ОДМ 218.2.076-2019

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЙОНОВ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ УСЛОВИЯМИ (НИЖЕ –40 °С И ВЫШЕ +40 °С)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным автономным учреждением «Российский дорожный научно-исследовательский институт» (ФАУ «РОСДОРНИИ»)

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 06.11.2019 № 3197-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 4
2 Нормативные ссылки 4
3 Термины и определения 8
4 Основные положения 10
5 Конструктивно-технологические требования к пролетным строениям из композитов (ПСК) 11
6 Рекомендации по проектированию пролетных строений из композитов 20
7 Рекомендации по изготовлению и монтажу конструкций пролетных строений из композитов (ПСК) 35
8 Рекомендации по ремонту и содержанию пролетных строений из композитов (ПСК) 41
9 Методика расчета экономической эффективности применения мостов автомобильных и пешеходных с использованием композитов (МАК и МПК) 44
10 Требования безопасности и охраны окружающей среды для МАК и МПК 54
11 Правила приемки исходных материалов, конструктивных элементов, пролетных строений и мостов 55
12 Методы контроля и испытаний конструктивных элементов ПСК..... 60
13 Транспортировка и хранение конструктивных элементов ПСК..... 61
Приложение А Основные характеристики типовых конструктивных элементов автомобильных и пешеходных мостов из композитов..... 62
Приложение Б Значения механических характеристик композитных профилей 65
Приложение В Опыт проектирования и строительства автодорожного моста с фермами из полимерных композитных профилей в Сибири..... 71
Приложение Г Методы контроля и испытаний перильных ограждений.. 85
Библиография 87

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Рекомендации по применению конструкций из композитных материалов для районов с экстремальными температурными условиями (ниже -40 °С и выше +40 °С)

1 Область применения

Настоящий отраслевой дорожный методический документ устанавливает рекомендации на проектирование, изготовление и ремонт конструкций мостовых сооружений и пешеходных мостов из полимерных композиционных материалов, которые расположены в областях с экстремальными температурными условиями (ниже -40 °С и выше +40 °С). Нижней и верхней границами экстремальных температурных условий являются -60 °С и +60 °С, ввиду того, что абсолютное большинство технических условий всех изготавливаемых и применяемых композиционных конструктивных материалов (кроме специальных углепластиковых) регламентирует сохранение их физико-химических свойств и работоспособность в этих температурных границах.

2 Нормативные ссылки

В настоящем ОДМ использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

ГОСТ 25.601-80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной

матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ 25.602-80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ 25.604-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах

ГОСТ 535-2005 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия

ГОСТ 2246-70 Проволока стальная сварочная. Технические условия

ГОСТ 4648-71 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб

ГОСТ 4650-80 Пластмассы. Методы определения водопоглощения

ГОСТ 4651-82 Пластмассы. Метод испытания на сжатие

ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

ГОСТ 5582-75 Прокат тонколистовой коррозионно-стойкий, жаростойкий и жаропрочный. Технические условия

ГОСТ 5632-72 Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки

ГОСТ 5949-2018 Металлопродукция из сталей нержавеющих и сплавов. На железоникелевой основе коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных. Технические условия

ГОСТ 6958-78 Шайбы увеличенные. Классы точности А и С. Технические условия

ГОСТ 7350-77 Сталь толстолистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия

ГОСТ 8829-2018 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости

ГОСТ 9466-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия

ГОСТ 9550-81 Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

ГОСТ 11371-78 Шайбы. Технические условия

ГОСТ 12730.5-2018 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости

ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения

ГОСТ 13087-2018 Бетоны. Методы определения истираемости

ГОСТ 15139-69 Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы)

ГОСТ 15173-70 Пластмассы. Метод определения среднего коэффициента линейного теплового расширения

ГОСТ 16782-92 Пластмассы. Метод определения температуры хрупкости при ударе

ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 18197-82 Пластмассы. Метод определения ползучести при растяжении

ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия

ГОСТ 19903-2015 Прокат листовой горячекатаный. Сортамент

ГОСТ 19904-90 Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент

ГОСТ 23630.2-79 Пластмассы. Метод определения теплопроводности

ГОСТ 24297-2013 Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля

ГОСТ 26433.1-89 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления

ГОСТ 26877-2008 Металлопродукция. Методы измерений отклонений формы

ГОСТ 27017-86 Изделия крепежные. Термины и определения

ГОСТ 28840-90 Машина для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования

ГОСТ 30244-94 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть

ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования

ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции

ГОСТ 30402-96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость

ГОСТ Р 50597-2017 Дороги аавтомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля

ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств

ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования

ГОСТ Р 54928-2012 Пешеходные мосты и путепроводы из полимерных композитов. Технические условия

СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений

СП 43.13330.2012 Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85

СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86.

3 Термины и определения

В настоящем ОДМ применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **композит (композиционный материал)**: Твердый материал, состоящий из двух или более разнородных компонентов (матрицы и наполнителя), объединенных связующим материалом (матрицей).

3.2 **полимерный композит** (**ПК**): Композит, матрица которого образована из термопластичных или термореактивных полимеров или эластомеров.

3.3 **ламель**: Монослой полимерного композита, армированный одним видом армирующего наполнителя – однонаправленным ровингом, тканью или матом.

3.4 **ламинат**: Пластина многослойного полимерного композита, состоящая из нескольких ламелей одинаковой или различной толщины.

3.5 **профиль полимерный композитный пултрузионный (профиль композитный пултрузионный)**: Линейное профильное изделие из полимерного композита, изготовленное по технологии пултрузии и имеющее постоянное поперечное сечение.

3.6 **мост пешеходный с конструктивными элементами из полимерных композитов (мост пешеходный композитный) (МПК)**:

Искусственное сооружение для пропуска пешеходов над различными препятствиями, пролетное строение и другие несущие конструкции которого выполнены из конструкционных полимерных композитов.

3.7 **мост автомобильный с конструктивными элементами из полимерных композитов (мост автомобильный композитный) (МАК)**: Искусственное сооружение для переезда автомобилей с разрешенной массой над различными препятствиями, пролетное строение и другие несущие конструкции которого, выполнено из конструкционных полимерных композитов.

3.8 **элементы конструктивные композитного пешеходного моста или путепровода (конструктивные элементы)**: Отдельные конструктивные элементы, являющиеся составной частью композитного пешеходного моста или путепровода и предназначенные для его сооружения.

3.9 **конструкции несущие композитного пешеходного моста или путепровода (несущие конструкции)**: Конструктивные элементы пешеходного моста или путепровода, воспринимающие постоянные и временные нагрузки и обеспечивающие несущую способность сооружения.

3.10 **пролетное строение автомобильного или пешеходного моста из композитных конструкций (пролетное строение) (ПСК)**: Несущая конструкция (ферма или балка), перекрывающая пространство между опорами, воспринимающая нагрузку от элементов мостового полотна, автомобилей и пешеходов и передающая эту нагрузку на опоры.

3.11 **перильные ограждения из композиционных материалов**: Ограждающее устройство из полимерных композитов, обеспечивающее безопасное передвижение пешеходов.

3.12 **строительный подъем**: Выгиб пролетного строения или его конструктивных элементов (главных и продольных балок) по форме, противоположный прогибу от постоянной и определенной части временной нагрузки с целью обеспечения плавности езды транспортных средств.

3.13 **коробчатая балка пролётного строения**: Балка из многослойного полимерного композита (ламината), имеющая замкнутое поперечное коробчатое сечение, которое образовано верхней и нижней горизонтальными плитами, объединёнными сплошными продольными наклонными стенками и поперечно установленными вдоль пролёта балки дискретными диафрагмами, которые расположены во внутреннем пространстве коробчатого сечения.

Примечание – Внутреннее пространство между стенками может быть заполнено, например, вспененной пластмассой.

3.14 **U-балка пролётного строения**: Балка из многослойного полимерного композита U-образного разомкнутого к верху поперечного сечения, содержащая две сплошные продольные стенки полигонального верхнего очертания, объединенные сплошной нижней горизонтальной плитой и дискретно расположенными поперёк пролёта поперечными диафрагмами.

3.15 **ферма пролётного строения (ферма)**: Стержневая конструкция из полимерных композитных профилей, состоящая из верхнего и нижнего поясов и расположенной между поясами треугольной решётки, которая включает в себя восходящие (нисходящие) раскосы и стойки (подвески).

3.16 **ПСК**: Пролётные строения из полимерных композитов.

3.17 **ПОС**: Проект организации строительства.

3.18 **ЛКП**: Лакокрасочное покрытие.

4 Основные положения

4.1 Рекомендуемые пределы экстремальных температур, в которых могут эксплуатироваться пролётные строения из полимерных композитов (ПСК) на автомобильных (МАК) и пешеходных (МПК) мостах, определяются интервалом рабочих температур от -60 °С до +60 °С, географическими зонами от сухой до влажной по СНиП 21-01-97*, географическим районом с сейсмичностью до 9 баллов, степенью агрессивности среды не более чем «слабоагрессивная».

4.2 Расчетные сроки службы МАК, МПК, ПСК и их конструктивных элементов различного функционального назначения устанавливаются соответствующими территориальными нормами с учётом местных условий эксплуатации сооружения. Рекомендуемая проектная продолжительность эксплуатации несущих (пролётных строений) конструкций автомобильных и пешеходных мостов из полимерных композитов в экстремальных температурных условиях принимается равной 20 лет с возможной пролонгацией до 50 лет при условии постоянного мониторинга напряженно-деформированного состояния ПСК, согласованного с организацией, на балансе которой находится данное мостовое сооружение, а также полного инвентарного обследования несущих конструкций ПСК каждые 5 лет и проведения необходимых регламентных и ремонтно-восстановительных работ.

5 Конструктивно-технологические требования к пролетным строениям из композитов (ПСК)

5.1 Требования к конструктивным элементам ПСК

5.1.1 Общие требования

5.1.1.1 Основными несущими конструкциями МАК и МПК являются пролетные строения из композитов (ПСК). Конструкции ПСК и другие отдельные конструктивные элементы МАК и МПК должны соответствовать требованиям, предъявляемым к мостовым сооружениям согласно СП 35.13333.2011.

5.1.1.2 Конструктивные элементы из композитов должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 54928, настоящих рекомендаций и изготавливаться в соответствии с утвержденной в установленном порядке технологической документацией, которая должна содержать пооперационную карту производства работ и карту контроля параметров технологического процесса производства.

5.1.1.3 Рабочие поверхности проезжей и прохожей части ПСК должны быть защищены износостойким, противоскользящим покрытием, удовлетворяющим требованиям по прочности на сжатие не ниже В20 по ГОСТ 10180, по водонепроницаемости – не ниже W6 по ГОСТ 12730.5, по морозостойкости – не менее F300 (в солях) по ГОСТ 10060 и истираемости по ГОСТ 13015: для МПК покрытие наносится преимущественно в заводских условиях, для МАК наносится полимерное износостойкое покрытие проезжей части по ГОСТ Р 53627-2009 и нормам проектирования СНиП 2.05.03-84* во время СМР на бетонное полотно после его укладки и достижения расчетной прочности.

5.1.1.4 Для конструктивных элементов ПСК следует обеспечить выполнение требований к пределам огнестойкости строительных конструкций, которые устанавливаются проектом, исходя из обеспечения безопасной эвакуации людей, находящихся на мосту.

5.1.2 Требования к ПСК

5.1.2.1 Рекомендуется применять для ПСК конструкции в виде сложных ферм и/или балок из собираемых композитных пултрузионных профилей, имеющих поперечное сечение в виде двутавров, швеллеров, уголков, прямоугольного и круглого сечения коробчатой, а также сплошных изогнутых балок, изготовленных по технологии вакуумной инфузии.

5.1.2.2 В процессе проектирования композитных балок и ферм ПСК геометрические размеры и расчётные сопротивления композитов, а также формообразующие заполнители для внутренних пустот балок следует рассчитывать в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54928 и раздела 6 настоящих рекомендаций.

5.1.2.3 Узлы опирания балок и ферм ПСК на опоры должны предотвращать отрыв пролётного строения от опор под действием сейсмических, ветровых и др. сдвигающих пролётное строение нагрузок, в

т.ч. от действия воздушных масс от проходящего под путепроводом транспорта.

5.1.2.4 Цельноперевозимые балки и блоки ферм ПСК должны содержать элементы, обеспечивающие крепление перил, светопрозрачного ограждения и других обустройств, необходимых для обеспечения проектной эксплуатации ПСК.

5.1.2.5 Минимальную толщину листа пултрузионного профиля для одиночных несущих конструктивных элементов назначают не менее 7,0 мм и не менее 3,5 мм для составных элементов.

5.1.2.6 Поверхности пултрузионных профилей выполняют с содержанием свето- и гидростойкого покрытия, нанесение которого выполняют в заводских условиях. При работе в районах с повышенной температурой возможно добавление различных антипиренов неорганического состава.

5.1.2.7 Допускается применение в составе ферм несущих конструктивных элементов и узлов из нержавеющей стали с использованием болтовых соединений.

5.1.2.8 Рекомендуется для ПСК на стадии изготовления или монтажа создавать строительный подъём, значения которого устанавливаются проектом, но не менее 0,1 % длины пролёта.

5.1.2.9 Основные характеристики типовых конструкций ПСК из полимерных композиционных материалов приведены в приложении А.

5.1.3 Требования к перильным ограждениям из композитов

5.1.3.1 С внешней стороны ПСК тротуары, прохожая часть и служебные проходы ограждают перилами из композитов высотой не менее 1,1 м согласно требованиям СП 35.13330.2011 и ГОСТ Р 52289.

5.1.3.2 Перильные ограждения должны иметь марку по морозостойкости не менее F300 (в солях) по ГОСТ 10060.

5.1.3.3 В конструкциях перил из полимерных композитов следует предусматривать заполнение, исключающее возможность падения пешеходов с мостового сооружения с расстоянием в свету между элементами заполнения не более 150 мм.

5.1.3.4 Над деформационными швами пролетного строения в перильном ограждении необходимо обеспечивать возможность перемещения, соответствующего перемещению в деформационном шве, при сохранении в зоне перекрытия деформационного шва требуемой удерживающей способности перильного ограждения.

5.1.3.5 Перильным ограждениям следует задавать строительный подъем, компенсирующий вертикальные деформации пролетного строения от постоянной нагрузки, превышающий 1/1000 пролета.

5.1.3.6 Удерживающая способность перил из композитов должна быть не менее 1,27 кН согласно требованиям ГОСТ Р 52289.

5.1.3.7 Узлы крепления перил к несущим конструкциям рекомендуется выполнять с использованием анкерных болтовых соединений. В необходимых случаях болтовые анкерные соединения могут быть заменены на закладные анкерные гайки или пластины с гайками.

5.1.3.8 В соединениях конструкций перил возможно применять заклепки или химические анкера.

5.1.3.9 Основные характеристики типовых конструкций перильных ограждений из полимерных композиционных материалов приведены в приложении А.

