

# СИСТЕМА ОГНЕЗАЩИТЫ ВАНТ: ОТ ИСПЫТАНИЙ ДО ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Ли Хуапин, Чжу Юнцюань, Пан Жуйцзянь, Вэй Яолин

**СОВРЕМЕННЫЕ ВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ ШИРОКО ПРИМЕНЯЮТСЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ РЕКИ И МОРСКИЕ АКВАТОРИИ, А ТАКЖЕ В ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ, И ЯВЛЯЮТСЯ ОДНИМ ИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ МОСТОВ. ПО СОСТОЯНИЮ НА КОНЕЦ 2024 ГОДА КОЛИЧЕСТВО АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ В КИТАЕ ПРЕВЫСИЛО 1,1 МЛН, ВКЛЮЧАЯ 11 329 ВНЕКЛАССНЫХ МОСТОВ И ОКОЛО 191 400 БОЛЬШИХ МОСТОВ. В 2025 ГОДУ ГЛАВНЫЙ ПРОЛЕТ ВАНТОВОГО МОСТА ЧАНЬТАЙ ЧЕРЕЗ РЕКУ ЯНЦЗЫ ДОСТИГ 1208 М, УСТАНОВИВ НОВЫЙ МИРОВОЙ РЕКОРД. ПО МЕРЕ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ПОДОБНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВСЕ БОЛЬШЕ ВНИМАНИЕ УДЕЛЯЕТСЯ ВЛИЯНИЮ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПОЖАР, НА БЕЗОПАСНОСТЬ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ.**

Ванты, как правило, располагаются по обеим сторонам проезжей части и могут непосредственно подвергаться воздействию пламени и высокотемпературных дымовых газов, возникающих при возгорании транспортных средств, утечке топлива или возгорании горючих материалов под мостом. При пожаре наружная HDPE-оболочка может размягчаться, плавиться и даже гореть, в результате чего расположенные внутри вант высокопрочные стальные проволоки или стальные пряди подвергаются воздействию высокой температуры. Согласно результатам соответствующих испытаний, при температуре 300 °C модуль упругости, предел текучести и предел прочности высокопрочной стальной проволоки сопоставимого класса прочности снижаются соответственно примерно до 85, 68 и 74% значений при нормальной температуре. При повышении температуры до 400 °C предел прочности снижается примерно до 53%. Таким образом, даже без плавления стали жесткость, несущая способность и фактическое натяжение ванты могут существенно снижаться.

Поскольку ванты воспринимают нагрузку от пролетного строения и передают ее на пилоны, ухудшение их характеристик при воздействии высокой температуры может дополнительно повлиять на общее напряженно-деформированное состояние моста. При снижении натяжения или выходе из строя одной или нескольких вант может происходить перераспределение нагрузки, увеличение усилий в соседних вантах, а также изменение геометрии и внутренних

усилий в пролетном строении. Согласно результатам одного из исследований, опубликованных в 2025 году, в рассматриваемой расчетной модели выход из работы двух крайних пар задних вант привел к увеличению вертикального перемещения в середине главного пролета до 362 мм, что на 28,53% превышает значение для исправного состояния конструкции. Хотя фактическое влияние зависит от конструктивной схемы моста, расположения поврежденной ванты и масштабов пожара, локальное повреждение ванты может привести к последствиям уже на уровне всей конструктивной системы.

Пожары на мостах, произошедшие в последние годы в различных странах, также подтверждают, что данный риск необходимо учитывать на стадии эксплуатации сооружений. В 2020 году на мосту Большой Бельт в Дании произошло возгорание грузового автомобиля вблизи подвесных элементов моста. В 2024 году на вантовом мосту через реку Карнали в Непале грузовой автомобиль, перевозивший зажигалки, горел около четырех часов, в результате чего 14 несущих проволочных элементов мостовой конструкции получили повреждения. В том же году пожар грузового автомобиля на вантовом мосту Сарате — Браса-Ларго в Аргентине привел к прекращению движения. Эти аварии показывают, что при расположении источника пожара в непосредственной близости от вантовых или подвесных элементов топливо и перевозимые грузы могут создавать значительную пожарную нагрузку. Степень воздействия огня на



Рис. 1. Конструкция системы огнезащиты вант из стальных прядей: а — зона защиты; б — конструкция системы огнезащиты

вантовую систему также зависит от расположения источника пожара, продолжительности горения, направления ветра и других факторов.

