

“THE CHIANI SUSPENSION BRIDGE: A COMPLETE OVERHAUL”,

Petrangeli M., Petrangeli M. (2010)

“Questo articolo è stato pubblicato per la prima volta sulla rivista *AMOCT FOUNDATION (russian)*”

“This article was first published in *AMOCT FOUNDATION (russian)*”

“Cet article a été publié pour la première fois sur *AMOCT FOUNDATION (russian)*”

“Este artículo se publicó por primera vez en la revista *AMOCT FOUNDATION (russian)*”

Капитальный ремонт висячего моста Чиани в Алжире

Марко Петранджели, профессор, компания INTEGRA S.r.l., Рим, Италия
Марчелло Петранджели, инженер, компания Tensacciai SpA Via F. Milano, Италия

*(Впервые опубликовано на английском языке в журнале **Structural Engineering International**, SEI 3/2009 by IABSE, Zurich, Switzerland, www.iabse.org, с. 262–270, под названием «The Chiani Suspension Bridge: Complete Overhaul», авторы: Marco Petrangeli, Marcello Petrangeli)*

Статья посвящена описанию работ по капитальному ремонту висячего моста Чиани в Алжире. Величина главного пролета моста, построенного в начале прошлого века по проекту французского инженера Арнодена, составляет 105 м. Система подвески моста комбинированная: участки пролетного строения, прилегающие к пилонам, поддерживаются вантами, а средняя часть подвешена к главному канату на металлических стержнях. Мост запроектирован и построен до строительства аналогичного моста Сиди-маа-Сид в алжирском городе Константин. Ремонтные работы на мосту Сиди-маа-Сид были выполнены по проекту авторов настоящей статьи в течение 90-х годов XX в., о чем журнал *Structural Engineering International* сообщал в № 4, 2000 г. После успешного завершения ремонтных работ на мосту Сиди-маа-Сид авторам было предложено разработать проект капитального ремонта моста Чиани – великолепного сооружения, которое было полностью заброшено и закрыто для движения в силу его ветхого состояния. Работы предусматривали полную замену системы подвески, уширение пролетного строения с образованием новых тротуаров, расположенных за пределами главных продольных (параметных) балок, и с укладкой новой железобетонной плиты проезжей части, которая должна обеспечить лучший проезд автомобильного транспорта. Указанные работы были проведены без использования вспомогательных временных опор при передаче веса новой плиты со старой системы подвески на новую. При этом мост был постоянно открыт для пешеходов и пропуска мотоциклистов и для прогона скота. Взамен существующих главных несущих канатов и вант, изготовленных из традиционных стальных тросов, и подвесок из стальных стержней применена новейшая система этих же элементов, составленная из прядей, заключенных в полимерную оболочку. При ремонте применены новые сварные седловые опорные части, сконструированные по принципам, применяемым для висячих мостов третьего поколения. Их устанавливали над существующими седловыми опорными частями, и такая комбинированная система опирания несущих канатов работала совместно в ходе всего процесса передачи нагрузки от старой системы подвески на новую.

Наступает время, когда разнообразные висячие мосты малых и средних пролетов, построенные в конце XIX и в начале XX в., начи-

нают срочно нуждаться в усилении и ремонте. При этом часто возникает необходимость в замене канатов системы подвески, в

которых ввиду отсутствия современной коррозионной защиты и, как следствие, под воздействием коррозии уменьшился расчетный диаметр проволок.

Однако замена элементов системы подвески представляет собой сложную задачу. Значительные изменения элементов конструкции в результате упругих и остаточных деформаций, которые накапливаются в конструкции при строительстве и эксплуатации, значительно затрудняют разгрузку и последующую замену различных элементов, особенно канатов системы подвески.

Мост Чиани (рис. 1), запроектированный французским инженером Ф. Арноденом в начале XX в., относится к категории малых висячих мостов. Он перекрывает русло реки Чиани на окраине де-

Рис. 1. Мост Чиани до начала ремонтных работ





Рис. 2. Разрез и план моста (единица измерения – метры): 1 – анкера новых несущих канатов внутри существующей анкерной камеры; 2 – новые седловые опорные части на вершинах пилонов; 3 – замена главных несущих канатов; 4 – замена вантовых канатов; 5 – замена стержней подвесок; 6 – замена деревянного настила на монолитную железобетонную плиту; 7 – селение Чиани; 8 – новый наружный тротуар

ревни того же названия, которая расположена близ города Аннаба на северо-востоке Алжира. Мост построен на несколько лет раньше двух аналогичных мостов – Сиди-маа-Сид и Перрего, сооруженных тем же инженером в Константине.