5.1.4 Требования к стыковым соединениям

5.1.4.1 Конструкция стыков конструктивных элементов должна обеспечить минимальную передачу сдвиговых усилий на полимерный композит.

5.1.4.2 Узлы опирания конструктивных элементов с применением анкерных болтов должны удовлетворять требованиям СП 43.13330.2012.

5.1.4.3 Допускается применение в узлах соединений пултрузионных профилей:

-сталей марок 04Х18Н9Т, 04Х18Н10Т, 08Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т (зарубежный аналог – сталь марки AISI 321) по ГОСТ 5582, ГОСТ 7350, сортамент по ГОСТ 19903, ГОСТ 19904, сталь 10Х17Н13М2 по ГОСТ 5632 (зарубежный аналог – сталь марки AISI 316) с использованием следующих способов сварки: РДС, АрДС; для деталей и узлов, подвергаемых сварке способом АрДС, следует применять в качестве присадочного материала проволоку из стали той же марки; допускается применение для указанных марок сталей присадочной проволоки 06Х19Н9Т или 12Х18Н9Т по ГОСТ 2246; для способа сварки РДС следует применять электроды ЦД-11, ЦТ-15, НИАТ-1 (Св-04Х19Н9) по ГОСТ 9466;

-болтов, гаек и шайб из стали марок 08Х18Н9, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 12Х18Н10, 08Х18Н10Т, 03Х18Н11 по ГОСТ 5632; для высокопрочных болтов и гаек следует применять коррозионно-стойкие стали марок 14Х17Н2 или 07Х16Н6 по ГОСТ 5949;

-сварных узлов (кронштейнов) и труб для установки в стойках ограждений моста из стали марок Ст.3 и Ст.20 по ГОСТ 7350, сортамент по ГОСТ 19903, ГОСТ 19904.

5.1.5 Требования к допустимым отклонениям размеров конструктивных элементов от проектных величин

Для пролётных строений из полимерных композиционных материалов значения допустимых отклонений от проектных размеров приведены в таблице 1. Данные отклонения определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 26433.1, ГОСТ 26877.

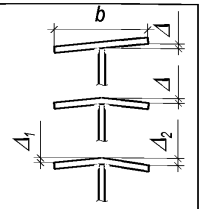
Таблица 1 – Допустимые отклонения размеров и формы конструктивных элементов ПСК от проектных значений

Наименование отклонения	Предельное отклонение, мм

1 Отклонение длины балки или фермы, при длине L, м: -до 50 включительно -свыше 50	 ± 10 0,0002L
2 Отклонение расстояний между соседними узлами ферм или связей решётки при расстоянии ℓ, м: -до 9 включительно -свыше 9	 0,0003ℓ ± 3
3 Отклонение от проектных значений величин строительного подъема пролетного строения, h, мм: -до 100 включительно -свыше 100	 ± 10 ±0,1h
4 Отклонение от проектного положения в плане оси главной балки или фермы при пролете L	0,0002L

Окончание таблицы 1

5 Отклонение в плане узла от прямой, соединяющей два соседних с ним узла при длине L	0,001L
6 Отклонение расстояний между осями вертикальных стенок балок	± 4
7 Отклонение расстояний между смежными вертикальными рёбрами жесткости, а также отклонение расстояний между поперечными балками	±2
8 Отклонение расстояний между осями продольных рёбер в зоне стыков и пересечений с поперечными балками -на других участках	 ±2 ±4
9 Отклонения по высоте балок в зоне стыков	±2
10 Допускаемый выгиб осей элементов длиной ℓ: -отдельных элементов главных ферм, балок -элементов связей	0,001ℓ, но не более 10 мм 0,0015ℓ, но не более 15 мм

11 Грибовидность, перекос, грибовидность с перекосом поясов балок, коробчатых профилей, плит (для коробчатых профилей и плит b – величина свободного свеса пояса, для двутавровых балок – ширина пояса)	
11.1 В стыках, в местах сопряжения балок с другими элементами, в зонах установки опорных частей	b/200, но не более 1 мм
11.2 На других участках	b/100 при Δ1-Δ2 ≤ 3 мм

5.2 Требования к материалам конструктивных элементов

5.2.1 Применяемые для изготовления конструктивных элементов ПСК композиты имеют в своем составе термореактивные смолы (из термопластичных/термореактивных полимеров или эластомеров), армированные стекловолокнами и/или углеволокнами по ГОСТ Р 54928.

5.2.2 В качестве термореактивных смол следует использовать следующие смолы: ненасыщенные полиэфирные смолы, винилэфирные смолы, эпоксидные смолы, фенольные смолы согласно ГОСТ Р 54928, а также эпоксивинилэфирные смолы.

5.2.3 Полимерные композиты армируют следующими типами армирующих наполнителей: ровинги или однонаправленные ленты или полотна, ткани (кордная, двунаправленная, мультиаксиальная), в том числе нитепрошивные полотна, маты (из непрерывных, штапельных волокон) по ГОСТ Р 54928. При этом объемное содержание армирующих волокон в полимерных композитах должно быть не менее 30 %.

5.2.4 При работе в районах с экстремально высокими температурами рекомендуется в состав полимерных композитов вводить инертные наполнители, которые предназначены для обеспечения термостойкости: ингибиторы горения, цветные пигменты, мел ($CaCO_3$), оксид кремния (SiO_2), стеклянные и полимерные микросферы, волокна, не являющиеся

армирующими наполнителями. Для экстремально низких температур (ниже -40 °С), при которых возможно наступление хрупкого разрушения элементов из ПК, при их изготовлении применяются добавки каучука и специальные комбинации эпоксивинилэфирных смол.

5.2.5 Обеспечение прочностных свойств ПК в экстремальных температурных условиях требует разработки специального химического состава компаунда и технологии его производства.

5.2.6 Основные физико-механические характеристики полимерных композитов для несущих конструктивных элементов по ГОСТ Р 54928 с учетом дополнительных характеристик и нормативные документы по определению значений таких характеристик приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики полимерных композитов для несущих конструктивных элементов и методы их определения

Характеристики	Метод определения
Вид напряженного состояния	
Растяжение в направлениях 0° и 90°	ГОСТ 11262
Сжатие в направлениях 0° и 90°	ГОСТ 4651
Изгиб в направлениях 0° и 90°	ГОСТ 4648
Межслоевой сдвиг (в т.ч. расчёт на касательные напряжения и смятие)	ГОСТ Р 54928
Показатели жесткости	
Модуль упругости при растяжении в направлениях 0° и 90°	ГОСТ 9550
Модуль упругости сдвига слоев	ГОСТ 9550 с учетом ГОСТ Р 54928
Модуль упругости при сжатии и коэффициент Пуассона в направлениях 0° и 90°	ГОСТ 25.602
Физические показатели	
Плотность	ГОСТ 15139
Водопоглощение	ГОСТ 4650

Коэффициент теплопроводности	ГОСТ 23630.2
Коэффициент линейного теплового расширения и температура стеклования	ГОСТ 15173 и ГОСТ Р 54928
Температура упругой деформации	ГОСТ 25.604 с учетом ГОСТ Р 54928
Температура хрупкости	ГОСТ 16782

5.2.7 Допускается производить оценку значения прочности (в том числе, на смятие в зоне опирания) несущих конструктивных элементов ПСК по ГОСТ 8829.

5.3 Требования стойкости полимерных композитов к внешним воздействиям

5.3.1 Полимерные композиты для изготовления всех конструктивных элементов ПСК должны удовлетворять требованиям по стойкости к внешним воздействиям: по морозостойкости, водонепроницаемости, влагостойкости, термостойкости, светостойкости, климатическому старению в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54928 и требованиям, предъявляемым к бетону по СП 35.13330.2011.

5.3.2 Дополнительные требования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Дополнительные требования к свойствам конструкций элементов пешеходных мостов из полимерных композитов и методы их определения

Наименование показателя	Значение	Нормативный документ
Истираемость прохожей части, $мм^3/м$, не более	10,0	ГОСТ 13087

5.3.3 Значения температур хрупкости и стеклования полимерных композитных конструкций мостов должны находиться за пределами диапазона экстремальных температур эксплуатации ПСК на величину не менее 20 °С.

5.3.4 Отношение значений основных физико-механических свойств полимерных композитов после приложения внешних воздействий к их

изначальным значениям до приложения таких воздействий характеризуется частными коэффициентами надёжности по материалу.

5.3.5 Рекомендуемые значения коэффициентов надежности, которые могут быть использованы при проектировании как номинальные, приведены в таблице 4 и должны быть подтверждены экспериментально в процессе периодических и приёмо-сдаточных испытаний.

Таблица 4 – Изменение прочности на растяжение и сжатие в направлениях 0° и 90° полимерных композитов

Характеристика сопротивления воздействию	Метод реализации	Рекомендуемое значение частного коэффициента
Морозостойкость	Марка F 300, в солях. ГОСТ10060	1,1
Влагостойкость	ГОСТ 4650	1,3

Окончание таблицы 4

Термостойкость	Испытания на растяжение, сжатие нагретых до плюс 60 °С образцов	1,2
Светостойкость	ГОСТ 9.708 (метод 2)	1,1
Климатическое старение	ГОСТ 9.708, методы 1, 2 (Приложение Б)	1,2
Ползучесть	ГОСТ18197-82	1,37 – 2,50 (ср. значение 1,66)
Выносливость	Приложение В	1,1

6 Рекомендации по проектированию пролетных строений из композитов (ПСК)

6.1 Общие положения

6.1.1 Несущие конструктивные элементы ПСК следует проектировать в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54257, СП 35.13330.2011 в части их надёжности в процессе возведения и эксплуатации, в том числе с учётом

особых воздействий (пожара, взрыва) и изменений свойств полимерных композитов во времени.

6.1.2 Нормативные значения физико-механических характеристик полимерных композитов, использованные при проектировании ПСК и заявленные в нормативных документах на эти изделия, должны быть подтверждены для данного объекта предприятием-изготовителем конструктивных элементов в процессе периодических и приёмосдаточных испытаний.

6.1.3 Рекомендуется упругие прогибы пролетных строений от временной вертикальной нагрузки минимизировать (вариантными расчетами при проектировании) с целью обеспечения безопасности перемещения автомобилей и пешеходов по мостам и путепроводам.

6.1.4 Значения перемещений и усилий в несущих конструктивных элементах ПСК следует определять из условия их работы с сечениями брутто. При этом в расчётах на прочность отдельных элементов, ослабленных отверстиями под болты, следует принимать их сечения нетто, а на устойчивость и жесткость – брутто.

6.1.5 Расчёт стальных элементов, входящих в состав несущих конструктивных элементов ПСК, а также расчёт болтовых соединений следует выполнять в соответствии с указаниями СП 35.13330.2011.

6.1.6 При расчётах болтовых соединений следует производить расчет на срез и смятие болтов и полимерного композита с учётом перераспределения усилий между отдельными соединениями, входящими в состав многоболтового соединения, при отсутствии учёта сил трения. Для элементов, ослабленных отверстиями под «чёрные» болты, при расчетах на прочность следует принимать сечения нетто, а на устойчивость и жесткость – сечения брутто. Геометрические характеристики сечения нетто элементов конструкций следует находить с учетом ослаблений.

6.2 Расчёты конструктивных элементов

6.2.1 Несущие конструктивные элементы из полимерных композитов следует рассчитывать по методу предельных состояний на неблагоприятные сочетания постоянных и временных нагрузок на прочность, устойчивость сжатых элементов, устойчивость к опрокидыванию и выносливость (первая группа предельных состояний), а также по жесткости (прогибам) (вторая группа предельных состояний) в соответствии с требованиями СП 35.13333.2011.

6.2.2 Для каждого вида предельного состояния несущего конструктивного элемента следует устанавливать расчетную модель, наиболее точно описывающую работу конструктивного элемента при наиболее неблагоприятных условиях возведения и эксплуатации мостового сооружения.

6.2.3 Расчёт конструктивных элементов из полимерных композитов, следует проводить в предположении их линейно-упругой работы аналитически или с использованием компьютерных программ с учётом деформаций изгиба и сдвига слоёв ламината.

6.2.4 Геометрическую нелинейность, вызванную упругой деформацией несущих конструктивных элементов, следует учитывать в расчетах, если такой учет не вызывает изменений значений усилий и перемещений по сравнению с недеформированной моделью конструкции более чем на 5 %.

6.2.5 Расчет конструкций из полимерных композитов производится на основе СП 35.13330.2011 с использованием следующего неравенства (1):

$$S \cdot \gamma_f \le \frac{R_{cp} \cdot (1 - 2\upsilon)}{\gamma_m \cdot \gamma_c}, \qquad (1)$$

где S – напряжения (деформации) в конструкции от воздействия нормативных нагрузок, МПа;

γ_f – коэффициент надежности по нагрузке в соответствии с СП 35.13330.2011;

R_{cp} – средние значения сопротивлений (деформаций) полимерного

композита, МПа;

ν – коэффициент вариации (в долях единицы), характеризующий разброс свойств композитного материала, значения которого должны быть приняты по результатам не менее чем 12 испытаний в одной пробе полимерного композита с допустимой отбраковкой двух результатов; на стадии вариантного проектирования допускается принимать ν равным не менее 13 %;

γ_c – коэффициент надёжности для технологии изготовления, характеризующий разброс свойств для различных методов изготовления полимерного композита;

γ_m – обобщенный коэффициент надежности по материалу, определяемый с использованием частных коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов, снижающих физико-механические характеристики слоистых стеклопластиков в процессе эксплуатации, по формуле (2):

$$\gamma_m = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 , \qquad (2)$$

где K_1 – коэффициент влияния температуры;

K_2 – коэффициент, учитывающий увлажнение конструкций;

K_3 – коэффициент ползучести стеклопластика для долговременных нагрузок;

K_4 – коэффициент усталости стеклопластика;

K_5 – коэффициент морозостойкости стеклопластика;

K_6 – коэффициент старения стеклопластика за время эксплуатации моста;

K_7 – коэффициент светостойкости.

Таблица 5 – Значения коэффициента надёжности γ_c для различных технологий изготовления конструкций из полимерных композитов

Способ производства	Коэффициент надежности γ_c	
	Постотвержденный полимерный композит	Полимерный композит без постотверждения

Инфузия	1,2	1,4
Вакуумная инфузия	1,2	1,4
Формование из препрега	1,1	1,3
Пултрузия	1,1	1,3
Ручная выкладка	1,4	1,7

6.2.6 Минимальное значение коэффициента γ_m должно быть более 3,0 при расчетах на прочность и более 2,5 при расчете устойчивости конструктивных элементов.