Подобные случаи происходили и в Китае. В 2016 году на мосту Суцуньба через автомагистраль Яси в провинции Сычуань произошло самовозгорание грузового автомобиля, в результате чего были повреждены пять вант. В 2023 году на мосту через реку Хутуо на проспекте Фусин в городе Шицзячжуан произошло возгорание одной из вант в прианкерной зоне у пилона вследствие неисправности линии декоративного освещения; впоследствии ванта оборвалась и упала на проезжую часть. В 2025 году на мосту Эрци через реку Янцзы в Ухане произошло самовозгорание транспортного средства, вследствие чего расположенная рядом ванта получила локальное повреждение; после проведения обследования и оценки технического состояния она была заменена. Эти случаи показывают, что ванты могут подвергаться воздействию не только пожаров транспортных средств, но и возгораний электрооборудования и вспомогательных систем.

В отличие от обычных расчетных нагрузок, пожар характеризуется случайным расположением очага, быстрым повышением температуры, высокой интенсивностью теплового воздействия и неопределенностью зоны поражения. После пожара оценить температуру внутри ванты, степень деградации ее механических характеристик и остаточную несущую способность, основываясь только на визуальной оценке степени повреждения наружной HDPE-оболочки, как правило, невозможно. Поэтому для вантовых мостов с интенсивным движением, высокой долей тяжелого транспорта или потенциально тяжелыми последствиями пожара необходимо предусматривать меры защиты вант с учетом возможных

сценариев пожара, а также проводить полномасштабные огневые испытания для подтверждения теплоизоляционных характеристик защитной системы и несущей способности вантовой системы при воздействии высоких температур. Исходя из данной инженерной потребности, компания OVM разработала систему огнезащиты вант из стальных прядей, провела ее испытания и осуществила практическое применение на объектах.

Система огнезащиты OVM представляет собой комбинированную конструкцию «гибкое огнестойкое покрытие + стальная наружная защитная труба», которая может устанавливаться без изменения основной конструкции существующей ванты. Гибкое покрытие располагается поверх HDPE-оболочки ванты и за счет низкой теплопроводности огнестойкого материала замедляет передачу тепла внутрь ванты. Стальная наружная защитная труба устанавливается поверх огнестойкого покрытия и одновременно выполняет функции механической защиты, гидроизоляции и внешней отделки конструкции.

Защитная конструкция имеет секционное исполнение и может модульно конфигурироваться в зависимости от типоразмера ванты, зоны потенциального пожарного воздействия и условий монтажа. Протяженность защищаемого участка определяется с учетом типов транспортных средств, проезжающих по мосту, возможного расположения очага пожара и требуемого уровня огнестойкости. Особое внимание уделяется нижним участкам вант вблизи проезжей части, анкерным зонам и другим участкам, которые могут непосредственно подвергаться воздействию пламени и высокотемпературных дымовых газов.

Одних только испытаний отдельных огнестойких материалов, однако, недостаточно для полноценной

оценки характеристик системы в реальных конструктивных условиях. Состояние укладки материалов, места соединения отдельных секций и конструкция герметизации торцевых участков могут оказывать существенное влияние на процесс теплопередачи. Для проверки теплоизоляционной способности комбинированной огнезащитной конструкции, а также работоспособности анкерной системы ванты при высокой температуре, были проведены испытание на огнестойкость и теплоизоляцию при температуре 1100 °С и высокотемпературное испытание анкерной системы при 300 °С. Методика испытаний основывалась на технических требованиях РТИ DC45.1–18.