В конструкции описываемого моста применена смешанная система подвески пролета (рис. 2) к главным несущим канатам и вантам, популярная у французских инженеров в тот период. Главные несущие канаты и боковые оттяжки вант анкеруются в четырех массивных анкерных блоках, забетонированных в котлованах, разработанных в скальной породе.

На главных несущих канатах и канатах вант (рис. 3), а также на элементах связей и на поперечных балках пролета отмечены следы интенсивной коррозии. Доски деревянного настила проезжей части, которые опираются на поперечные балки, полностью сгнили, и пешеходы проходили по двум узким приподнятым пешеходным настилам из гофрированного стального листа.

Система подвески пролетного строения

Средняя часть пролетного строения подвешена на двух главных несущих канатах, каждый из которых, в свою очередь, составлен из шести стальных канатов диаметром 75 мм. Эти шесть канатов не объединены хомутами, расположе-

ны в горизонтальном ряду, уложены отдельно на вершине пилонов на седловых опорных частях и анкерены в береговых анкерных блоках. Каждый главный несущий канат охватывает незамкнутая серьга из прутка круглого сечения, изогнутого в форме перевернутой буквы U. На свободных концах се-

Рис. 3. Существующие канаты, U-образные серьги и подвески



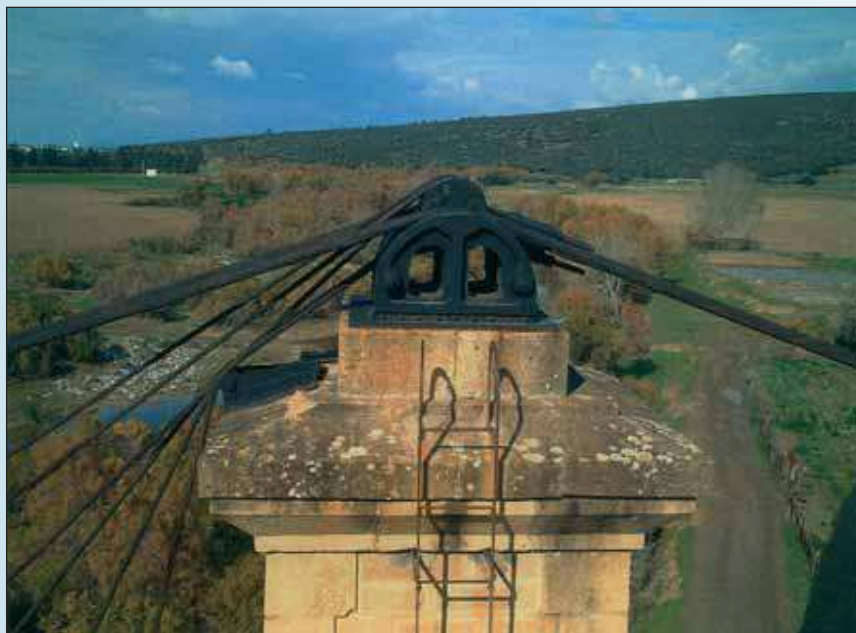


Рис. 4. Старые седловые опорные части



Рис. 5. Настил существующей проезжей части

рег гайками закреплена небольшая отливка, на которой установлена вертикальная стержневая подвеска диаметром 33 мм (см. рис. 3). С каждой фасадной стороны пролетного строения довольно близко одна от другой с шагом 1,25 м расположены 57 подвесок, соединенные непосредственно с поперечными балками двутаврового сечения, на которые опирается плита проезжей части.

Участки пролетного строения длиной 20 м, прилегающие к пилонам, с каждой стороны поддерживаются шестью вантовыми канатами диаметром 35 мм. Указанные шесть вант составлены из трех нитей канатов, перекинутых через седловые опорные части. Суммарное усилие вант уравновешено боковыми оттяжками из каната диаметром 42 мм (рис. 4). Канаты вант внизу заанкерены в продольных

двутавровых балках жесткости вантовой секции пролетного строения ниже парапетных балок. Горизонтальную составляющую усилия от вант воспринимают два каната (тяговые), проходящие под пролетным строением вдоль подвесной секции пролетного строения и соединяющие концы упомянутых двутавровых балок жесткости обеих вантовых секций. Подобная конструкция позволяет не препятствовать продольным перемещениям пролетного строения, поскольку действующие со стороны обоих пилонов горизонтальные составляющие усилия от вант уравновешивают друг друга и торцы пролетного строения не прижимаются к устоям (пилонам).