6.2.7 Применение частных коэффициентов и их комбинаций в расчетах по первому или второму предельному состоянию осуществляется в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Комбинации частных коэффициентов для соответствующих предельных состояний

Коэффициенты пересчета для различных факторов и	Первое предельное состояние			Второе предельное состояние		
	Прочность	Устойчивость	Выносливость	Жесткость	Динамические воздействия	Трещиностойкость
Температура K_1	x	x	x	x	x	x
Влагостойкость K_2	x	x	x	x	x	x
Ползучесть K_3	x	x	-	x	-	x
Выносливость K_4	-	x	x	x	x	x
Морозостойкость K_5	x	-	x	-	-	x

Старение $К_6$	х	х	х	х	х	х
Светостойкость $К_7$	х	х	х	х	х	х

6.2.8 Допускается на стадии вариантного проектирования с последующим экспериментальным подтверждением принимать значения коэффициентов $К_1$-$К_7$ по таблице 6 настоящего документа.

6.2.9 Расчёт пролётных строений на опрокидывание, сдвиг и отрыв от опорных частей, от усилий, возникающих при ветровом воздействии, следует производить в соответствии с п. 5.40, 5.41 СП 35.13330.2011.

6.3 Расчет на прочность

В расчетах на прочность правую часть неравенства (3) следует умножать на коэффициент надёжности, по ответственности равный 0,9.

Расчет центрально растянутых (сжатых) элементов силой N следует выполнять по формуле (3):

$$\frac{N}{A_n} \le R_N^{t(c)}, \qquad (3)$$

где $R_N^{t(c)}$ – расчетное сопротивление (сжатию) по направлению действия силы N;

A_n – площадь сечения с учётом ослабления отверстиями.

Расчет напряжений изгибаемых, внецентренно растянутых и внецентренно сжатых элементов следует выполнять по формуле (4):

$$\frac{|N|}{A_n} + \frac{|M_x|}{\xi_x W_{nx}} + \frac{|M_y|}{\xi_y W_{ny}} \le R_N^b, \qquad (4)$$

где R_N^b – расчетное сопротивление изгибу по направлению действия силы N;

A_n, W_{nx}, W_{ny} – площадь и моменты сопротивления сечения нетто;

N, M_x, M_y – расчетные значения продольной силы («+» растяжение) и изгибающих моментов в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

ξ_x, ξ_y – коэффициенты, учитывающие дополнительные моменты от продольной сжимающей силы, равны по формуле (5):

$$\xi_{x(y)} = 1 + \frac{N}{N_{ex(y)}} \le 1, \quad (5)$$

где $N_{ex(y)}$ – критическая сила при потере устойчивости в плоскостях *x,y* расчётного сечения; допускается принимать $\xi_{x(y)}=1$ при $\lambda_{x(y)} \le 60$, где $\lambda_{x(y)}$ определяется по формуле (7).

Значение критической силы допускается вычислять по формуле (6):

$$N_{ex(y)} = \varphi_{x(y)} R_N^e A, \quad (6)$$

где $\varphi_{x(y)}$ – коэффициент продольного изгиба определяется при $e_{ef}=0$ по формулам (14), (15).

Значения гибкостей $\lambda_{x(y)}$ в различных плоскостях конструктивного элемента, которому принадлежит рассчитываемое сечение, с учётом требований СП 35.13330.2011 вычисляются для сплошного сечения по формуле (7):

$$\lambda_{x(y)} = \frac{l_{efx(y)}}{i_{x(y)}}, \quad (7)$$

где $\ell_{efx(y)}$ – расчетная длина конструктивного элемента в плоскости изгиба с учетом фактических условий закрепления элемента в узлах и подвижности опорных закреплений; значения величины не могут быть меньше значений, установленных СП 35.13330.2011;

$i_{x(y)}$ – радиус инерции сечения, вычисляемый для сечения брутто.

Значения касательных напряжений τ в сечении должны удовлетворять условию (8):

$$\tau \le R^S, \quad (8)$$

где R^S – расчетное сопротивление сдвигу.

Допускается вычислять значения τ по формуле (9):

$$\tau = \frac{QS^{отс.}}{It}. \quad (9)$$

Допускается для пултрузионных профилей значения τ определять по формуле (10):

$$\tau = \frac{Q}{kA_{cd}}, \quad (10)$$

где I – момент инерции сечения брутто;

A_{cd} – площадь сдвига;

κ – коэффициент сдвига;

S^{omc} – статический момент отсеченной части сечения;

t – толщина стенки; при наличии ослаблений стенки отверстиями диаметра d, расположенных с шагом a, вместо значения t необходимо подставлять значение t_{ef} по формуле (11):

$$t_{ef} = t\frac{a-d}{a}. \quad (11)$$

Для стенок сечений должно выполняться условие (12), ограничивающее величину эквивалентного напряжения:

$$\frac{\sigma_x^2}{S_1^2} - \frac{\sigma_x\sigma_y}{S_1 S_2} + \frac{\sigma_y^2}{S_2^2} + \frac{\tau^2}{S_{12}^2} \le 1{,}1, \quad (12)$$

где σ_x, σ_y – действующие напряжения в направлении осей x и y;

τ – действующие напряжения сдвига в плоскости элемента;

S_1S_2 – предельные напряжения по направлению главных осей жесткости материала;

S_{12} – предельное сдвиговое напряжение слоя.

В зависимости от знака напряжений (растяжение «+», сжатие «-») в конструктивном элементе напряжения S_1, S_2, S_{12} определяются по зависимостям (13):

$$S_1 = \begin{cases} R_1^+, & \sigma_x \ge 0 \\ R_1^c, & \sigma_x < 0 \end{cases}, \qquad S_2 = \begin{cases} R_2^+, & \sigma_y \ge 0 \\ R_2^c, & \sigma_y < 0 \end{cases}, \qquad S_{12} = R^s. \quad (13)$$

6.4 Расчет по устойчивости

Расчет при плоской форме потери устойчивости конструктивного элемента постоянного сечения, подверженного центральному или внецентренному сжатию в плоскости наименьшей гибкости, следует выполнять по формуле (14):

$$\frac{N}{A} \le \varphi R_N^C, \tag{14}$$

где R_N^C – расчетное сопротивление сжатию по направлению действия силы N;

A – площадь сечения конструктивного элемента брутто;

φ – коэффициент продольного изгиба, зависящий от максимальной гибкости и эксцентриситета приложения нагрузки, определяемый экспериментально.

Допускается определять значение коэффициента φ по таблице 3 Приложения 15 СП 35.13330.2011 в зависимости от значений гибкости λ и приведенного относительного эксцентриситета e_{ef} по формуле (15):

$$e_{ef} = \eta e_{rel}, \tag{15}$$

где $e_{rel}=e/\rho$ – относительный эксцентриситет;

$\rho = W/A$ – ядровое расстояние;

$e = M/N$ – эксцентриситет приложения нагрузки;

W, A – момент сопротивления и площадь сечения брутто;

N, M – сжимающая сила и изгибающий момент в конструктивном элементе;

η – коэффициент формы сечения, определяемый по Приложению 15 СП 35.13330.2011 аналогично стали 10ХСНД.

Расчет местной устойчивости при изгибе двутавровых профилей, квадратных и прямоугольных труб следует определять по формуле (16):

$$\sigma^{кр} = \frac{\pi^2}{12\gamma_E}\left(\frac{2t}{b}\right)^2\left[\sqrt{q}\left(2\sqrt{E_1E_2}\right) + p(E_2\nu_{12} + 2G)\right]. \tag{16}$$

Для двутаврового сечения – по формуле (17):

$$p = 0{,}3 + \frac{0{,}004}{\varsigma - 0{,}5}; q = 0{,}025 + \frac{0{,}065}{\varsigma + 0{,}4}; \varsigma = \frac{2b_{cm}}{b}. \quad (17)$$

Для квадратных и прямоугольных труб – по формуле (18):

$$p = 2{,}0 + \frac{0{,}002}{\varsigma - 1{,}3}; q = 1{,}0 + \frac{0{,}08}{\varsigma + 0{,}2}; \varsigma = \frac{b_{cm}}{b}, \quad (18)$$

где ν_{12} – коэффициент Пуассона;

E_1, E_2 – модули упругости;

G – модуль сдвига;

t, b – толщина и ширина сжатой зоны конструктивного элемента;

b_{cm} – высота стенки конструктивного элемента;

y_E – коэффициент надежности для модуля упругости.

6.5 Расчет на выносливость

Расчёт на выносливость рекомендуется производить без учёта коэффициента надёжности по нагрузке в зависимости от асимметрии цикла ρ переменной нагрузки, который характеризуется отношением наименьших σmin (со знаком «–» для сжатия) и наибольших σmax (со знаком «+» для растяжения) напряжений.

Номинальное (теоретическое) значение расчётного числа циклов (Nf) переменной нагрузки с постоянной амплитудой до разрушения полимерного композита допускается определять по формулам (19), (20):

а) для симметричных нагрузок ($|\sigma_{min}| = |\sigma_{max}|$) с постоянной амплитудой (ρ=1):

$$N_f = \left(\frac{R_C}{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}} \right)^k, \quad (19)$$

где σ_{min}, σ_{max} – максимальное и минимальное напряжения в конструктивном элементе от переменной нагрузки (в данной формуле используются абсолютные значения напряжений);

k – значение первой производной функции «напряжение-деформация» полимерного композита при растяжении в системе десятичных логарифмических осей координат;

R_p – расчётное значение прочности полимерного композита при растяжении;

б) для асимметричных нагрузок с постоянной амплитудой:

$$N_f = \left[\frac{\mathrm{R_p}}{\sigma_\Delta}\left(1-\frac{\sigma_{\mathrm{cp}}}{R_{p/c}}\right)\right]^{\mathrm{k}}, \qquad (20)$$

где σ_Δ – разница (амплитуда напряжений) между максимальным σ_{max} (со знаком «+» для растяжения и «–» для сжатия) и минимальным значением напряжений σ_{min} (со знаком «+» для растяжения и «–» для сжатия) в конструктивном элементе;

σ_{cp} – среднее значение действующего в цикле;

$R_{p/c}$ – расчётная прочность полимерного композита на сжатие или растяжение, выбираемая в зависимости от знака среднего значения напряжений (σ_{cp}), действующего в цикле.

Оценку выносливости конструктивного элемента при циклических нагрузках с переменными амплитудами допускается выполнять путём выделения и последующего суммирования (численное интегрирование) предельных состояний, каждое из которых имеет одну и ту же величину амплитуды напряжений σ_Δ и значение ρ (правило Майнера) по формуле (21):

$$D = \sum_i^M \frac{n_i}{N_i} \le 1, \qquad (21)$$

где M – количество отрезков времени с одинаковыми на данном отрезке значениями амплитуд напряжений σ_Δ и значений ρ;

n_i – количество циклов внутри каждого отрезка времени с одинаковыми значениями амплитуд напряжений σ_Δ и значений ρ;

N_i – максимальное допустимое (предельное) количество циклов.

6.6 Расчет на ползучесть

Влияние ползучести на изменение модуля упругости рекомендуется производить с использованием номинального (теоретического) значения коэффициента K_3 (таблица 7) по формуле (22):

$$K_3 = t^n, \tag{22}$$

где t – продолжительность действия нагрузки, ч;

n – показатель степени, зависящий от типа армирования, при расположении волокон по направлению нагрузки:

-n = 0,01 – для однонаправленно-армированных слоев;

-n = 0,04 – для дву- или многонаправленно-армированных слоев;

-n = 0,1 – для хаотично-армированных слоев (слоев из мата).

Таблица 7 – Расчётные значения частного коэффициента K_3

Продолжительность действия нагрузки t, годы	Значение для показателя t^n для степени n		
	0,01	0,04	0,1
40	1,14	1,67	3,59
100	1,15	1,73	3,93

Для слоистых полимерных композитов с различной ориентацией стекло волокон в слоях по отношению направлению действия нагрузки допускается на предварительных этапах проектирования (с последующим экспериментальным подтверждением) определять обобщённый коэффициент надёжности по ползучести ($K_{3\,об}$) по формуле (23):

$$K_{3\,об} = \kappa_3 \times \kappa' \tag{23}$$

где $K_{3\,об}$ – обобщённый коэффициент надёжности по ползучести;

κ_3 – коэффициент надёжности, определяемый по таблице 6;

κ' – коэффициент, равный отношению деформаций ламината без учёта работы волокон, которые расположены не в направлении действия нагрузки,

к деформациям ламината с полным учётом всех армирующих его волокон.

Для различных типов армирования слоистых стеклопластиков, например, комбинацией однонаправленных слоёв, ткани или мата, следует определять значение суммарного показателя степени *n*.

Включение в работу каждого типа армирования определятся путем перемножения, соответствующего данному типу армирования показателя *n*, на толщину слоя и на процентное содержания волокон в этом слое с последующим делением полученного значения на произведение суммы толщин всех слоев, умноженных на процентное содержание в них волокон (только для ламелей с волокнами, ориентированными по направлению долговременной деформации). Двунаправленно-армированные и разнонаправленно-армированные ламинаты должны рассматриваться в качестве пакета однонаправленно-армированных слоёв с различной ориентацией волокон.

6.7 Деформации

В качестве нормативных значений модуля упругости допускается принимать средние значения модуля упругости $E_{ср} = E_н$.

Значения прогибов вычисляются с учетом ослаблений сечений болтами.

Допускается принимать расчётные значения прогибов в течение всего расчётного времени эксплуатации следующих конструктивных элементов (м): пролётные строения не более 1/400 L (L – расчётная длина в м).

Расчеты перемещений пролётного строения и его элементов от температурных воздействий производятся аналогично металлическим конструкциям.

6.8 Расчет колебаний

Расчетные значения амплитудно-частотных характеристик пролетного строения определяются для двух случаев: с пешеходной нагрузкой (без учёта динамического коэффициента) и без нее. В пролетных строениях расчетные

периоды собственных колебаний (в незагруженном состоянии) по двум низшим формам (в балочных разрезных системах – по одной низшей форме) не должны быть в диапазонах значений от 0,45 до 0,60 с в вертикальной и от 0,9 до 1,2 с в горизонтальной плоскостях.

6.9 Сопротивления прогрессирующему обрушению

Конструкция и материал конструктивных элементов должны проектироваться с учётом недопущения возможности прогрессирующего обрушения при выходе из строя одного или нескольких конструктивных элементов автомобильного или пешеходного моста в случае экстремальных природных или техногенных воздействий. При этом устойчивость к прогрессирующему разрушению допускается производить с учетом предельного состояния по трещиностойкости каждого отдельного слоя ламината по неравенству (1).

6.10 Расчет болтовых соединений

6.10.1 Прочность болтовых соединений конструктивных элементов определяется прочностью болтов и собственно прочностью полимерного композита. При этом при вычислении геометрических характеристик сечения нетто конструктивного элемента учитывается ослабление его сечения отверстием диаметром d' (формула (24):

$$d'=max\{d_{om};d+2\}, \tag{24}$$

где d_{om} – диаметр отверстия, мм;

d – диаметр болта, мм.