Для испытания на огнестойкость и теплоизоляцию был изготовлен полномасштабный образец ванты OVM250-73 в масштабе 1:1. Он состоял из 73 стальных прядей номинальным диаметром 15,7 мм и пределом прочности 1860 МПа. На образце в соответствии с проектной конструкцией были установлены гибкое огнезащитное покрытие и стальная наружная защитная труба. По окружности и длине образца были установлены восемь термодпар для контроля изменения температуры внутри защитного слоя и в зоне расположения стальных прядей.

Испытание проводилось в соответствии с ускоренной температурно-временной кривой пожара ANSI/UL 1709. Средняя температура внутри печи достигла примерно 1100 °С приблизительно за 5 мин, после чего воздействие высокой температуры продолжалось. Общая продолжительность процесса составила 95 мин. В ходе испытания непрерывно регистрировались температура в печи и температура в восьми внутренних точках измерения. Основным критерием оценки являлось поддержание температуры в зоне расположения стальных прядей не выше 300 °С.

Результаты показали, что при воздействии температуры около 1100 °С в течение всего периода испытания максимальная температура в восьми внутренних точках составила 206,5 °С, что на 93,5 °С ниже установленного предельного значения 300 °С. Повышение температуры во внутренних точках существенно отставало от изменения температуры в печи. Это свидетельствует о том, что при данной конструкции образца, установленной толщине материалов и способе обработки торцевых участков система огнезащиты эффективно замедляет передачу тепла внутрь ванты и обеспечивает поддержание температуры в зоне расположения стальных прядей в пределах установленного ограничения.

Испытание на огнестойкость и теплоизоляцию подтвердило способность системы огнезащиты контро-

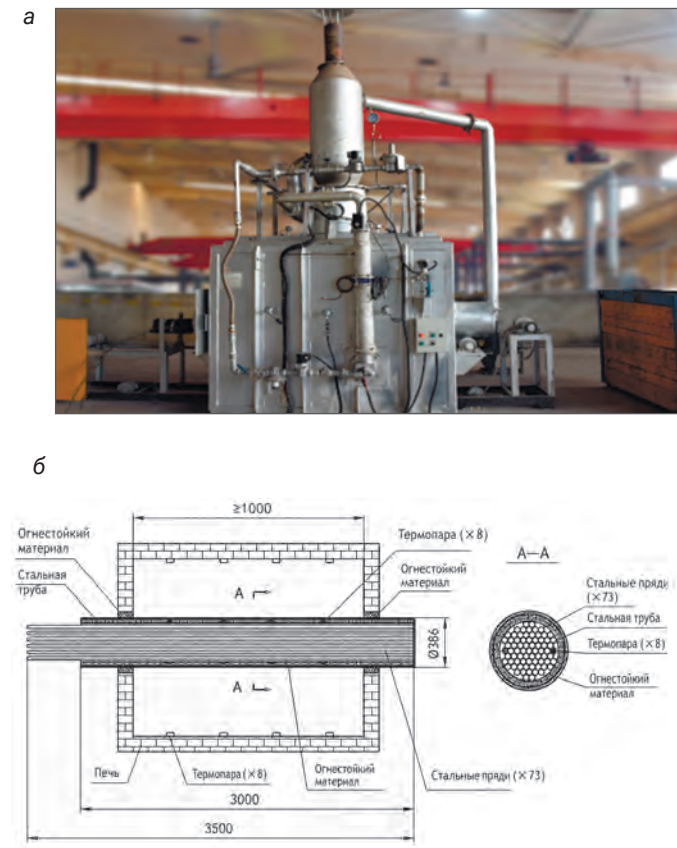


Рис. 2. Испытательная установка и расположение точек измерения при огневом испытании OVM при 1100 °С: а — испытательная установка; б — расположение точек измерения

лировать повышение температуры стальных прядей. Для дальнейшей оценки рабочего состояния ванты и анкерной системы при установленном температурном ограничении было проведено высокотемпературное испытание при 300 °С. Также использовались 73 оцинкованные стальные пряди номинальным диаметром 15,7 мм и пределом прочности 1860 МПа. На обоих концах образца были установлены натяжной анкер и фиксированный анкер.