Существующие седловые опорные части выполнены подвижными в продольном направлении благодаря тому, что они установлены на роликах (см. рис. 4); этот механизм, несмотря на значительный износ его элементов, сохранил свою работоспособность вплоть до периода проведения ремонтных работ, о чем свидетельствует прекрасное состояние каменной кладки жестких пилонов.

На всех элементах системы подвески видны признаки значительного ухудшения их состояния. Большое число проволок канатов оборваны и свисают вниз, канаты все еще сохранили свою плотную упаковку, однако при близком рассмотрении после их демонтажа видно, что коррозия проникла внутрь каната, поразив некоторые глубинные проволоки коррозией.

Уширение и усиление пролетного строения

Металлоконструкции существующего пролетного строения состоят из двух продольных главных балок жесткости, так называемых парапетных балок, и поперечных двутавровых балок, непосредственно прикрепленных к вертикальным подвескам. Как на балках жесткости, так и на поперечных балках

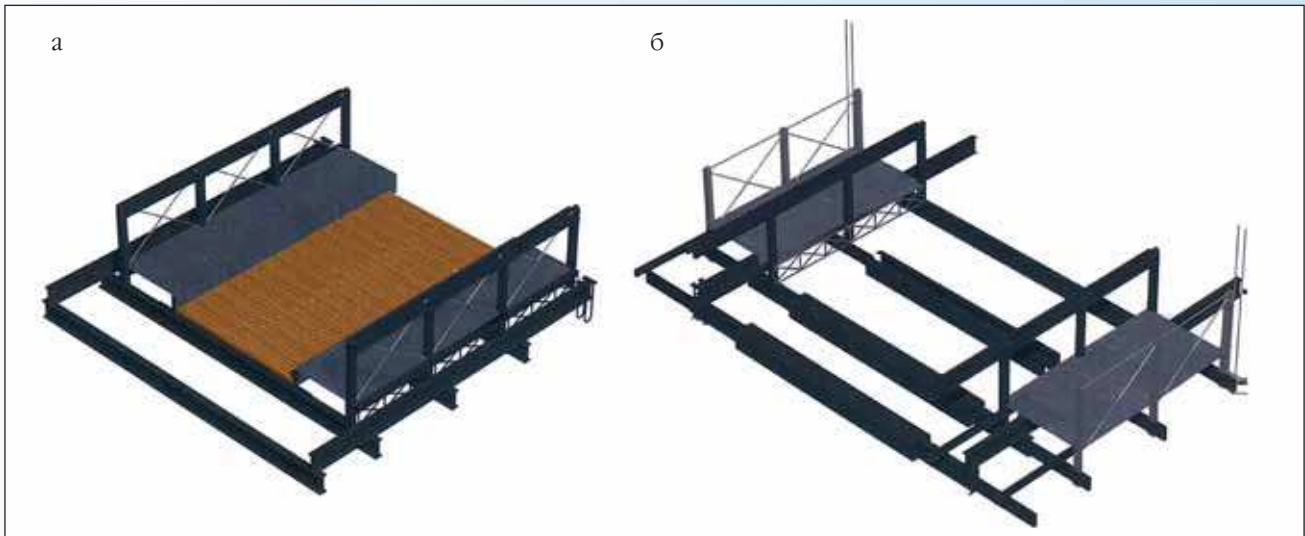


Рис. 6. Изометрическое изображение пролетного строения: а – до ремонта; б – после усиления

имеют место обширные по площади, но неглубокие точечные коррозионные повреждения. Дощатая проезжая часть пролетного строения в очень плохом состоянии (рис. 5). Между досками широкие провалы, из-за которых мост и был официально закрыт для движения транспорта, хотя фактически по двум облицованным металлическим листам приподнятых пешеходных проходов, расположенным рядом с парапетными балками, двигались пешеходы, проезжали легкие мотоциклы и прогоняли скот.