Расчетное усилие N_b, воспринимаемое одним болтом определятся как наименьшее из двух значений, вычисленных по формулам (25), (26):

а) на смятие:

$$N_b = m_b m_{b1} dt \cdot R_N^c; \tag{25}$$

б) на сдвиг:

$$N_b = m_b m_{b1} dt \cdot R_N^{sb} \cdot 2\left(\frac{e}{d} - \frac{1}{2}\right), \quad (26)$$

где d – диаметр болта;

t –толщина конструктивного элемента;

e – шаг болтов в продольном направлении или расстояние до свободной грани конструктивного элемента, при этом величина e/d не должна быть менее 2,5;

R_N^e – расчетное сопротивление сжатию по направлению действия силы N;

R_N^{sb} – расчетное сопротивление сдвига по направлению действия силы N;

m_{b1} – коэффициент условий работы, принимаемый в соответствии с СП 35.13330.2011 равным 0,9;

m_b – коэффициент условий работы, принимаемый в соответствии с таблицей 82 СП 35.13330.2011.

6.10.2 Для многоболтового соединения, усилия, действующие на болтовое соединение, распределяются по отдельным болтам пропорционально их жесткости. Усилие в болте от осевой нагрузки (27):

$$P_{ij} = \frac{P_j}{N}, \quad (27)$$

где j – индекс направления x и y;

N – число болтов;

P_j – суммарная нагрузка в j-ом направлении.

Усилия в болте от момента в плоскости соединения (28), (29):

$$P_{xi} = \gamma k\varphi \cos\alpha_i, \quad (28)$$

$$P_{yi} = k\varphi \sin\alpha_i, \quad (29)$$

где $k\varphi$ – константа;

γ – отношение модулей упругости полимерного композита в продольном *(x)* и поперечном *(y)* направлениях;

α_i – угол между осью Y и радиусом-вектором i-ого болта относительно центра тяжести болтового соединения.

Константа $k\varphi$ определяемая из уравнения (30) равновесия моментов:

$$k\varphi = \frac{M}{\sum_{i=1}^{N} r_i^2 (\gamma \cos^2 \alpha_i + \sin^2 \alpha_i)}, \quad (30)$$

где M – суммарный момент относительно центра тяжести болтового соединения;

r_i – радиус-вектор i-ого болта относительно центра тяжести соединения.

6.10.3 При действии на болт нагрузок по двум направлениям следует проверить соотношение (31):

$$\sqrt{\left(\frac{N_x}{N_{bx}}\right)^2 + \left(\frac{N_y}{N_{by}}\right)^2} \le 1 \quad \text{или} \quad \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N_x}{N_{bx}}\right)^2 + \left(\frac{N_y}{N_{by}}\right)^2}} \ge 1, \quad (31)$$

где N_x и N_y – расчётные усилия на болт в направлениях параллельном и перпендикулярном продольной оси конструктивного элемента;

N_{bx} и N_{by} – предельно допустимые усилия на болт в направлениях, параллельном и перпендикулярном продольной оси конструктивного элемента.

6.10.4 Силы трения, возникающие в элементах соединений при расчетах на смятие и скалывание, не учитываются.

7 Рекомендации по изготовлению и монтажу конструкций пролетных строений из композитов (ПСК)

7.1 Общие положения

7.1.1 Изготовление конструкций ПСК

7.1.2 Монтаж конструкций ПСК следует производить в соответствии с положениями СП 46.13330.2012. Для районов с экстремальными низкими температурами монтаж на приобъектном столе (стапеле) производить только

при температуре не ниже +5 ^{0}С внутри закрытого и подогреваемого сооружения (в тепляке).

7.2 Конструкции цельнокомпозитных пролетных строений в виде коробчатой или U-образной балок, их изготовление и монтаж подробно описаны в ОДМ «Рекомендации по применению композиционных материалов в конструкциях пешеходных переходов (проект)».

7.3 Ферменные пролётные строений из композитных профилей

7.3.1 Изготовление ферменных конструкций ПСК с использованием композитных пултрузионных профилей осуществляется путем сборки таких конструкций из отдельных пултрузионных профилей.

7.3.2 Конструкции ПСК должны быть полностью болтовыми. В случае проведения вспомогательных сварочных работ (устройство соединительных и монтажных элементов) их зоны проведения должны быть ограждены металлическими щитами для защиты пултрузионных профилей от попадания окалины на их поверхности.

7.3.3 Сборка ПСК осуществляется в заводских условиях или на приобъектном стапеле. Сборка ПСК осуществляется как из отдельных элементов – пултрузионных профилей с помощью болтовых соединений, так и путём установки в пролёты ранее собранных на заводе-изготовителе или приобъектном монтажном столе (стапеле) секций.

7.3.4 Площадка для сборки ПСК должна иметь технологические проходы. Расстояние от границ площадки до конструктивных элементов должно составлять не менее 1 м. Грунт площадки должен быть утрамбован. Нивелировку площадки и ПСК необходимо проводить в начале каждого рабочего дня. Перед каждым циклом сборки ПСК и после каждого ливневого дождя необходимо производить нивелировку площадки и устранение возникающих деформаций.

7.3.5 Пултрузионные профили должны допускать их механическую обработку: обточку, фрезерование, распиловку и сверление отверстий без образования трещин и сколов.

7.3.6 При сборке ПСК из отдельных пултрузионных профилей используют два вида шайб:

-при контакте болта с полимерным композитным материалом в соединении устанавливают увеличенные шайбы по ГОСТ 6958;

-при контакте болта с металлическим элементом в соединении устанавливают обычные шайбы по ГОСТ 11371.

7.3.7 При установке болтов гайки должны свободно навинчиваться по резьбе и не иметь большого люфта. В противном случае гайку или болт следует заменить, а отбракованные болты и гайки отправить на повторную подготовку и комплектацию.

7.3.8 Перед началом сборки ПСК на пултрузионные профили в соответствии с проектом наносят номер и массу профиля, местоположение его центра тяжести, место строповки, а также оси профиля и реперы.

7.3.9 Сборку монтажных элементов ПСК осуществляют соединением пултрузионных профилей на болтах с использованием кондукторов. Кондукторы устанавливают в узлах стыковки профилей, что обеспечивает проектное положение узлов пролётного строения и толщину стыков.

7.3.10 Несовпадение отверстий в пултрузионных профилях, характеризующихся минимальным поперечным размером сквозного свободного пространства, образованного смежными отверстиями соединяемых пултрузионных профилей, не должно быть меньше номинального диаметра болта.

7.3.11 Подгонку несовпадающих отверстий рекомендуется обеспечить с применением постановки в отверстия монтажных точёных пробок номинальным диаметром на 0,2 мм меньше проектного диаметра отверстий. Длина цилиндрической части пробки должна быть больше толщины

собираемого пакета на величину от 10 до 15 мм. Пробки допускается изготавливать по СП 46.13330.2012 из сталей марки ВСт5пс2 по ГОСТ 535 или марки 295-6 по ГОСТ 19281.

7.3.12 Длину болтов подбирают, исходя из фактической толщины узла соединяемых пултрузионных профилей, и включают в спецификацию проектной документации.

7.3.13 Длина болта определяется из условия выхода его резьбовой части за стыкуемые пултрузионные профили. Длина болта должна соответствовать суммарной толщине стыкуемых профилей с учётом высоты гайки и двух шайб с округлением полученных размеров до 10 мм.

7.3.14 На узлах стыковки пултрузионных профилей отмечаются места и участки с одинаковой длиной болтов путём разметки мягким карандашом, линейками и рулетками второго класса точности.

7.3.15 Допускается устанавливать в отверстие для соединений пултрузионных профилей втулку, которая изготавливается из нержавеющей стали марок 04Х18Н9Т, 04Х18Н10Т, 08Х18Н9Т, 12Х18Н10Т по ГОСТ 5582, ГОСТ 7350, стали 10Х17Н13М2 по ГОСТ 5632 и имеет следующие размеры:

-внутренний диаметр втулки на 1 мм больше диаметра болта;

-наружный диаметр втулки на 2 мм больше её внутреннего диаметра.

7.3.16 В отдельных, предписываемых проектом случаях, втулка снабжается фланцем, при этом диаметр фланца должен быть больше удвоенного наружного диаметра втулки.

7.3.17 Каждый болт должен устанавливаться в соединении с двумя шайбами. Установка более одной шайбы с каждой стороны пакета запрещена.

7.3.18 Все поставленные болты затягивают сначала пневматическими гайковертами. Вначале затягивают гайковёртами стяжные болты, которые должны быть равномерно распределены по зоне узла соединения.

7.3.19 На первом этапе натяжения болтов с помощью гайковёрта головку болта следует поддержать ключом от проворачивания. Если при тарировке болтов на проектное усилие или при контроле натяжения болта проворачивание по мере натяжения болта не прекращается, то болт и гайка подлежат замене.

7.3.20 Окончательная затяжка болтов должна производиться динамометрическим ключом, отсчет по прибору которого берут в начале движения руки. Рекомендуется затягивать болты на усилие, не превышающее проектное, с обжатием неупругих деформаций элементов соединения.

7.3.21 Работу с динамометрическим ключом производят двое рабочих. Ключ с вставленной насадкой одевают на гайку. Один из рабочих плавным нажатием на рукоятку ключа производит затяжку гайки до совмещения стрелки индикатора с риской, обозначающей проектный момент затяжки болта. Для возможности наблюдения за положением стрелки индикатора рабочим, производящим затяжку, на боковом щитке ключа рекомендуется установить поворотное зеркало. Второй рабочий поддерживает ключ у насадки динамометрического ключа и контролирует по индикатору величину прикладываемого момента.

7.3.22 Контровку болтовых соединений узлов следует производить после проведения контроля проектного геометрического положения ПСК или его части в плане и в профиле. Для контровки болтовых соединений следует применять технологию кернения или иную, указанную в проектной документации.

7.3.23 Узлы пролётного строения ПСК, элементы которых подверглись процессу подгонки при сборке, в том числе сверлению, необходимо разобрать, удалить заусенцы на деталях с помощью наждачной бумаги, продукты сверления, а также стружку сухой салфеткой или промышленным пылесосом. На обработанные таким образом поверхности элементов кистью

или краскопультом нанести защитное покрытие и затем вновь произвести сборку узла.

7.3.24 Наружные поверхности стыков, включая головки болтов, гайки и выступающие из них части резьбы болтов должны быть очищены от пыли ветошью и окрашены защитным покрытием, а щели в местах перепада толщин стыков и зазоры в стыках должны быть зашпатлеваны с использованием герметизирующих составов.

7.3.25 Проектом производства работ в зимний период допускается производить местный обогрев (в тепляках) стыковых соединений конструкций моста при температуре не выше +60 °С, которая исключает возникновение опасных температурных напряжений и химических изменений в материале пултрузионных профилей.

7.3.26 В приложении Г подробно описан пример проектирования, изготовления, сборки и монтажа в Новосибирской области первого отечественного автомобильного моста на фермах из композитных профилей. Примеры проектирования, сборки и возведения пешеходных мостов (сборных и цельнокомпозитных) подробно описаны в целом ряде ОДМ и не требуют повторного изложения.

7.4 Перильные ограждения из полимерных композиционных материалов

7.4.1 Монтаж перильных ограждений осуществляется при помощи крепежных деталей, указанных в технической документации.

7.4.2 В случае установки перильного ограждения на закладные детали до начала работ произвести их механическую очистку от пыли, ржавчины, наплывов бетонной смеси.

7.4.3 Перед монтажом перильного ограждения элементы распределяют по длине объекта в соответствии с конструкторской документацией.

7.4.4 Монтаж осуществляется с предварительной сборкой перильного ограждения по всей длине сооружения в соответствии с конструкторской документацией.

7.4.5 Работы начинают с крайней секции основной части ограждения.

7.4.6 В случае крепления элементов сваркой, сварочные работы должны проводиться с учетом требований ГОСТ 5264.

7.4.7 При закреплении элементов перильного ограждения между собой применяются заклепки по ГОСТ 27017.

8 Особенности ремонта и содержания пролетных строений из композитов (ПСК)

8.1 Общие положения

8.1.1 Общие положения по ремонту и содержанию ПСК отражены в «Методических рекомендациях по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах» [3] и «Методических рекомендациях по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования» [4].

8.1.2 Эксплуатация ПСК в течение не менее чем первых пяти лет должна сопровождаться мониторингом напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов сооружения по отдельной программе мониторинга, согласованной с организацией, на балансе которой находится данное мостовое сооружение.

8.1.3 Под содержанием ПСК понимается осуществляемый в течение всего года (с учетом сезона) комплекс профилактических, планово-предупредительных ремонтных работ и работ по надзору и уходу, в результате которого обеспечивается необходимая надежность и поддерживается транспортно-эксплуатационное состояние сооружения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50597.

8.1.4 Конечной целью содержания ПСК является поддержание и непрерывное повышение технического уровня и эксплуатационного состояния сооружения.

8.1.5 Уровнем содержания ПСК является комплекс показателей, отражающих определенное техническое состояние конструктивных элементов и общий вид сооружений. Требуемый уровень содержания устанавливается Заказчиком в договоре с Исполнителем.

8.2 Классификация работ по ремонту и содержанию ПСК

8.2.1 Состав работ по ремонту ПСК представлен в «Классификации работ», утвержденной Приказом Минтранса РФ №402 от 16.11.2012 г. [5].

8.2.2 Состав работ по содержанию ПСК представлен в «Классификации работ» [5] и «Методических рекомендациях по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах» [3].

8.2.3 В состав работ по содержанию входят работы по уходу за ПСК.

Работы по уходу выполняются постоянно в течение года, подразделяются на весенне-летне-осенние и зимние и включают в себя:

а) работы в весенне-летне-осенний период:

1) для ПСК: очистка от грязи, мусора, посторонних предметов прохожей части, промывка фасадных поверхностей, промывка опорных узлов;

2) для перильных ограждений из полимерных композитов: очистка (в том числе влажная) от грязи;

б) работы в зимний период:

1) для ПСК: очистка покрытия прохожей части от снега и льда, противогололедная обработка покрытия прохожей части;

2) для перильных ограждений из полимерных композитов: очистка от снега, льда и противогололедных материалов.

Конструкции ПСК не требуют окраски, таким образом, окрасочные работы не выполняются. При выполнении работ по очистке конструкций от

снега и льда запрещается применять технологии, подвергающие данные конструкции механическим (ударным) воздействиям.

8.2.4 Периодичность работ по уходу за ПСК определяется действительными условиями эксплуатации и состоянием элементов конструкций.

Периодичность выполнения работ регламентируется Приказом Минтранса РФ № 157 от 01.11.2007 г. [6].

8.2.5 Противогололедная обработка покрытий прохожей части должна выполняться в соответствии с положениями «Методических рекомендаций по применению экологически чистых антигололедных материалов и технологий при содержании мостовых сооружений» [7].

8.2.6 Работы по сверхнормативному содержанию выполняются при возникновении необходимости в них.

8.3 Требования к качеству выполнения работ по содержанию ПСК в зависимости от заданного уровня содержания представлены в «Порядке проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования федерального значения» [8].

8.4 При ремонте дефектов конструкций ПСК следует использовать клеи на основе эпоксидных и полиуретановых смол.