На первом этапе ванта была нагружена до уровня 0,45 MUTS, то есть 45% минимальной разрывной нагрузки ванты, после чего заданная нагрузка поддерживалась в течение всего испытания. Затем была включена нагревательная печь. Фактическая температура в контрольных точках анкера, клиньев и стальных прядей достигла 300 °С примерно за 70 мин. После этого образец выдерживался в течение 30 мин при одновременном воздействии нагрузки 0,45 MUTS и фактической температуры 300 °С. После

и ее анкерная система обеспечивают требуемые характеристики работы при высокой температуре.

Два проведенных испытания позволили оценить систему огнезащиты с двух основных точек зрения: теплоизоляционной эффективности и несущей способности при высокой температуре. Испытание при 1100 °С оценивало способность комбинированной защитной конструкции ограничивать повышение температуры стальных прядей, тогда как высокотемпературное испытание при 300 °С оценивало рабочее состояние стальных прядей, анкеров и клиньев при одновременном воздействии температуры и нагрузки. В целом результаты сформировали основу для подтверждения возможности инженерного применения данной системы.

Система огнезащиты уже применяется на более чем десяти вантовых мостах в Китае и за рубежом, включая Rod El Farag Axis Bridge в Египте, мост Sejingkat и мост LUPAR 1 в Малайзии. Реализованные проекты включают в себя различные типоразмеры вант, протяженность защищаемых участков и условия монтажа. Для каждого объекта длина защиты и конструкция секционного исполнения определялись с учетом конструктивной схемы моста, потенциальных пожарных рисков и особенностей расположения вант.

Мост Rod El Farag Axis Bridge расположен в Каире, Египет. Ширина проезжей части перехода составляет 67,3 м. Он признан Книгой рекордов Гиннеса самым широким вантовым мостом в мире. Все 160 вант OVM250 данного сооружения оборудованы системой