Для того чтобы мост снова мог пропускать автомобильный транспорт, было принято решение устроить железобетонную плиту проезжей части, которая должна размещаться на верхних поясах поперечных балках между обеими парапетными балками. Эта плита смогла бы обеспечить автомобилям не только прочную проезжую часть, но и повысить прочность пролетного строения на воздействие изгибающего момента и осевых сил.

Толщину железобетонной плиты назначили минимальной (140 мм), что дало возможность максимально уменьшить ее собственный вес. Для повышения прочности плиты на продавливание и изгиб ее бетонировали на оставляемом металлическом поддоне из гофрированно-

го листа (оставляемая опалубка). По сравнению с весом первоначального пролетного строения все утяжеление усиленного пролетного строения происходило практически лишь за счет новой железобетонной плиты.

Для обеспечения пропуска автомобильного транспорта по новой плите проезжей части потребовалось решить еще две проблемы: усилить поперечные балки и вынести за пределы парапетных балок приподнятые пешеходные проходы. В результате решения этих проблем можно будет создать проезжую часть, габарит которой позволяет пропустить по мосту одну полосу автомобильного движения (рис. 6).

Усиление поперечных балок выполнено приваркой к нижним поясам балок дополнительных листов усиления, а на верхних поясах – гибких штыревых упоров, предназначенных для обеспечения совместной работы железобетонной плиты с металлоконструкциями пролетного строения.

Тротуарные проходы вынесли за пределы пространства между парапетными балками. Это потребовало удлинения поперечных балок путем прикрепления к их стенке болтами дополнительных стальных консолей, на которые должны опираться новые тротуарные кон-

струкции, располагаемые с внешней стороны относительно парапетных балок и плоскости размещения новых подвесок.

Подвески также оказались смещенными на 0,5 м в наружную сторону, вследствие чего плоскость размещения главных несущих канатов отклонилась от своего первоначального положения, при котором она слегка уходила внутрь по горизонтали. Теперь плоскость несущих канатов отклонилась от вертикальной плоскости на 3° в наружную сторону.

Бетонирование железобетонной плиты увеличило прогиб пролетного строения, а усиление поперечных балок потребовало приварки дополнительных листов на верхний пояс парапетных балок. Эта простая операция позволила увеличить прочность парапетных балок и, в частности, их сопротивление потере устойчивости под действием продольной сжимающей силы; постановка же дополнительных листов повысила поперечную и крутильную жесткость этих элементов.

Новая система подвески

При решении вопроса о способах замены системы подвески всякого пролетного строения рассматривались два варианта.



Рис. 7. Новые седловые опорные части

Первый предусматривал замену главных несущих канатов и стержневых подвесок последовательно по одному элементу при условии сохранения на месте существующих седловых опорных частей на вершине пилонов. Таким способом была проведена частичная замена несущих канатов на мосту Сиди-маа-Сид в городе Константин. Однако подобный подход имел несколько недостатков: работы трудоемкие и требуют много времени,

максимальное число канатов, которые можно было заменить, не превышало двух, вслед за этим требовалось менять канаты вант и подвески. Существующие седловые опорные части нуждались в переделке. Устройства их продольного перемещения оказались заклинены из-за чрезмерной коррозии роликов качения. Последняя проблема представляла особо большие трудности, поскольку чтобы добраться до роликов под опорной частью, всю сед-

ловую опорную часть требовалось поднять, а это предполагало подъем всего пролетного строения.

Второй вариант предусматривал сооружение новой системы подвески независимо от существующей, что должно быть осуществлено с использованием современных материалов и новейших технологий строительства.

Окончательный выбор остановили на втором варианте, более эффективном, надежном и экономичном по сравнению с первым. Единственное сомнение этот вариант вызывал в отношении сложности операций, которые предстояло провести при передаче нагрузки от собственного веса конструкции в старой системе подвески на новую. При этом в течение некоторого периода времени обе системы должны были работать синхронно до полной разгрузки старой системы и ее демонтажа.

Самым ответственным элементом новой системы подвески являются новые седловые опорные части на вершинах пилонов (рис. 7). Эти опорные части были запроектированы в соответствии с принципами, разработанными Уильямом Брауном (1928–2005) для более длинных мостов. Указанные принципы предпола-

Рис. 8. Лабораторные испытания обжимающей обоймы на сдвиг



гают создание седловых опорных частей как составного механизма, смонтированного с помощью сварки из более мелких элементов профильного проката и листов; в то время подобные опорные части традиционно изготавливали литыми.

