Корнев Ю.В., Чиркунова С.В., Бойко О.В. и др. Исследование влияния дисперсности минерала шунгит на комплекс свойств эластомерных композиций на основе каучука СКТН А // Каучук и резина. – 2012. – № 6. – С. 10–14.

УДК 624.016

## ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕГКИХ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПОКРЫТИЯХ БОЛЬШИХ ПРОЛЕТОВ

В.В. Веселов, М.С. Булатов  
ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

## THE USE OF LIGHTWEIGHT COMPOSITE STRUCTURES IN THE ROOFS OF LARGE SPANS

V.V. Veselov, M.S. Bulatov  
PGUPS, St. Petersburg, Russia

Балочные конструкции больших пролетов (свыше 36 м) в настоящее время широко применяются в гражданском и промышленном строительстве, в том числе при реконструкции зданий и сооружений. Традиционными конструкциями в таком случае являются стальные фермы, рамные, арочные, а также пространственные системы (структуры, купола и пр.) [1]. Актуальным вопросом при проектировании большепролетных конструкций остается снижение материоемкости при обеспечении удобства изготавления, транспортировки и монтажа, а также надежности эксплуатации.

С этой точки зрения весьма перспективны шпренгельные конструкции, например, шпренгельная ферма, включающая балку жесткости, затяжку и стойки шпренгеля, установленные между ними, а также подкосы в средних панелях шпренгельной фермы [2]. Общим недостатком таких технических решений является невысокая устойчивость элементов шпренгельной фермы на монтаже и при эксплуатации.

Проблема может быть решена за счет применения предварительно напряженной шпренгельной фермы, которая включает элемент жесткости, гибкую затяжку, объединяющие их стойки шпренгеля и натяжное устройство. При этом элемент жесткости сделан в виде парных балок-распорок, а гибкая затяжка на опорных участках присоединена к V-образным траверсам, закрепленным на торцах парных балок-распорок, выполненных в виде перфорированных труб замкнутого поперечного сечения, квадратного или прямоугольного, объединенных между собой решеткой. Данное решение запатентовано авторами [3].

Таким образом, предварительно напряженная шпренгельная ферма является комбинированной системой, состоящей из жестких элементов рамной надстройки в виде парных балок-распорок с присоединенными к ним стойками шпренгеля, объединенными горизонтальными распорками, опирающихся в пролете на гибкую затяжку, объединенную с опорами через V-образные траверсы.

После приложения нагрузок жесткие и гибкие элементы комбинированной системы начинают работать совместно, поддерживая друг друга. При этом гибкая затяжка и V-образные траверсы находятся в растянутом состоянии, а устойчивость пространственного положения гибкой затяжки в направлении из вертикальной плоскости предварительно напряженной шпренгельной фермы обеспечивается ее объединением с жесткими элементами рамной надстройки, а именно усилия от гибкой затяжки передаются через наклонные к вертикали стойки шпренгеля к парным балкам-распоркам, объединенным горизонтальными распорками и решеткой. При этом парные балки-распорки вместе с горизонтальными распорками и решеткой образуют горизонтальную ферму. Парные балки-распорки находятся в сжато-изогнутом напряженном состоянии, а их пространственная устойчивость обеспечивается в вертикальном направлении опиранием на гибкую затяжку через наклонные к вертикали стойки шпренгеля, а в горизонтальном направлении – фермой, состоящей из горизонтальных распорок и решеткой, уменьшающей свободную длину парных балок-распорок до размеров панелей решетки. Стойки шпренгеля работают на сжатие с изгибом как элементы жесткой рамной надстройки, опирающейся на растянутую гибкую затяжку. Устойчивость формы гибкой затяжки в горизонтальном направлении обеспечивается ее закреплением в направляющих, пространственное положение которых гарантируется фиксацией к указанной выше горизонтальной ферме наклонными стойками шпренгеля.

Эффективность предлагаемого решения по сравнению с классическими конструкциями была оценена по результатам расчетов, в том числе численных с применением ПВК SCAD, для конструкции покрытия мемориального дворика ПГУПС и приведена в таблице.

Материалоемкость большепролетных конструкций (пролет 42 м)

Вариант	Расход стали, кг/м <sup>2</sup>
Трапециевидная ферма	24
Шпренгельная балка	20
Предварительно напряженная шпренгельная ферма	17