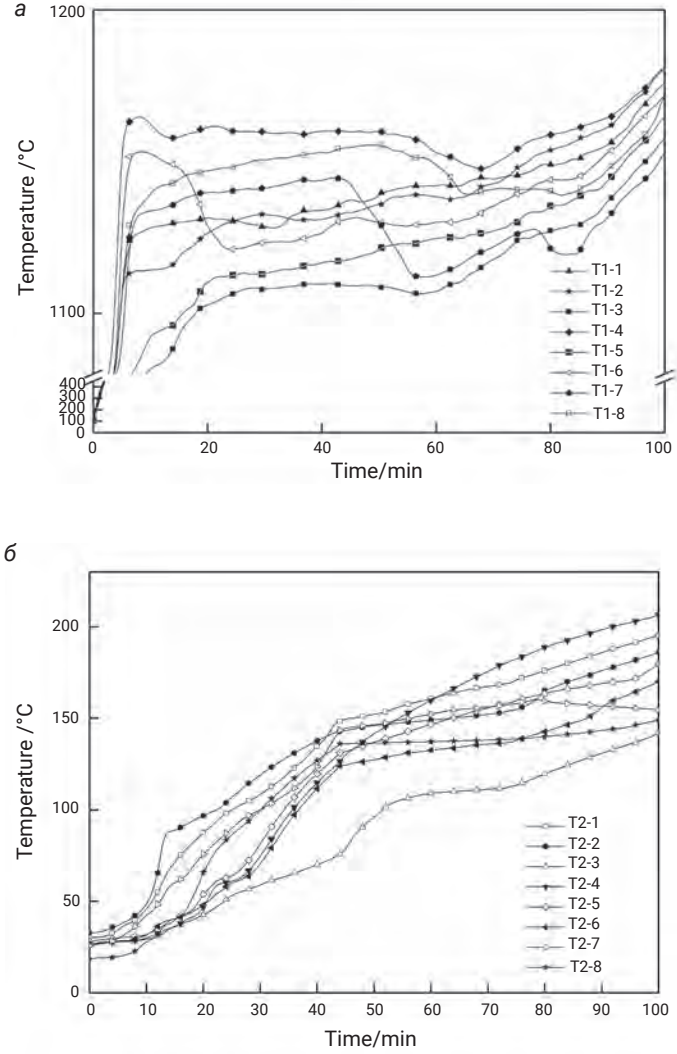


Рис. 3. Результаты регистрации данных испытания на огнестойкость: а — температурно-временная кривая высокотемпературной газовой печи; б — температурно-временная кривая системы огнезащиты ванты

завершения испытания образец охлаждался, после чего проводилась проверка стальных прядей, анкеров, клиньев и других ключевых элементов.

В течение периода совместного воздействия заданной температуры и нагрузки состояние образца под нагрузкой оставалось стабильным. После охлаждения визуальный осмотр не выявил признаков проскальзывания анкера, обрывов стальных прядей, аномального состояния клиньев или разрушения анкеров. Результаты испытания показали, что при совместном воздействии фактической температуры 300 °С, нагрузки 0,45 MUTS и заданной продолжительности воздействия вантовая система OVM250

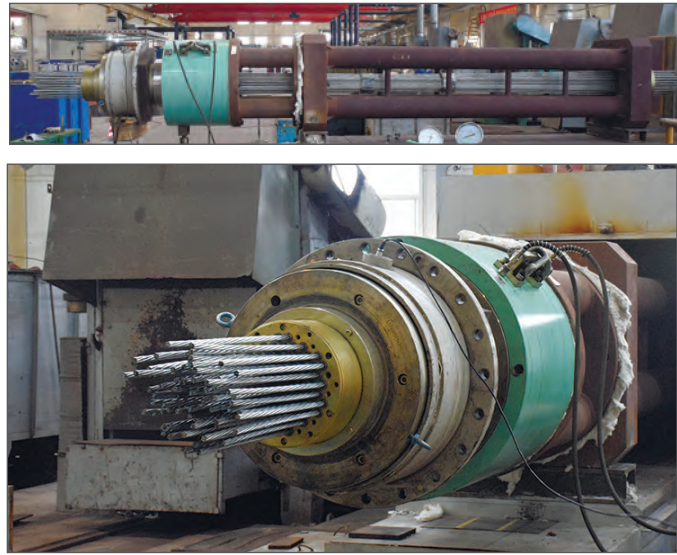


Рис. 4. Испытательная установка OVM для высокотемпературного испытания анкерной системы при температуре 300 °С



Мост Род-эль-Фараг, Египет



Мост LUPAR 1, Малайзия



Мост Чантанхэ через реку Лоушуй, Китай



Мост Седжингкат, Малайзия



Мост через реку Хутуо, Китай

Рис. 5. Применение системы огнезащиты вант из стальных прядей на объектах строительства

огнезащиты. Конструкция включает в себя гибкое огнезащитное покрытие, стальную наружную защитную трубу и торцевую гидроизоляцию. Монтаж системы огнезащиты был завершен в мае 2019 года. Разработанная для данного моста система огнезащиты и взрывозащиты вант также прошла полномасштабные испытания.

Реализованные проекты подтвердили возможность перехода от экспериментальных исследований к практическому инженерному применению системы огнезащиты. Они также показывают, что огнезащита

вант постепенно перестает быть специальным решением для отдельных проектов и становится техническим вопросом, которому уделяется постоянное внимание при проектировании и обеспечении эксплуатационной безопасности мостов.