До демонтажа старых несущих канатов и вант существующие опорные части заключили в металлический короб, закрепленный на вершине пилона анкерами, посаженными на цементном растворе. Новые седловые опорные части установили на верш коробов на скользящих прокладках, составленных из пар листов «сталь-фторопласт», которые обеспечивали свободу продольных перемещений опорных частей.

Новые главные несущие канаты висячего моста составлены из проволочных прядей, каждая из которых заключена в полимерный чулок. Фактически любой такой главный несущий канат состоит из трех ветвей по 13 прядей в нем. Обжимающая обойма представляет собой две стальные отливки в форме параллелепипеда, объединяемые болтами. Парные подвески также изготовлены из прядей, которые анкеруются в обжимающей обойме с помощью стандартных анкеров «моностренд», позволяющих проводить натяжение и дотяжку канатов подвески. Ниже линии главных несущих канатов расположены висячие рабочие подмости, с которых проводят точную дотяжку канатов на последних стадиях монтажа системы подвески средней части пролетного строения.

Для оценки работоспособности обжимающих обойм сопротивляться воздействию сдвигающих усилий в местах соединения подвески с криволинейным несущим канатом, величина которых возрастает по мере приближения подвески к пилону до 25 % от осевого усилия в вертикальной подвеске, в Италии были проведены испытания (рис. 8), которые показали высокую сопротивляемость обжимающих обойм



Рис. 9. Обжимающие обоймы

воздействию сдвигающих усилий. В среднем краткосрочное сопротивление сдвигу составило 50 % от силы обжатия обоймы (восемь болтов диаметром 12 мм на одну обойму). Не было отмечено и какого-либо значительного снижения величины сопротивления при длительном приложении сдвигающей нагрузки, хотя можно было ожидать некоторых потерь при длительном воздействии на обойму жаркого алжирского солнца. Максимальная величина расчетного сдвигающего усилия на обойму (5 кН) составляет менее 10 % от сопротивления обоймы, определенного в лабораторных условиях (50 кН), причем в лаборатории обойма-прототип обжимала только один канат, будучи соединенной лишь четырьмя болтами, в то время как реальная обойма, обжатая восемью болтами, устанавливается на трех канатах.

Следует отметить, что все компоненты системы подвески пролетного строения (рис. 9) изготовлены в



Рис. 10. Анкера новых главных несущих канатов, забетонированные в существующей анкерной камере

Италии и поставлялись в Алжир вместе с проволочными прядями в защитном чулке, изготовленном на основе эпоксидного полимера.

Анкера

Новые несущие канаты совместно с вантовыми канатами анкеруются в монолитном железобетонном анкерном блоке (рис. 10), объ-



Рис. 11. Усиление и удлинение поперечных балок

единенном с существующим анкерным блоком. Старые анкерные блоки сооружали из низкомарочного бетона в котлованах, разработанных в скальной породе. Канаты существующей системы подвески отклоняли при входе в тело анкера с помощью криволинейных каналов из металлических труб. Каналообразователи внутри блока были вертикальными.

Рис. 12. Обе системы подвески до начала операции по передаче нагрузки



Анкерные блоки существующей системы оказались достаточно большими, чтобы разместить новые монолитные железобетонные секции. Эти секции объединяли со старым бетоном анкерровкой в нем арматурных стержней, установленных в пробуренные скважины, с последующим их инъектированием цементным раствором. Таким образом, дополнительный вес новой секции анкерного блока и его надежное объединение со старым анкерным устройством обеспечивали достаточную прочность анкерровки новых канатов более нагруженной новой системы подвески.

Этапы ремонтных работ

Ремонтные работы начались с полного удаления деревянного настила проезжей части и пескоструйной очистки металлоконструкций существующего пролетного строения. Затем выполнили усиление поперечных балок и продольных несущих (парапетных) ба-

лок приваркой дополнительных листов на их верхние пояса. Далее к поперечным балкам на болтах крепили металлические консоли под новые пешеходные проходы. За счет этого была уширена проезжая часть (рис. 11). На этой стадии работ полный расход металла усиления металлоконструкций пролетного строения составил 2,5 кН на метр длины моста. Затем была выполнена антикоррозийная защита металлоконструкций покрытием их сплошным слоем грунтовки на основе эпоксидных полимеров.