8.5 Глубокие надрывы и сквозные трещины с раскрытием более 1 мм ремонтируются путем установки в вырезанный дефект вклеиваемых вставок из полимерных композитных материалов.

8.6 Рекомендуется усиливать дефектные зоны с помощью накладок из полимерных композиционных материалов, прикрепляемых к ремонтной зоне на клей, с использованием дополнительного механического крепежа.

9 Методика расчета экономической эффективности автомобильных и пешеходных мостов с использованием композитов (МАК и МПК)

9.1 Основные положения

9.1.1 Для оценки экономической эффективности применения МАК и МПК применяются основные положения «Руководства по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса», утвержденного распоряжением Минтранса России от 10.12.2002 № ОС-1109-р [9].

9.1.2 Оценка экономической эффективности применения МАК и МПК производится по величине общественной (социально-экономической) эффективности.

9.1.3 Учет затрат и результатов осуществляется в пределах одного расчетного периода – горизонта расчета (Т), который принимается с учетом всего жизненного цикла МАК и МПК – общей продолжительности в процессе изготовления, складирования и хранения, транспортирования, установки (монтажа), эксплуатации, ремонта и, при необходимости, демонтажа.

9.1.4 Шаг расчета в пределах одного расчетного периода определяется необходимой степенью детализации расчетов и устанавливается в зависимости от масштабов рассматриваемых мероприятий по применению конструкций из полимерных композиционных материалов и графика инвестирования: месяц, квартал, год.

9.1.5 Учет фактора неравноценности разновременных затрат и результатов осуществляется путем приведения всех показателей к одному моменту времени с помощью коэффициента дисконтирования (a_t). Для удобства расчетов за момент приведения (t_0) принимается момент начала или окончания нулевого шага, что обычно соответствует началу финансирования работ.

9.1.6 При расчете эффективности использования МАК и МПК в коэффициенте дисконтирования учитывается безрисковая норма дисконта (Е), которая принимается в соответствии с положениями «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция)» [10].

9.1.7 В соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке инвестиционных проектов» [10] применяются в основном два подхода:

-если оцениваются проекты, в которых участвует государство, то применяется «социальная норма дисконта», учитывающая не только финансовые интересы государства, но и социальные, экологические требования и приоритеты (эта норма называется также «экономической нормой»);

-для оценки коммерческой эффективности проектов, предпринимаемых отдельными хозяйствующими субъектами, последние сами устанавливают норму с учетом альтернативных возможностей направления инвестиций со сравнимым риском.

В этом случае норма дисконта (Е) равна приемлемой для инвестора норме дохода на капитал.

Основой для определения величины нормы дисконта при собственном капитале, вкладываемом в осуществление проекта, является ставка депозитного процента по вкладам.

В случае заемного капитала норма дисконта представляет собой процентную ставку, определяемую условиями процентных выплат и погашений по займам.

В общем случае при смешанном капитале (то есть, собственном и заемном) норма дисконта может быть найдена приближенно, исходя из его средневзвешенной стоимости с учетом структуры капитала, налоговой системы и др., включая ставку депозитного процента по вкладам и

процентную ставку, определяемую условиями процентных выплат и погашений по займам.

9.1.8 Затраты, результаты и экономический эффект для каждого шага расчета реализации проекта приводятся к базисному (или иному избранному) моменту времени путем их умножения на коэффициент дисконтирования a_t, определяемый на основе постоянной или переменной нормы дисконта (Е).

При постоянной норме дисконта (Е) коэффициент дисконтирования a_t на t-ом шаге расчета реализации рассматриваемого проекта равен (32):

$$a_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \tag{32}$$

где t – шаг расчета реализации рассматриваемого проекта.

Норма дисконта (E_1) с учетом поправки на риск проекта (Р) вычисляется по формуле (33):

$$E_1 = E + \frac{P}{100}. \tag{33}$$

Поправка на риск проекта для случаев производства и продвижения на рынок нового продукта (в данном случае, мостовых сооружений и пешеходных мостов с использованием композиционных материалов) и вложения в исследования и инновации принимается высокой и очень высокой и равной, соответственно, 13 % - 15 % и 18 % - 20 %.

9.1.9 При наличии информации о переменных во времени нормах дисконта и степени риска проекта в расчетах оценок экономической эффективности применения в дорожном хозяйстве (в мостовых сооружениях) автомобильных и пешеходных мостов с использованием композиционных материалов необходимо задействовать различные коэффициенты дисконта на разных шагах расчета. Это условие необходимо соблюдать при выполнении масштабных исследований, единовременные затраты на которые осуществляются в течение ряда лет.

9.1.10 Технически приведение к сопоставимому моменту времени затрат и результатов, имеющих место на t-ом шаге расчета реализации

рассматриваемого проекта, производится путем их умножения на коэффициент дисконтирования соответствующего шага, рассчитываемого по формуле (34):

$$a_t = \frac{1}{\prod_{q=t_0}^{t}(1+E_q)}, \quad (34)$$

где a_t – коэффициент дисконтирования денежных средств на t-ом шаге расчета;

E_q – норма дисконта в момент времени q;

t – момент окончания шага E_q в долях единицы в год.

Величина нормы дисконта на определенном шаге расчета должна быть привязана к годовым параметрам. Дробная величина t применяется при выполнении краткосрочных мероприятий с горизонтом расчета до одного года.

9.1.11 Состав результатов и затрат применения в дорожном хозяйстве МАК и МПК зависит от его значения в хозяйственно-экономической системе. Степень детализации элементов затрат и результатов рассматриваемого проекта определяется наличием информации об его особенностях.

9.1.12 Затраты по использованию в дорожном хозяйстве МАК и МПК и результаты их применения измеряются в стоимостных показателях.

9.1.13 При расчетах показателей экономической эффективности МАК и МПК в состав результатов мероприятия могут быть включены:

-конечные производственные результаты;

-социальные и экологические результаты;

-прямые финансовые результаты;

-косвенные финансовые результаты.

9.1.14 В общем виде совокупные результаты R_t, полученные в год t, определяются по следующей формуле (35):

$$R_t = \sum_t R_t^i I^i(t, t_б), \quad (35)$$

где R^i_t – значения результатов в ценах года t;

I^i $(t, t_б)$ – индекс инфляции соответствующего структурного элемента результатов i в году t по сравнению с годом $t_б$.

9.1.15 В состав затрат проекта применения МАК и МПК включаются все предусмотренные в проекте и необходимые для его реализации текущие и единовременные затраты, то есть все средства, выделяемые для прямого бюджетного финансирования, а также кредиты банков, используемые в качестве заемных средств, подлежащих компенсации за счет бюджета.

9.1.16 Совокупные единовременные затраты K_t, направляемые на реализацию проекта применения МАК и МПК в год t, определяются по следующей формуле (36):

$$K_t = \sum_s K_t^s I^s(t, t_б), \quad (36)$$

где K^s_t – значения s-ых структурных элементов единовременных затрат в ценах года t;

I^i $(t, t_б)$ – индекс инфляции соответствующих s-ых структурных элементов единовременных затрат в году t по сравнению с годом $t_б$.

9.1.17 Текущие затраты $З_t$, направляемые на реализацию проекта в год t, определяются по следующей формуле (37):

$$З_t = \sum_m З_t^m I^m(t, t_б), \quad (37)$$

где $З^m_t$ – значения m-ных структурных элементов единовременных затрат в ценах года t;

I^m $(t, t_б)$ – индекс инфляции соответствующих m-ных структурных элементов единовременных затрат в году t по сравнению с годом $t_б$.

9.1.18 При расчете экономической эффективности выполняется вариантное сравнение. Сравниваются два или три варианта проекта реализации конструкций мостовых сооружений из различных материалов.

Первый вариант – типовые железобетонные или металлические конструкции мостовых сооружений и пешеходных мостов, второй вариант – МАК и МПК.

В процессе сравнения определяются следующие структурные элементы единовременных и текущих (годовых) затрат:

-единовременные затраты на изготовление;

-единовременные затраты на транспортировку;

-единовременные затраты на заготовку, складирование;

-единовременные затраты на монтаж (установку);

-текущие затраты на эксплуатацию и ремонт МАК и МПК.

9.1.19 Затраты на изготовление МАК и МПК определяются по прайс-листам предприятий-изготовителей, а также согласно действующим «Сборникам сметных цен на материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве».

9.1.20 Затраты на монтаж (установку) и текущие затраты на ремонт конструкций МАК и МПК определяются в соответствии с «Методикой определения стоимости строительных продукций на территории Российской Федерации» [11].

9.1.21 Текущие затраты на эксплуатацию конструкций МАК и МПК определяются в соответствии с «Методическими рекомендациями по определению стоимости работ по содержанию автомобильных дорог федерального значения» [12].

9.1.22 Затраты на транспортировку по данным экспертных оценок принимают 3 %, затраты на заготовку и складирование – 2 % от стоимости конструкций. При этом, при определении затрат на транспортировку конструкций МАК и МПК рекомендуется учитывать их более высокую норму загрузки (без использования специального грузоподъемного оборудования), обусловленную значительно меньшим весом.

9.2 Порядок проведения расчетов по оценке эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса

9.2.1 Экономическая эффективность отражает интересы участников проекта и характеризуется системой показателей, устанавливающих соотношение результатов и затрат, связанных с реализацией рассматриваемого проекта с учетом принятых условий этой реализации.

9.2.2 В качестве основных показателей, характеризующих экономическую эффективность денежных средств, направленных на финансирование проекта применения мостовых сооружений и пешеходных мостов с использованием композиционных материалов, приняты следующие:

-чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV) – абсолютный показатель, характеризующий масштабы проекта и результаты его внедрения;

-суммарные дисконтированные затраты (СДЗ) – абсолютный показатель, характеризующий масштабы инвестиций, направленных на реализацию проекта применения мостовых сооружений и пешеходных мостов с использованием композиционных материалов;

-индекс доходности дисконтированных инвестиций (ИДД) – качественный показатель, характеризующий доходность единицы израсходованных инвестиций;

-срок окупаемости с учетом дисконтирования – дополнительный показатель, характеризующий продолжительность периода до наиболее раннего момента времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый дисконтированный доход становится в дальнейшем неотрицательным;

-точка безубыточности – показатель, определяемый для каждого шага расчета, отвечающий условию нулевой прибыли.

9.2.3 Порядок проведения расчетов по оценке экономической эффективности денежных средств, направленных на финансирование проекта применения МАК и МПК, состоит в использовании нижеприведенных формул (38) – (41).

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется по следующей формуле (38):

$$ЧДД = \sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - З_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)} - \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)}. \quad (38)$$

Суммарные дисконтированные затраты – по формуле (39):

$$СДЗ = \sum_{t=0}^{T} K_t + \sum_{t=0}^{T} З_t. \quad (39)$$

Индекс доходности дисконтированных инвестиций (ИДД) – по формуле (40):

$$ИДД = 1 + \sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - З_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)} : \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)}. \quad (40)$$

Точка безубыточности определяется в результате решения уравнения (41):

$$\sum_{t=0}^{T} \frac{R_t - С_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{K_t}{I(t,t_б) \cdot \prod_{q=1}^{t}(1+E_q)}, \quad (41)$$

где в формулах (9), (10), (11), (12):

R_t – совокупные результаты, полученные от реализации проекта МАК и МПК в год t;

$К_t$ – совокупные единовременные затраты, направляемые на реализацию проекта применения МАК и МПК в год t;

$З_t$ – текущие затраты, направляемые на реализацию проекта применения МАК и МПК в год t;

$I(t, t_б)$ – индекс инфляции соответствующего структурного элемента

результатов или затрат в году t по сравнению с годом $t_б$;

E_q – норма дисконта в момент времени q.

9.2.4 Оценка эффективности проекта применения МАК и МПК с учетом фактора неопределенности при наличии возможности количественно оценить вероятности развития различных вариантов реализации проекта осуществляется по следующей формуле (42):

$$ЧДД_{ож} = \sum ЧДД_i \cdot P_i, \quad (42)$$

где $ЧДД_{ож}$ – ожидаемый чистый дисконтированный доход проекта по инновациям и внедрению достижений НТП;

$ЧДД_i$ – чистый дисконтированный доход по i-му варианту реализации (рассчитывается по формуле (9);

P_i – вероятность реализации рассматриваемого i-го варианта.

9.2.5 Аналогичная формула используется при определении показателей индекса доходности дисконтированных инвестиций и точки безубыточности.

9.2.6 По формуле (42) с учетом текущих затрат определяются суммарные дисконтированные затраты на длительный период с учетом прогнозных индексов инфляции и дефляции Минэкономразвития до 2030 года согласно письму Минэкономразвития РФ № 21790-АКД03 от 05.10.2011 г. «Временно определенные показатели долгосрочного прогноза социально-экономического развития РФ до 2030 года» [13].

9.2.7 Строится график динамики суммарных дисконтированных затрат по годам и определяется срок окупаемости МАК и МПК, который наступает вследствие удешевления монтажа и затрат на эксплуатацию этих конструкций.

9.3 Оценка экономической эффективности по приведенным затратам

9.3.1 В различных областях строительной индустрии на практике для оценки экономической эффективности используется интегральный

показатель годового экономического эффекта, который учитывает долговечность конструкции и отражает результат применения продукции с улучшенными, по сравнению с базовой конструкцией, параметрами.

9.3.2 Годовой экономический эффект от внедрения новых технических решений определяется как разность затрат на строительство и эксплуатацию базовой и оцениваемой конструкции с учетом отдаленности затрат во времени, а также надежности и долговечности конструкций по формуле (43):

$$Э = \left[З_{сб} E_{рб} + З_{эб}(1 + p_o)\right] - \left[З_{со} E_{ро} + З_{эо}(1 + p_o)\right], \quad (43)$$

где $E_{рб}$ и $E_{ро}$ – расчетные коэффициенты эффективности, соответственно, для базовой и оцениваемой конструкции, исходя из срока службы конструкции, определяемые по формулам (44), (45):

$$E_{рб} = \frac{1}{t_б}, \quad (44)$$

$$E_{ро} = \frac{1}{t_0}, \quad (45)$$

где $З_{эо}$ – годовые эксплуатационные затраты оцениваемой конструкции;

$З_{эб}$ – годовые эксплуатационные затраты базовой конструкции;

$З_{со}$ – стоимость оцениваемой конструкции, включая стоимость материала и строительства;

$З_{сб}$ – стоимость базовой конструкции, включая стоимость материала и строительства;

$t_о$ – срок службы до капитального ремонта оцениваемой конструкции;

$t_б$ – срок службы до капитального ремонта базовой конструкции;

$p_о$ – показатель надежности (вероятности отказа) оцениваемой конструкции;

$p_б$ – показатель надежности (вероятности отказа) базовой конструкции.

Указанные коэффициенты являются также показателями накопления повреждений в конструкции и учитывают дисконтирование затрат.

10 Требования безопасности и охраны окружающей среды для МАК и МПК

10.1 Класс пожарной опасности для всех конструктивных элементов МАК и МПК должен соответствовать К1 по классификации [14]. При этом предел огнестойкости несущих конструкций должен быть не менее RE 30 по ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1.