По мере развития исследований и накопления практического опыта в Китае подход к обеспечению пожарной безопасности канатных конструкций постепенно расширяется: от обследования и оценки состояния после аварийных воздействий — к проектированию огнестойкости, экспериментальной про-

верке характеристик, организации монтажа и контролю качеств. JTG/T 5122—2021 «Технические нормы по содержанию и техническому обслуживанию мостов с канатными конструкциями на автомобильных дорогах» устанавливает требования к обследованию вант и мостовых конструкций после пожара. Технические документы, разработанные в отдельных регионах, включая провинцию Гуандун и город Чунцин, дополнительно регламентируют оценку состояния мостов после пожара и требования к защите существующих канатных конструкций. Разработанное Китайским обществом автомобильных дорог «Руководство по проектированию огнестойкости канатных систем автодорожных висячих мостов» устанавливает требования к сценариям пожара, анализу огнестойкости и защитным мероприятиям; соответствующие положения могут применяться также к вантам. Кроме того, в 2025 году был инициирован проект разработки «Технического регламента по устройству огнезащиты канатных систем автодорожных мостов». Полномасштабные испытания, проведенные на таких объектах, как мост Чаньтай через реку Янцзы, также способствуют переходу соответствующих технологий от стадии проектных исследований к инженерной верификации и контролю качества выполнения работ.

На международном уровне РТИ установил количественные требования к огнезащитным характеристикам вант. В частности, при воздействии внешнего пожара с температурой около 1100 °С температура основных несущих элементов ванты должна поддерживаться ниже 300 °С в течение не менее 30 мин. Несущая способность вантовой системы при высокой температуре должна подтверждаться посредством высокотемпературных испытаний под нагрузкой.

Международная федерация по конструкционному бетону (fib) готовит к публикации Bulletin 123 «Fire Protection of Stay Cables», в котором будут систематизированы функциональные требования к системам огнезащиты вант, проектные положения и методы испытаний.

Огнезащита вант постепенно переходит от отдельных специальных решений для конкретных проектов к проектируемой, верифицируемой и технологичной инженерной системе. Полномасштабные испытания и практическое применение на объектах в Китае и за рубежом показывают, что рассмотренная в настоящей статье комбинированная система огнезащиты позволяет эффективно ограничивать повышение температуры стальных прядей при пожаре, а также адаптироваться к различным конструкциям вантовых систем и требованиям последующего технического обслуживания.

По мере совершенствования соответствующих нормативных документов и методов оценки данная технология может получить дальнейшее применение как при строительстве новых, так и при реконструкции существующих мостов, обеспечивая более высокий уровень эксплуатационной безопасности вантовых мостов.

Помимо испытаний, направленных непосредственно на оценку огнезащитных характеристик, компания OVM провела комплекс квалификационных испытаний продукции в рамках процедуры сертификации для применения на российском рынке. Испытания были направлены на подтверждение основных технических и эксплуатационных характеристик вантовой системы и стальной вантовой пряди в защитной оболочке.

По результатам проведенных испытаний сертификат «МОССТРОЙСЕРТИФИКАЦИЯ», выданный сертификационным органом АО ЦНИИТС, был получен на вантовую систему OVM, а также на стальную вантовую прядь номинальным диаметром 15,7 мм и классом прочности 1860 МПа в защитной оболочке. Сертификация подтверждает соответствие продукции требованиям ГОСТ и возможность ее применения на территории Российской Федерации.

В рамках сертификационной процедуры часть испытаний была проведена на испытательной базе АО ЦНИИТС, а для испытаний, требовавших специализированного оборудования, использовалась испытательная база OVM в Китае. Соответствующие испытания проводились в присутствии эксперта АО ЦНИИТС и были учтены в рамках процедуры оценки соответствия.

Таким образом, система OVM прошла не только специализированные испытания, подтверждающие ее огнезащитные характеристики, но и комплексную квалификацию, необходимую для применения продукции на российском рынке. Полученная сертификация обеспечивает нормативную основу для использования вантовой системы и стальных вантовых прядей OVM в проектах на территории Российской Федерации.



Тел: +7 (499) 180-41-93  
E-mail: info@tsniis.com  
www.tsniis.com



Тел. +7 (916) 514-13-32  
E-mail: sales@ovm.cn  
nikiforov@ovm.cn  
Web site: www.ovm.cn  
www.ovmrussia.ru