После этого производили работы по установке на пилонах новых седловых опорных частей над существующими. На вершине пилонов были сооружены временные металлические платформы, с которых монтировали металлические короба вокруг старых седловых опорных частей для установки на них новых. С целью уменьшения веса металла коробов варьировали толщиной листа короба, край которых проводили так, чтобы нагрузка на старые седловые опорные части передавалась через площадки касания кромок листов короба. Впоследствии, вслед за демонтажем несущих канатов и вант старой системы подвески, четыре короба были заанкерены на вершинах пилонов, что обеспечило дополнительную прочность и надежность коробам, которые становились опорой для новых седловых опорных частей.

Следующая стадия работ предусматривала монтаж главных канатов для новой системы подвески. Новые канаты протаскивали через оголовки пилонов по одному (всего на мост потребовалось 78 канатов) с использованием висячих подмостей, уложенных на существующих главных несущих канатах. Нижняя точка незагруженных новых главных несущих канатов находилась в середине пролета на высоте около 3,5 м над плитой проезда, или на 3 м выше аналогичной точки

несущих канатов старой системы (рис. 12). Такое положение новой системы в пространстве обеспечивало минимальный 2,2-метровый габарит по высоте от несущих канатов над настилом новых тротуарных проходов отремонтированного моста в середине висячего пролета.

Первое натяжение канатов новых подвесок проводили до получения расчетной длины канатов от нагрузки равной половине веса пролетного строения.

Процедуру натяжения начали с канатов подвесок в середине пролета, их вытянули приблизительно на 0,5 м, при этом усилия натяжения составляли несколько килоньютон. Далее операции по натяжению продолжали симметрично, двигаясь по направлению к пилонам. Усилия в главных несущих канатах возрастали, жесткость всей системы подвески повышалась, позволяя упростить операции натяжения.

Вследствие того что первую операцию натяжения проводили после продолжительной остановки работ в летний период, вызванной соображениями защиты окружающей среды и некоторыми технологическими проблемами, при вытяжке (натяжении) канатов подвесок до заранее определенной длины были допущены значительные ошибки. Графическая иллюстрация этого явления дана на рис. 13. Длину подвесок после первой вытяжки измеряли с помощью геодезических инструментов. Ввиду того, что напряжения в канатах подвесок на этой стадии были сравнительно небольшие, длина подвесок, определенная геодезическим способом, оказалась достаточно близкой к фактической. Поэтому изображенная на графике ошибка является фактически разностью между измеренной и расчетной длинами подвесок.

Величину ошибки в натяжении канатов подвесок можно легко проверить, инструментально определив напряжения в канатах. В соответствии с данными графика, лишь немногие канаты подвесок

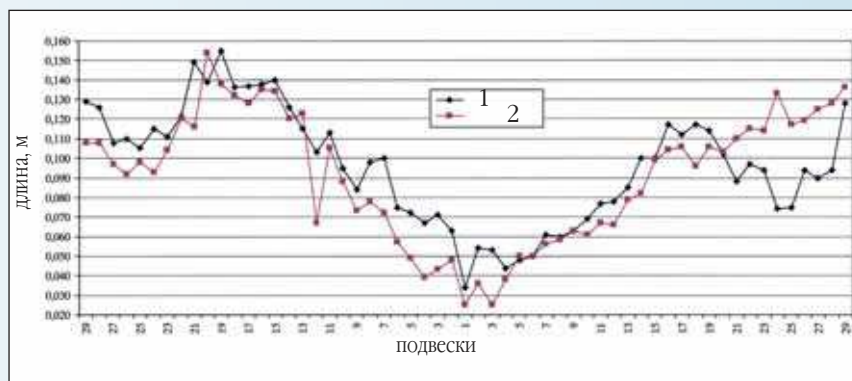


Рис. 13. График разности длин канатов подвесок после первой дотяжки, расчетная и фактически измеренная длины: 1 – низовая сторона; 2 – верховая сторона

оказались едва натянуты, другие канаты были значительно более напряжены.

Тем не менее, пролетное строение моста оказалось достаточно прочным и гибким и выдержало неравномерное распределение нагрузок, которое имело место после завершения первой стадии напряжения канатов подвесок. Учитывая весьма малый собственный вес пролетного строения, а также резерв прочности конструкции пролетного строения и подвесок, было принято решение перейти к следующей стадии работ, оставив операцию по корректировке усилий первого натяжения на более позднее время.