10.2 Значения характеристик пожарной опасности полимерных композитов должны быть не менее:

-Г2 по ГОСТ 30244 – для горючести;

-В2 по ГОСТ 30402 – для воспламеняемости;

-Д2 по ГОСТ 12.1.044 – для дымообразующей способности;

-Т2 по ГОСТ 12.1.044 – для токсичности продуктов горения.

10.3 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности МАК и МПК на всех стадиях жизненного цикла должны осуществляться в соответствии с ГОСТ 12.1.004.

10.4 Требования к рабочей зоне при производстве конструктивных элементов МАК и МПК представлены в ГОСТ Р 54928.

10.5 Готовые конструктивные элементы МАК и МПК при контакте с ними не представляют опасности для человека, и работа с ними не требует специальных мер безопасности в течение всего жизненного цикла моста.

10.6 Компоненты эпоксидных составов, утратившие свои технические свойства, а также освободившаяся тара должны утилизироваться согласно СанПиН 2.2.7.029.

10.7 При эксплуатации пролетное строение и перильное ограждение из полимерных композитов не оказывает вредных воздействий на окружающую среду. Требования к охране окружающей среды представлены в ГОСТ Р 54928.

11 Правила приемки исходных материалов, конструктивных элементов, пролетных строений и мостовых сооружений

11.1 Входной контроль исходных материалов для изготовления конструктивных элементов из полимерных композитов необходимо осуществлять по ГОСТ 24297 в соответствии с перечнем обязательного входного и технологического контроля сырья и материалов, утвержденного на предприятии-изготовителе.

11.2 Для проверки соответствия конструктивных элементов для ПСК требованиям проекта и нормативных документов производятся квалификационные, приемо-сдаточные и периодические испытания.

11.3 Квалификационные, приемо-сдаточные и периодические испытания проводят по ГОСТ Р 54928.

11.4 Дополнительно при проведении приемо-сдаточных испытаний контролируют следующие показатели:

-класс пожарной безопасности;

-плотность;

-растяжение и сжатие в направлениях 0° и 90°;

-межслоевой сдвиг;

-модуль упругости при растяжении в направлениях 0° и 90°;

-морозостойкость.

11.5 Приемка конструктивных элементов из полимерных композитов на предприятии-изготовителе

11.5.1 Приемку конструктивных элементов из полимерных композитов на предприятии осуществляет комиссия предприятия-изготовителя по ГОСТ Р 54928 с учетом положений, изложенных ниже.

11.5.2 Приёмка несущих конструкций из полимерных композитов включает в себя испытания образцов материала конструктивных элементов и контроль свойств собственно конструктивных элементов.

11.5.3 Допускается изготовление и испытание образцов полимерного композита проводить до начала изготовления конструктивных элементов с выдержкой образцов перед испытаниями в течение семи дней в комнатных температурно-влажностных условиях.

11.5.4 Образцы для контроля свойств полимерного композита должны быть изготовлены по технологии и с использованием исходных ингредиентов, предназначенных для данного конструктивного элемента.

11.5.5 Основные свойства полимерных композитов, к которым относятся плотность, прочность на растяжение, сжатие, межслоевой сдвиг, модуль упругости, следует проводить с использованием методов испытаний, указанных в таблице А.1.

11.5.6 Необходимое количество образцов и обработку результатов испытаний для определения основных свойств полимерных композитов: растяжение, межслоевой сдвиг, модуль упругости и плотность, рекомендуется проводить в соответствии с основными положениями ГОСТ 18105-2010.

11.5.7 Рекомендуется определять значения свойств полимерного композита с учётом характеристик неоднородности материала в контролируемой партии конструктивных элементов, не менее чем по 15 единичным значениям, устанавливаемым на не менее чем шести участках в конструктивных элементах для одной партии. Количество образцов для определения единичного значения свойства устанавливают по ГОСТ 10180, но не менее 2 шт.

11.5.8 Допускается объединять в одну контролируемую партию полимерные композиты из предыдущих партий, изготовленные по одной технологии из одинаковых сырьевых материалов в пределах анализируемого периода. При этом максимальный средний коэффициент вариации (v, %) данного свойства в каждой объединённой партии за анализируемый период не должен превышать 13 %, а допустимая разность между максимальным и

минимальным значениями коэффициента вариации данного свойства в объединённых партиях не должна превышать 2 %.

11.5.9 Результаты испытаний образцов полимерного композита конструктивных элементов оформляются протоколами.

11.5.10 При получении неудовлетворительных результатов контроля хотя бы по одному из свойств необходимо проведение повторных испытаний. Результаты повторных испытаний распространяются на всю партию полимерного композита.

11.5.11 В случае неудовлетворительных результатов повторных испытаний, не соответствующих требованиям настоящего стандарта, проводится анализ прочности конструктивного элемента с определением возможности его усиления или отбраковки.

11.5.12 При приемке конструктивных элементов из полимерных композитов проверяется:

-сводный перечень материалов, примененных для изготовления конструктивных элементов, с приложением полученных от поставщиков сертификатов соответствия, паспортов качества и протоколов испытаний на данные материалы, а также результаты входного контроля на предприятии;

-результаты испытаний основных свойств (растяжение, сжатие, межслоевой сдвиг, модуль упругости, плотность, а также морозостойкость) образцов полимерного композита несущих конструктивных элементов;

-соответствие конструктивных элементов из полимерных композитов требованиям конструкторской и технологической документации, в том числе в части обеспечения их проектной несущей способности и долговечности;

-перечень отступлений от утвержденного проекта и от технологического процесса изготовления с соответствующими согласованиями.

11.5.13 В период освоения технологии изготовления конструктивных композитных элементов или изменении технологии производства или

изменения ингредиентов полимерных композитов рекомендуется проведение натурных испытаний несущих конструкций (фрагментов) по СП 79.13330.2012 на их соответствие по жесткости и динамическим параметрам согласно требованиям СП 35.13330.2011.

11.5.14 Конструктивный элемент, признанный непригодным для применения в качестве несущей конструкции, по решению комиссии может быть признан частично пригодным к ограниченному применению для других условий эксплуатации, о чем вносится соответствующая запись в паспорт качества с указанием рекомендаций по эксплуатации данного конструктивного элемента.

11.5.15 Конструктивный элемент из полимерных композитов, признанный по результатам приемки полностью непригодным для применения, подлежит утилизации в соответствии с правилами утилизации данной продукции, действующими в Российской Федерации.

11.5.16 По результатам приемки конструкций комиссия оформляет Акт.

11.6 Приемка конструктивных элементов из полимерных композитов, поступивших на строительную площадку

11.6.1 Приемку конструктивных элементов из полимерных композитов, поступивших на строительную площадку, осуществляет комиссия, в состав которой входят представители строительной организации и предприятия-изготовителя по ГОСТ Р 54928 с учетом положений, изложенных ниже.

11.6.2 Входной контроль при приемке конструктивных элементов осуществляется строительной организацией путём проверки документации и комплектации поставки конструктивных элементов моста. Проверке подлежит:

-документ, подтверждающий соответствие материала конструктивного элемента требованиям ГОСТ Р 54928;

-сертификат пожарной безопасности;

-протокол приемо-сдаточных испытаний материала конструктивного элемента;

-инструкцию по эксплуатации, содержанию и ремонту;

-комплектность конструктивных элементов моста и пешеходных сходов;

-сохранность после транспортировки конструктивных элементов моста и пешеходных сходов с отбраковкой элементов, имеющих повреждения, снижающие несущую способность и долговечность повреждённых элементов;

-паспорт качества.

11.6.3 Паспорт качества на конструктивный элемент из полимерных композитов должен содержать следующую информацию:

-наименование, тип и условное обозначение;

-наименование страны-изготовителя;

-наименование и/или товарный знак предприятия-изготовителя;

-юридический адрес предприятия-изготовителя;

-фактический адрес предприятия-изготовителя и контактную информацию предприятия-изготовителя (телефон, телефакс, адрес электронной почты);

-массу нетто в кг;

-дату приемки;

-срок хранения;

-обозначение в соответствии с ГОСТ Р 54928;

-запись о соответствии конструктивного элемента требованиям настоящих рекомендаций;

-штамп и подпись ответственного лица отдела технического контроля предприятия-изготовителя.

11.6.4 Для несущих конструкций дополнительно сопроводительная документация должна включать в себя документ, подтверждающий

соответствие материала конструктивного элемента требованиям ГОСТ Р 54928.

11.6.5 По результатам входного контроля строительная организация и предприятие-изготовитель оформляют Акт приема-передачи конструктивных элементов.

11.7 Приемка ПСК осуществляется после сборки из конструктивных элементов секций ПСК, соединения секций в фермы и осуществления выгиба и получения заданного строительного подъема. После окончательной фиксации болтами выгнутое ПСК устанавливается с помощью крана на подготовленные упоры и определяется размер полученного строительного подъема.

11.8 Приемка и ввод в эксплуатацию МАК или МПК

11.8.1 Приемку и ввод в эксплуатацию МАК или МПК проводит комиссия после обследования и испытания моста на основе данных проектно-конструкторской документации, сопроводительной и производственной документации.

11.8.2 В состав комиссии по приемке моста должны входить представители строительной организации, предприятия-изготовителя полимерных композитных конструкций, разработчика проекта и заказчика в соответствии с порядком, установленным в системе заказчика.

12 Методы контроля и испытаний конструктивных элементов ПСК

12.1 Контроль и испытание конструктивных элементов ПСК проводят в соответствии с ГОСТ Р 54928 с учетом положений, изложенных ниже.

12.2 Для завершенного строительством мостового сооружения с конструкциями из полимерных композиционных материалов контроль фактических физико-механических и динамических параметров, напряженно-деформированного состояния, оценку фактической

грузоподъемности пролетного строения, а также соответствие фактической работы всего мостового сооружения проектным данным следует осуществлять путем его испытания в соответствии с требованиями СП 79.13330.2012.

12.3 Допускается при проведении испытаний несущих отдельных конструктивных элементов и их фрагментов ПСК учитывать соответствующие положения ГОСТ 8829.

12.4 Геометрические параметры конструктивных элементов из полимерных композитов проверяют в соответствии с требованиями ГОСТ 26433.1 с применением измерительных инструментов необходимой точности.

12.5 Проверка состояния поверхности, цвета, дефектов и маркировки конструктивных элементов из полимерных композитов производится визуально путем их сравнения с контрольным образцом.

12.6 Предел огнестойкости конструктивных элементов из полимерных композитов определяется по ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1.

12.7 Определение истираемости проезжей и прохожих частей с нанесенным дополнительным износостойким противоскользящим покрытием пролетных строений и сходов производится по ГОСТ 13087.

12.8 Определение морозостойкости материала ПСК и лестничных сходов (верхнего слоя ламината с нанесенным дополнительным износостойким противоскользящим покрытием) производится по ГОСТ 10060.

12.9 Методы контроля и испытания ограждений из полимерных композиционных материалов представлены в приложении Д.

13 Транспортировка и хранение конструктивных элементов ПСК

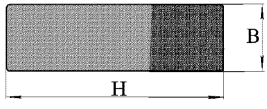
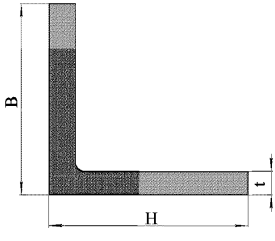
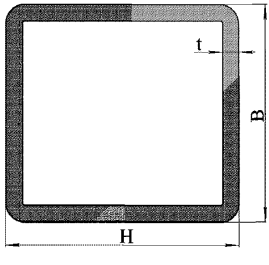
Транспортировку и хранение конструктивных элементов ПСК осуществляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54928.

Приложение А

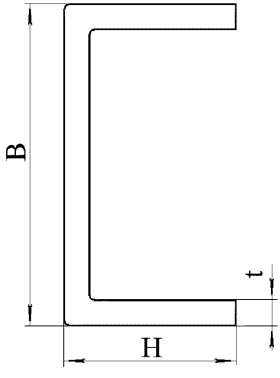
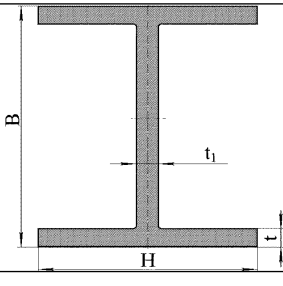
Основные характеристики типовых конструктивных элементов автомобильных и пешеходных мостов из композитов

Основные типы и размеры пултрузионных профилей, используемых при изготовлении ферменных пролетных строений, приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Типоразмеры пултрузионных профилей

Тип сечения	Номинальные размеры, мм			Предельные отклонения, мм		
	B	H	t	B	H	t
	11,8	29,8 39,8 49,8		±0,2	±0,2	
	3	48 320		±0,2	±0,5	
	50 50 75 75 80	50 50 75 75 80	6 8 6 8 8	±0,3		±0,35
	100 100 150 150 150	100 100 150 150 150	8 12 8 10 12	±0,45		
	50 52 60 80	50 60 60 80	5 4 5 5	±0,4		±0,2
	100 100 120 160 200 240	100 100 120 160 200 240	6 8 8 8 10 12	±0,45		±0,35
						±0,4

Окончание таблицы А.1

<table>
<tr><th rowspan="2">Тип сечения</th><th colspan="3">Номинальные размеры, мм</th><th colspan="3">Предельные отклонения, мм.</th></tr>
<tr><th>B</th><th>H</th><th>t</th><th>B</th><th>H</th><th>t</th></tr>
<tr><td rowspan="3">
</td><td rowspan="3">70
90
120
120
140
160
200
240
240
300
360
388
392
400</td><td rowspan="3">35
40
36
50
40
48
60
72
72
90
108
120
116
120</td><td rowspan="3">3
3
6
6
5
8
10
8
12
15
18
12-10
14
18</td><td rowspan="2">±0,3</td><td>±0,2</td><td rowspan="2">±0,35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">±0,3</td></tr>
<tr><td>±0,4</td><td>±0,35</td><td>±0,4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">
</td><td rowspan="3">120
160
200
240
300
360</td><td rowspan="3">60
80
100
120
150
180</td><td rowspan="3">6
8
10
12
15
18</td><td rowspan="3">±0,35</td><td>±0,3</td><td rowspan="2">±0,35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">±0,45</td></tr>
<tr><td>±0,4</td></tr>
</table>

Для перильных ограждений целесообразно использовать профили из композитных материалов, характеристики которых приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 – Поперечные сечения элементов пултрузионных профилей из композиционных материалов

Тип сечения	Номинальные размеры, мм		
	B	H	t
	50	50	5
	52	60	4
	60	60	5
	80	80	5
Профили для перильных ограждений			

Приложение Б

Значения механических характеристик полимерных композиционных материалов

Значение нормативных сопротивлений пултрузионных профилей композитных представлено в таблице Б.1. Значения параметров жесткости пултрузионных профилей композитных представлены в таблице Б.2.