Задача следующей стадии работ состояла в разгрузке старой системы подвески. Стержни старых подвесок разгружали по одному, оставляя пролетное строение висящим на новых подвесках. Главные несущие канаты старой системы, на этой стадии находящиеся под действием только собственного веса, объединили временными хомутами, разрезали в середине пролета и вытащили через седловые опорные части на берег. Для снижения трения при протаскивании канатов через старые опорные части их предварительно обработали консистентной смазкой.

После этого можно было переходить к выполнению работ второй стадии натяжения канатов

подвесок. Его выполняли до бетонирования новой плиты проезжей части. Поскольку при бетонировании плиты величина постоянной нагрузки возрастала на 100 %, при вытяжке второй стадии канаты пришлось напрягать на значительные усилия, чтобы выбрать значительный прогиб пролетного строения, возникающий от увеличения нагрузки на нем. При выполнении этой операции потребовалось параллельно решать следующие задачи:

- исправлять ошибки натяжения, оставшиеся в системе после проведения первой стадии работ;
- привести положение главных несущих канатов в пределы малых по величине геометрических допусков на положение канатов в пространстве;
- привести систему подвески в такое состояние, чтобы третью и заключительную стадии натяжения можно было осуществлять вытяжкой только нижних концов подвесок;
- отрегулировать длины стержней подвесок таким образом, чтобы после заключительной стадии вытяжки можно было установить между канатами подвески и анкером пластины одинаковой толщины.

После завершения второй стадии вытяжки сухари анкерных канатов подвески заклинили, лишние концы канатов обрезают, а анкера смазали и закрыли металлическими крышками. По окончании второй стадии разность между расчет-

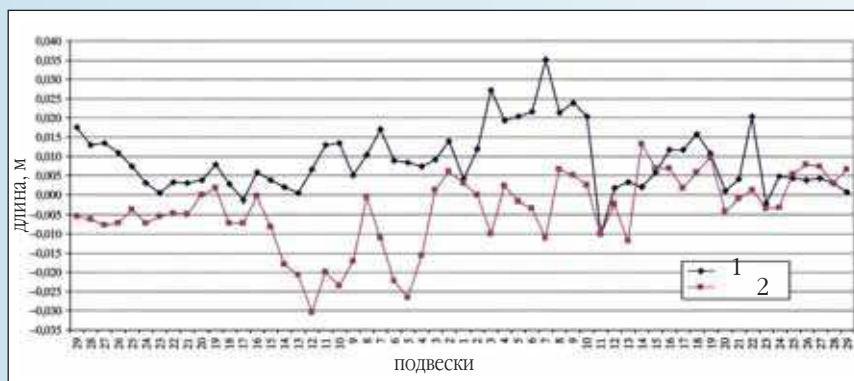


Рис. 14. График разности длин канатов подвесок после второй дотяжки, расчетная и фактически измеренная: 1 – низовая сторона; 2 – верховая сторона

ной и измеренной длинами вытяжки значительно уменьшилась, что видно из графика на рис. 14.

Вслед за окончанием второй стадии натяжения заменили канаты вант, попарно устанавливая новые канаты и демонтируя старые. В качестве вантовых канатов применили такие же прядевые канаты, которые использовали в главных несущих канатах и подвесках. В отличие от технологии натяжения канатов подвесок, у которых достаточность напряжения определяли методом геометрического контроля, т. е. величиной вытяжки каната, достаточность натяжения канатов

вант проверяли измерением усилий в них.

После окончания полной замены системы подвески пролетного строения выполнили бетонирование плиты проезжей части. Плиту бетонировали с использованием листовой гофрированной стали в качестве оставляемой опалубки. Над верхними поясами поперечных балок, к которым приварили гибкие штыревые упоры для образования сталежелезобетонной конструкции, гофрированный лист прерывали. Сразу после окончания бетонирования на поверхность плиты уложили гидроизоляцию акрилового состава.

Рис. 15. Новая проезжая часть моста Чиани



На этой стадии работ нагрузка от собственного веса пролетного строения составляла уже 80% от полной проектной нагрузки, при этом его прогиб в середине пролета достиг 700 мм. Второе натяжение уменьшило эту величину до 350 мм. Постатейное натяжение главных несущих канатов привело к смещению седловых опорных частей на вершине пилонов приблизительно на 100 мм в сторону середины висячего пролета, что частично сократило первоначальное их смещение в обратную сторону, которое было выполнено при монтаже канатов.