Таблица Б.1 – Значения нормативных сопротивлений пултрузионных профилей

Вид напряженного состояния		Значения нормативных сопротивлений, МПа	
		Масса 1800 кг/ м^3	Масса 2000 кг/м^3
Растяжение	Продольное (1)	184,1	260,8
	поперечное (2)	38,4	38,5
Сжатие	продольное (1)	150,8	191,9
	поперечное (2)	55,3	79,0
Изгиб	продольное (1)	184,1	214,8
	поперечное (2)	76,7	76,7
Сдвиг		20,7	20,7
Скалывание при расчёте соединений	продольное (1)	29,1	29,1
	поперечное (2)	19,2	19,2

Таблица Б.2 – Параметры жесткости пултрузионных профилей

Параметр жесткости	Значение
Модуль упругости при растяжении профилей с толщиной стенки более 10 мм (в продольном направлении), МПа (E1)	28 000
Модуль упругости при растяжении профилей с толщиной стенки менее 10 мм (в продольном направлении), МПа (E1)	23 000
Модуль упругости при растяжении профилей, используемых для изготовления настила (в продольном направлении), МПа (E1)	22 000
Модуль упругости в поперечном направлении, МПа (E2)	8 500
Модуль сдвига, МПа (G)	3 000
Коэффициент Пуассона (в продольно-поперечном направлении) (ν12)	0,23
Коэффициент Пуассона в поперечном направлении (ν21)	0,09

Нормативные значения сопротивлений межслоевому сдвигу и отрыву слоёв представлены в таблице Б.3.

Таблица Б.3 – Значения нормативных сопротивлений межслоевой прочности

Тип смолы	Межслоевая прочность на отрыв, МПа	Межслоевая прочность на сдвиг, МПа
Полиэфирная смола	10,0	20,0
Винилэфирная смола	12,5	25,0
Эпоксидная смола	15,0	30,0

Прочностные характеристики полимерных композитов, армированных стекловолокном, приведены в таблице Б.4.

Таблица Б.4 – Значения прочности полимерных композитов, армированных стекловолокном

Вид напряженного состояния		Значение сопротивления, МПа
		Среднее значение
Растяжение	продольное (1)	240 ÷ 340
	поперечное (2)	50
Сжатие	продольное (1)	220 ÷ 280
	поперечное (2)	70 ÷ 100
Изгиб	продольное (1)	240 ÷ 280
	поперечное (2)	100
Сдвиг		25
Скалывание	продольное (1)	38
	поперечное (2)	25
Примечание – В скобках указано направление по: (1) – вдоль оси вытяжки профиля и (2) – поперёк вытяжки профиля.		

В таблице Б.5 для сравнения представлены значения свойств композитных материалов FRP по данным британского стандарта BD 90/05 [15].

Таблица Б.5– Свойства композитных материалов FRP

Тип волокон или смолистого полимера, а также ориентация волокон	Предел прочности на разрыв, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Плотность, кг/м^3
Углерод: с повышенной прочностью	3500 – 4800	220 – 240	1,6 – 2,0	1740 – 2200
Углерод: высокомодульный	2700 – 4000	300 – 350	0,9 – 1,14	1740 – 2200
Углерод: сверхвысокомодульный	2100 – 2500	540 – 640	0,39 – 0,4	1740 – 2200
Полипарафенилентерефталамид: низкомодульный	3500 – 4100	70 – 80	5,0 – 5,1	1390 – 1470
Полипарафенилентерефталамид: высокомодульный	3500 – 4000	115 – 130	3,0 – 3,1	1390 – 1470
Стекло: E	2000 – 3000	70	2,9 – 4,3	2460 – 2580
Стекло: S	3500 – 4800	85 – 90	4,1 – 5,3	2460 – 2580
Изофталевый полиэфир	50 – 75	3,1 – 4,6	1,6 – 2, 5	1110 – 1250
Эпоксипласт	60 – 85	2,6 – 3,8	1,5 – 8,0	1110 – 1200
Фенопласт	60 – 80	3,0 – 4,0	1,0 – 1,8	1000 – 1250

Окончание таблицы Б.5

Тип волокон или смолистого полимера, а также ориентация волокон	Предел прочности на разрыв, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Плотность, кг/м^3
Углеродистый FRP (с повышенной прочностью), однонаправленный эпоксидный полимер	2500	150	1,6 – 2,0	1600
Арамидный FRP (низкомодульный), однонаправленный, эпоксидный полимер	2100	40	5,0 – 5,1	1400
Арамидный FRP (высокомодульный), однонаправленный, эпоксидный полимер	2100	70	3,0 – 3,1	1400
Стеклянный FRP (Е-стекло), однонаправленный, сложный полиэфир	1200	40	2,9 – 4,3	1800
Стеклянный FRP (Е-стекло), 0/90о симметричная ориентация, сложный полиэфир	350	20	1,8	1800
Стеклянный FRP (Е-стекло), +45/ -45о симметричная ориентация, сложный полиэфир	280	15	2,0	1800

Приложение В

Опыт проектирования и строительства автодорожного моста с фермами из полимерных композитных профилей в Сибири

Проектирование опытного пролетного строения.

В 2011 году мостостроительной фирмой ООО «Опора» (Новосибирск) было спроектировано пролетное строение из полимерных композитных профилей (стеклопластик СППС-240). Был принят вариант, пригодный как для автодорожных, так и для пешеходных мостов: уровень движения должен быть поверху, а высота конструкций – не больше высоты типовых железобетонных балок. В результате получилась гибридная конструкция с многораскосными фермами из пултрузионных композитных профилей и железобетонной плитой сверху в качестве проезжей части (рисунок В.1). Это решение зарегистрировано как изобретение № 2464374 «Пролетное строение моста с многораскосными главными фермами» с приоритетом от 29.04.2011 г. (автор – Б.В. Пыринов, патентообладатель – ООО «Опора»).



Рисунок В.1 – Опытное пролетное строение

Опытный пролет был запроектирован под пешеходную нагрузку в соответствии со СНиП 2.05.03-84* и СТО 39790001.03-2007: длина пролета – 9,075 м, ширина пешеходной дорожки – 1,5 м, высота композитной фермы –

1,02 м, толщина плиты – 0,12 м, расстояние между осями ферм – 0,85 м. Материал фермы – стеклопластик СППС-240. Раскосы, стойки и нижние пояса выполнены из полосовых деталей, верхние пояса – из уголков. В качестве настила запроектирована бетонная плита, которая вовлекается в совместную работу с верхними поясами с помощью уголковых металлических упоров. Соединения элементов в узлах ферм и связей, а также прикрепления упоров реализованы на чистых болтах диаметра 12 мм. Изготовление пролетного строения и испытания выполнены в лаборатории «Мосты» СГУПСа совместными усилиями двух организаций.

Применение железобетонной плиты позволило существенно повлиять на прогибы ферм. Несмотря на то, что модуль упругости бетона не намного выше, чем у стеклопластика, доля плиты в повышении грузоподъемности и уменьшения прогибов оказалась значительной из-за большой площади ее поперечного сечения – на порядок больше, чем у всех композитных элементов.

Другая особенность пролетного строения – многораскосность – позволила снизить продольные и поперечные силы и изгибающие моменты в узлах, дающие свои слагаемые в напряжениях смятия под болтами и скалывания на концах элементов. Удалось запроектировать узлы вообще без фасонок, с прямым прикреплением элементов друг к другу. Характерно и то, что одна и та же группа болтов в любом узле прикрепляет к поясам сразу два раскоса – восходящий и нисходящий, или даже четыре элемента, если в этом узле поставлена стойка, состоящая из двух уголков. С раскоса на раскос усилия передаются напрямую, а узловая прибавка усилий в поясах оказывается небольшой и нарастает от узла к узлу плавно. Перенапряжений в соединениях при этом нигде нет – работают разные площадки смятия и скалывания.

Третья особенность конструкции – технология ее сборки, которая была взята по образцу давних решений. Фермы монтируются в горизонтальном

положении. На монтажном столе аккуратно раскладываются в проектное положение все элементы и скрепляются в отдельных местах шурупами или струбцинами. В этом положении одно за другим делаются отверстия сверлом, диаметр которого всего на 0,1 мм больше диаметра болта. Но болты вставляются в отверстия сразу, как только очередное из них готово. Соблюдается также неписаный принцип: «не пускать резьбу в пластик», то есть в пластике должна быть гладкая часть болта. В результате получается очень плотное соединение, не дающее добавочных прогибов конструкции и концентраторов напряжений в зоне резьбы. Уменьшению прогибов способствует и прямое прикрепление элементов друг к другу, позволяющее сократить число болтов в узле. Фермы связей делались аналогично и объединялись с главными фермами уже в вертикальном положении. В этом же положении монтировались упоры, после чего устанавливалась опалубка и укладывался бетон.

Было проведено три серии испытаний с разными деталями узловых соединений: чистыми болтами диаметра 12 мм, высокопрочными болтами диаметра 10 мм и шурупами-саморезами диаметра 6,3 мм. Перед второй серией испытаний обычные два болта из четырех в каждом узле обеих ферм были поштучно заменены на высокопрочные, а затем убраны лишние чистые болты. Болты прикрепления упоров остались прежними. А перед третьими испытаниями в узлах главных ферм, мимо существующих отверстий, поставлено расчетное количество шурупов, после чего убраны высокопрочные болты. В каждой серии испытаний измерялись прогибы главных ферм, напряжения в ряде элементов главных ферм и в трех сечениях железобетонной плиты, определялись параметры вертикальных и горизонтальных колебаний. Вид пролетного строения под нагрузкой показан на рисунке В.2. Нагрузка прикладывалась и снималась ступенями до достижения расчетной величины. Проведено также испытание на длительное действие расчетной нагрузки в течение нескольких месяцев. При всех трех видах соединений пролетное

строение работало удовлетворительно с конструктивным коэффициентом по напряжениям равным 0,85-0,95, а по прогибам – 0,7, т.е. имеется наличие заметных конструктивных запасов грузоподъемности.



Рисунок В.2 – Испытание опытного пролетного строения

Успешное испытание опытного пролетного строения позволило приступить к проектированию реального автодорожного моста с пролетными строениями данной конструкции.

Проектирование автодорожного моста на композитных фермах.

В качестве объекта был подобран аварийный мост через реку Пашенку на местной автодороге Красный Яр – Сосновка вблизи Новосибирска. Размеры пролетного строения: длина 18 м, габарит проезжей части – 4,5 м, с двумя тротуарами по 0,75 м. В качестве расчетных нагрузок были приняты А14 и Н14. В качестве материала главных ферм и связей был выбран стеклопластик марки СППС-240, для плиты – бетон класса В30, узловые соединения – на чистых болтах диаметра 12 мм из стали Ст3. Упоры, вовлекающие

железобетонную плиту в работу главных ферм, приняты анкерно-стержневые. Схематический чертеж пролетного строения показан на рисунке В.3. Связи крестового типа поставлены во всех местах расположения стоек главных ферм. Предусмотрено полимерное износостойкое покрытие проезжей части по ГОСТ Р 53627-2009.

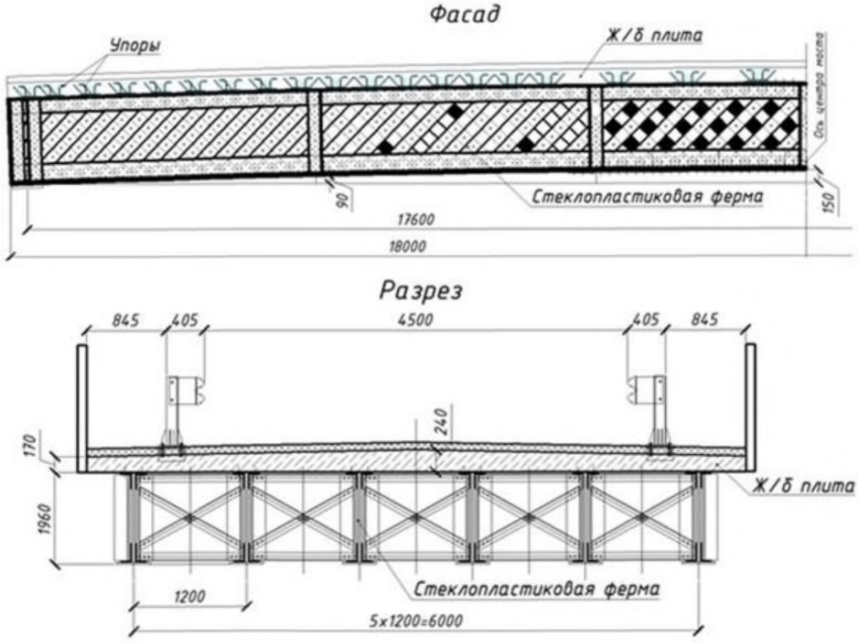


Рисунок В.3 – Схематический чертеж автодорожного пролетного строения

Расчет был выполнен по трем разным методикам. Было принято, что пояса ферм должны иметь постоянное поперечное сечение по длине ферм, составленное из двух уголков, с усилением нижнего пояса горизонтальным листом и с возможным стыкованием поясов около середины пролета. Раскосы должны быть одинакового прямоугольного сечения, а стойки – уголковыми для прикрепления к ним связей, с возможным учетом прокладок прямоугольного сечения под ними.

На первом этапе расчеты произведены по традиционным алгоритмам, без существенного применения компьютерных средств. Максимальная нагрузка, приходящаяся на ферму, определена по коэффициенту поперечной установки. Усилия в поясах ферм на первой стадии работы моста найдены путем деления на расчетную высоту фермы того изгибающего момента, который на нее действует. А в раскосах усилия вычислены через поперечную силу, действующую в данном сечении, в предположении, что все пересекаемые раскосы обоих направлений воспринимают ее поровну. На второй стадии (в работу фермы включена железобетонная плита) была применена методика расчета сталежелезобетонных ферм по СНиП 2.05.03-84*. Согласно этой методике, определены геометрические характеристики приведенного сечения фермы как изгибаемого элемента. В состав сечения в данном случае вошли пояса главных ферм и плита, причем размеры плиты учтены с коэффициентом приведения бетона к стеклопластику по соотношению модулей упругости того и другого материала. Такой подход позволил определить фибровые напряжения в поясах и, через них, – продольные усилия и изгибающие моменты, необходимые для проверок сечений, ослабленных отверстиями. Усилия в раскосах от нагрузок второй стадии определены тем же приемом, что и на первой стадии. Для проверки сечений были определены суммарные усилия, действующие на обеих стадиях. Усилия, действующие на упоры железобетонной плиты, определены через поперечные силы в местах их расположения, с использованием геометрических характеристик приведенного сечения. На основании расчетов, выполненных описанным способом, удалось задать размеры сечений всех элементов, спроектировать упоры и их расстановку, то есть выполнить работу, необходимую для создания удовлетворительной компьютерной модели, не требующей значительной переделки ее при пересчетах конструкции.