После окончания бетонирования плиты была проведена третья дотяжка канатов подвесок и вторая дотяжка главных несущих канатов. Как и прежде, дотяжку подвесок вели с контролем натяжения по методу замеров вытяжки каната, а натяжение канатов вант проверяли методом замера усилий.

Выполнив основные монтажные операции, на поверхности плиты проезжей части уложили 30-миллиметровый асфальтобетонный слой износа и установили наружное перильное ограждение, закрепив его к канатам подвески (рис. 15 и 16).

Заключение

Проблемы, связанные с ремонтом и усилением висячих мостов малых и средних пролетов, построенных по всему миру в конце XIX и начале XX в., вызывают растущий интерес в среде специалистов-мостовиков, поскольку в настоящее время указанные мосты все острее требуют крупного ремонта и обновления. На основе практического опыта, приобретенного при ремонте висячих мостов в Алжире, спроектированных французским инженером Арноденом, авторы могут дать следующие рекомендации.

- Несущие канаты малых висячих мостов могут быть экономично и быстро заменены канатами, составленными из прядей и используемыми обычно для создания

предварительного напряжения. Указанные пряди, заключенные в полимерный защитный чулок, способствуют обеспечению долговечности сооружения и, кроме того, их конструкция позволяет эффективно обжимать канаты хомутами и обоймами.

- Существующую систему подвески пролетного строения можно заменить с использованием обеих систем одновременно (старой и новой) при условии, что на пилонах они кинематически могут функционировать независимо одна от другой. Вероятнее всего на старых мостах пилоны окажутся сооруженными из каменной кладки или из железобетона, которые имеют большую жесткость, но и невысокую трещиностойкость при внецентренном приложении нагрузки от главных несущих канатов.

- Замену системы подвески следует проводить при контроле методом замеров вытяжки канатов. При любом ином проектом способе контроля на строительной площадке все-таки чаще всего приходится переходить на способ замера вытяжки. Эту простую истину часто игнорируют при современном проектировании вантовых или висячих мостов малых и средних пролетов. При пролетном строении большой жесткости и относительно небольшом числе вант или несущих канатов метод контроля по усилиям может оказаться вполне работоспособным. Однако при нежестком пролетном строении и с большим числом вант или несущих канатов, что имело место в рассматриваемом случае, контроль по вытяжке оказывается гораздо более простым и безопасным, особенно в развивающихся странах, где геодезические системы контроля более распространены, чем системы, работающие с использованием оборудования для замера давления или напряжений.

- Целесообразно оставлять расстояние между канатами подвесок и их число первоначальным как с



Рис. 16. Новый мост Чиани

позиции эстетики, так и из конструктивных соображений. Увеличение шага подвесок и сокращение их числа меняет статическую схему пролетного строения металлической балки жесткости. Кроме того, использование прядей, применяемых в предварительно напрягаемых конструкциях, в технологии образования главных несущих канатов и вант оказывается более простым и дешевым в производстве; такие системы легче поддаются регулированию и, что намного более важно, их гораздо легче будет заменить в будущем.

Устройство железобетонной плиты проезжей части является во многих случаях простым и эффективным средством усиления пролетного строения при условии, что пилоны и фундаменты имеют достаточные прочностные резервы. Увеличение собственного веса пролетного строения может быть учтено и компенсировано при проектировании новой системы подвески. Это даст возможность, в конечном счете, получить более жесткую конструкцию посредством увеличения усилий в канатах, а также на основе более высо-

кой прочности пролетного строения и большей пластичности его деформаций под действием увеличенной подвижной нагрузки, что характерно для современного автомобильного транспорта.

- Новые седловые опорные части на вершине пилонов можно без труда изготовлять сварными из профильного и листового проката вместо того, чтобы применять трудоемкие и дорогостоящие отливки. ■

Справка журнала SEI

Расход материалов и стоимость объекта

Канаты системы подвески — поставила и смонтировала компания Tensacciai VIA F. Milano, Италия

Стальная проволока прядей, т — 25

Конструкционная сталь, т — 40

Бетон и железобетон, м³ — 50

Полная стоимость, млн евро — 2

Дата ввода в эксплуатацию — апрель 2008 г.