Был произведен полный двухстадийный расчет в программном комплексе *MIDAS/Civil* на двух компьютерных моделях, в которых пояса,

раскосы, стойки, связи изображались линейными элементами, а плита (во второй модели) – объемными. Многоболтовые узлы прикрепления раскосов к поясам приняты жесткими, а одноболтовые узлы в местах их пересечений – шарнирными. Упоры железобетонной плиты смоделированы жесткими элементами. Проверено воздействие нагрузки А14 совместно с пешеходной, затем – нагрузки А14, стоящей около барьера при отсутствии пешеходов и, наконец, нагрузки Н14. Для всех элементов и соединений опасной оказалась нагрузка Н14. От нее определены по три узловых расчетных усилия, от которых зависит давление смятия пластика вдоль и поперек волокон: продольная и поперечная силы и изгибающие моменты. Эти три усилия для каждого узла найдены в трех вариантах, когда одно из них является экстремальным, а два других ему соответствуют, то есть возникают при том же положении временной нагрузки, что и первое. Каждое экстремальное усилие программный комплекс определял при самом невыгодном положении временной нагрузки по длине пролета. Полное расчетное усилие от временной нагрузки и от постоянных нагрузок обеих стадий вычислялось отдельно, при этом коэффициенты надежности к постоянным нагрузкам принимались больше или меньше единицы для получения наиболее опасного главного усилия. Полученные усилия позволили проверить сечения нетто элементов и рассчитать число болтов во всех соединениях. Усилия, действующие на упоры, и их расстановка определились по разностям усилий в верхнем поясе в местах их расположения и проверены по разностям усилий в железобетонной плите.

Интересно отметить, что прогибы на разных стадиях работы пролетного строения, вычисленные по разным методикам, оказались практически одинаковыми. По результатам этих расчетов назначен строительный подъем ферм в размере 15 см. Продольные усилия в элементах также оказались сопоставимыми. Расчетом удалось определить узловые усилия (изгибающие моменты, продольные и поперечные силы в разных опасных сочетаниях). Это

позволило так рассчитать число болтов в прикреплениях, чтобы не было превышено давление пластика на болт в продольном и поперечном направлениях, а также при совместном действии соответствующих напряжений.

Величины давления на упоры железобетонной плиты, рассчитанные по двум методикам, различались на величину до 15 %, в компьютерном расчете часть из них оказались больше и были приняты к дальнейшему проектированию.

Третий расчет был предпринят для анализа местных напряжений в зонах узловых соединениях элементов. Усилия в деталях узла (в каждом по три компонента) были приняты по результатам предыдущего расчета, а сами детали (раскосы, пояса, стойки) моделировались плоскими конечными элементами с мелким разбиением. Все результаты данного расчета оказались благоприятными.

Сборка отдельных ферм и монтаж пролетного строения.

Сборка ферм происходила в горизонтальном положении на специальном монтажном столе (рисунок В.4), который состоял из нескольких бетонных блоков, уложенных поперек фермы и выверенных по высоте. Блоки эти были размещены по длине пролета так, чтобы при сборке на них не легли стойки пролетного строения, узлы которых в местах прикрепления к поясам должны быть доступными снизу.



Рисунок В.4 – Сборка фермы на монтажном столе

На всех блоках были установлены по два металлических упора, расположенных по обе стороны фермы, для создания строительного подъема (рисунок В.5). Они имели по два регулировочных винта, которыми создавался выгиб отдельно каждому уголку пояса.

Первыми на сборку поступали нижние (при сборке) уголки обоих поясов, заранее состыкованные из двух девятиметровых частей, с прикрепленными к ним листовыми элементами поясов (включая стыковые накладки – рисунок В.5). Уголкам задавался выгиб, равный проектной величине строительного подъема 15 см. Далее к уголкам прикрепляли снизу нижние детали стоек, выше которых укладывали послойно раскосы двух направлений и прокладки между ними, заполняющие зазоры в поясах. Затем монтировались верхние уголки поясов с созданием проектного выгиба и верхние детали стоек.



Рисунок В.5 – Упоры монтажного стола

Значительная кривизна обоих поясов создала некоторые трудности при разметке положения узлов. Пришлось учесть разницу радиусов кривизны и заметные продольные деформации поясов при их длине 18,0 м, измеряемые сантиметрами. Разница шага раскосов в поясах составила 1 мм, неточность длины поясов не повлияла на величину зазора в деформационных швах и на положение опорных частей.

При раскладке элементов фермы, для исключения их сдвижки, они временно скреплялись струбцинами, а при небольшой общей толщине соединяемых деталей – шурупами-саморезами со сверловым наконечником. Шурупы ставились в тех точках, где расположены капитальные болтовые отверстия, в узлах решетки делались постоянные соединения.

Разметка положения болтовых отверстий в узлах поясов производилась после укладки верхних деталей поясов и стоек и тщательной проверки геометрии фермы. Рисунок расположения отверстий во всех узлах, присоединяющих раскосы, был одинаков, отличие было только в узлах стоек. Для разметки были изготовлены два шаблона с отверстиями для кернения. Все болты ставились сразу после сверления очередного отверстия и снабжались гайками. Проверка плотности затяжки болтов делалась уже после подъемки фермы в вертикальное положение.

Расчеты показали, что при подъемке за две точки, расположенные в четвертях пролета, прогибы могут достигнуть от 4 до 5 см, а напряжения не превысят расчетных сопротивлений. Поднятие фермы было осуществлено через траверсу за три точки (рисунок В.6).



Рисунок В.6 – Подъемка фермы из горизонтального положения

К балкам были прикреплены специальные строповочные узлы. После подъемки строительный подъем фермы за счет действия их собственного веса уменьшился на 10 мм.

Далее две готовые фермы объединялись поперечными связями в один монтажный элемент весом около 6,0 тонн, который перевозили к месту строительства на трейлере (рисунок В.7). Процесс установки этих легковесных монтажных блоков на мост не представил никаких сложностей (рисунок В.8). В пролете монтажные блоки соединялись недостающими поперечными связями, к ним прикреплялись упоры, монтировалась опалубка (рисунок В.9).

Бетонирование было проведено захватками длиной по 3,6 м на всю ширину моста: вначале были забетонированы два крайних и один средний участки (рисунок В.10), затем – два оставшихся. Бетонирование захватками при тщательной укладке и последующем уходе за бетоном позволили

избежать появления усадочных трещин и получить отличную, ровную поверхность, почти не потребовавшую выравнивания.



Рисунок В.7 – Погрузка монтажного блока на трейлер



Рисунок В.8 – Установка монтажного блока в пролет



Рисунок В.9 – Расстановка упоров, устройство опалубки

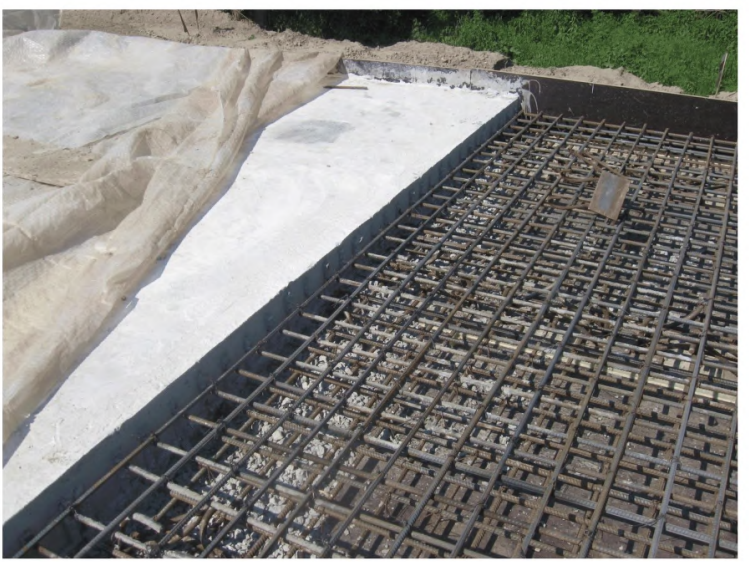


Рисунок В.10 – Устройство железобетонной плиты

Чувствительность прогибов композитных ферм ко всем существенным нагрузкам определили контроль строительного подъема ферм на всех этапах строительства моста. Бетонирование плиты захватками позволило снизить расчетные прогибы главных ферм до 6 см, так как бетон первой очереди к моменту укладки последних двух захваток успел набрать достаточную прочность и включился в работу ферм на своих участках. Таким образом, общая потеря строительного подъема от собственного веса ферм и веса бетона составила примерно 7 см, а оставшийся подъем к этому моменту равнялся у всех ферм около 8 см. Укладка полимерного износостойкого покрытия и устройств безопасности (рисунок В.11) изменили эту величину незначительно.



Рисунок В.11 – Полимерное покрытие проезжей части и устройства безопасности

Мониторинг и испытание пролетного строения

Контроль за работой пролетного строения проводила лаборатория «Мосты» СГУПСа. Мониторинг выполнялся при всех манипуляциях со всеми фермами, начиная с создания строительного подъема за счет изгиба поясов на монтажном столе и кончая наблюдениями за пролетным строением в целом. Для этого во многих выбранных элементах ферм – раскосах, поясах, стойках, а позднее и в плите были заложены несколько десятков мерных баз, по деформациям которых можно определить напряжения в элементах. Контролировался постоянно ход изменения строительного подъема: его расчетные значения нигде не были превышены, конструктивный коэффициент отмечался в интервале значений от 0,7 до 0,9.



Рисунок В.12 – Испытание моста

Испытание моста было проведено двумя автосамосвалами *HOWO*, загруженными щебнем до общей массы около 50 тонн каждый (рисунок В.12). Расчетная машина Н14 с массой 102,75 т, согласно правилам загружения, не имеет права заезжать на полосы безопасности и при ширине проезжей части 4,5 м располагается на мосту строго по его оси. Прогиб ферм при этом почти

одинаков и составляет по расчету 44 мм. После обкатки моста одиночной машиной обе машины устанавливались кузов к кузову сначала около одного барьера, затем у другого. Каждый заезд повторялся, при этом мост выдерживался под нагрузкой и после снятия ее не менее 20 минут. Средний прогиб ферм под такой нагрузкой по расчету мог составить около 30 мм, реальный оказался менее 20 мм. На загруженной стороне крайняя ферма показала прогиб 24,5 мм, на противоположной – 10 мм. Эти показатели соответствуют значению конструктивного коэффициента 0,7. Таким образом, пролетное строение имеет запасы грузоподъемности сверх проектных. Все работы по его возведению, начиная с изготовления отдельных элементов, включая разработку и освоение технологии и кончая испытанием моста, заняли 4 месяца.

Выводы.

Опыт проектирования и постройки первого автодорожного пролетного строения моста с главными фермами из пултрузионных композитных профилей с железобетонной плитой проезжей части, результаты испытания и мониторинг состояния ферм и моста можно признать успешными. Данная конструкция предлагается для широкого применения при строительстве мостов в первую очередь в труднодоступных районах Сибирского Севера в районах с экстремальными температурами.

Приложение Г

Методы контроля и испытаний перильных ограждений из композитов

Методы входного и производственного операционного контроля качества перильных ограждений устанавливают в технологической документации.

При приемочном контроле и приемосдаточных испытаниях перильных ограждений после их изготовления должны быть проведены испытания на прочность и деформативность от воздействия расчетных максимальных эксплуатационных вертикальных и горизонтальных статических нагрузок:

-равномерно распределенной вертикальной и горизонтальной временной нагрузки – 0,98 кН/м (100 кгс/м), учитываемой при отсутствии других нагрузок;

-сосредоточенной вертикальной и горизонтальной временной нагрузки – 1,27 кН (130 кгс), учитываемой при отсутствии других нагрузок.

Для автодорожных мостов горизонтальная нагрузка должна соответствовать требованиям 8.1 ГОСТ Р 52289 в части удерживающей способности ограждения.

При этом максимальная величина прогиба элементов ограждения не должна превышать 70 мм.

Конструкции пешеходных ограждений подвергаются стендовым статическим испытаниям с целью определения разрушающего усилия Р (кН).

Для проведения испытания перила из композиционных материалов, должны быть отобраны Комиссией предприятия-изготовителя.

Испытательная площадка представляет собой участок с жёстким основанием для крепления перильных ограждений и устройства, создающего сосредоточенную нагрузку. Устройство, создающее сосредоточенную нагрузку, должно соответствовать требованиям ГОСТ 28840.

В основании должны быть предусмотрены съёмные опорные пластины для размещения стоек с различным типом закрепления.

Испытательная площадка представлена на рисунке Г.1.



Рисунок Г.1– Площадка для испытания перильных ограждений

Перильные ограждения подвергаются сосредоточенной нагрузке до появления видимых разрушений, при этом фиксируют значение разрушающей нагрузки.

Полученные показатели являются основанием для определения потребительских характеристик конструкции перильных ограждений.

Перильные ограждения должны проходить испытания на морозоустойчивость в солях (не менее 30 циклов) по ГОСТ 10060.

Библиография

[1]	МГСН 5.02-99	Проектирование городских мостовых сооружений
[2]	ОСТ 1 39502-77	Стопорение болтов, винтов, шпилек, штифтов и гаек
[3]		Методические рекомендации по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах. М., 1999 г.
[4]		Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования, М., 2004 г.
[5]		Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог. Утверждена Приказом Минтранса РФ № 402 от 16 ноября 2012 г.
[6]	Приказ Минтранса РФ № 157 от 01 ноября 2007 г.	«О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 23 августа 2007 г. № 539 «О нормативах денежных затрат на содержание и ремонт автомобильных дорог федерального значения и правилах их расчетах»
[7]	ОДМ 218.5.006-2008	Методических рекомендаций по применению экологически чистых антигололедных материалов и технологий при содержании мостовых сооружений
[8]	Приказ Минтранса РФ № 163 от 08 июня 2012 г.	«Об утверждении порядка проведения оценки уровня содержания автомобильных дорог общего пользования федерального значения»
[9]	Распоряжение	«Руководство по оценке экономической

	Минтранса России от 10.12.2002 №ОС-1109-р	эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса»
[10]		Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-ая редакция), М., 2000 г.
[11]	МДС 81-35.2004	Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации, М., 2004 г.
[12]		Методические рекомендации по определению стоимости работ по содержанию автомобильных дорог федерального значения, М., 2014 г.
[13]	Письмо Минэкономразвития РФ №21790-АКД03 от 05.10.2011 г.	«Временно определенные показатели долгосрочного прогноза социально-экономического развития РФ до 2030 года»
[14]	НПБ 244-97	Материалы строительные, декоративно-отделочные и облицовочные, материалы для покрытия полов, кровельные, гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы. Показатели пожарной опасности

ОКС 93.080 ОКП 22 9641

Ключевые слова: пешеходные мосты, конструктивные элементы, несущие конструкции, полимерные композиты, вакуумная инфузия, ламинат, метод предельных состояний, метод конечных элементов, требования, контроль, испытания, безопасность

Руководитель организации-разработчика

Федеральное автономное учреждение
«Российский дорожный научно-исследовательский институт»
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Генеральный директор _____ О.Н. Ярош

gost.e-ecolog.ru