

“СПАСЕНИЕ МОСТА СИДИ РАШИД В АЛЖИРЕ”,

Petrangeli, M. and Pietrantoni, M. (2013)

“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)*”

Спасение моста Сиди Рашид в Алжире



Марко Петрангели (Marco Petrangeli), профессор Университета Данунцио, Пескара, Италия, marco@integer.it



Массимо Пьетрантони (Massimo Pietrantonio), геолог, инженер-строитель, компания Integra, Рим, Италия, geo@integer.it

Впервые опубликовано на английском языке в материалах конференции IABSE «Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructures», Роттердам, Нидерланды, 6–8 мая 2013 г. под названием Rescuing the Sidi Rached Bridge.

Мост Сиди Рашид, построенный в 1907–1912 гг. в городе Константин (Алжир), был запроектирован французскими инженерами Обаном Эро и Полем Сежурне в соответствии со схемой, применявшейся в то время для аналогичных сооружений (примером может служить мост Адольфа в Люк-

сембурге). При длине около 450 м и высоте над дном каньона более 100 м мост Сиди Рашид до сих пор остается жизненно важным для транспортной связи жителей, пересекающих глубокий каньон реки Румель, разрезающей центральную часть города (рис. 1). Кроме этого, мост является особо цен-

ным объектом истории города, во многом благодаря высокой и протяженной конструкции каменной аркады, пересекающей каньон реки Румель. В связи с этим и благодаря еще трем большим мостам, построенным также в начале XX века, город Константин получил поэтическое название «город мостов». Эти мосты, два из которых висячей конструкции и один железобетонный арочный, до сих пор, сто лет спустя после ввода в эксплуатацию, исправно служат, несмотря на повысившиеся временные подвижные нагрузки и возросшую интенсивность движения.

Фундаменты опор моста Сиди Рашид частично лежат на известняковой скале (левый берег), а частично – на геологической формации из аргиллитовых отложений, которые покрывают известняк, залегающий под ними на правом берегу. Территория города Константин находится в аналогичных условиях, которые можно охарактеризовать как источник геологической нестабильности. Неустойчивость склонов каньона отягощается многочисленными протечками в системах городского водоснабжения, а также вырубкой лесов, ранее произраставших

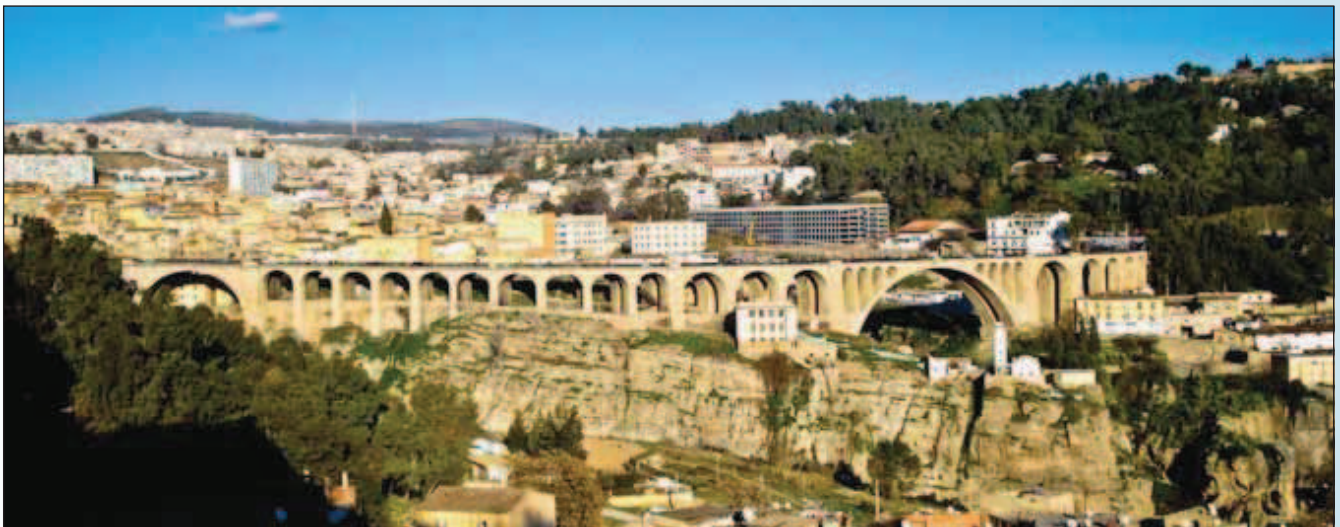


Рис. 1. Мост Сиди Рашид при взгляде с верховой стороны реки (правый берег справа)

на склонах в пределах города, в связи с интенсификацией жилищного строительства вследствие взрывного роста населения.

Первые признаки процесса разрушения конструкций моста Сиди Рашид были отмечены еще в начале 60-х годов прошлого века. И с тех пор неустойчивость правого склона каньона Румель непрерывно прогрессирует. За последние 50 лет некоторые участки поверхности сместились вниз по склону на расстояние более полуметра, и мост, оставаясь на месте вопреки этим смещениям, вызывает удивление. С годами на промежуточных опорах правого берега появились большие трещины, которые, однако, серьезно не повлияли на состояние арок. Это можно объяснить деформативностью высоких промежуточных опор, сооруженных из каменной кладки. Кроме того, положительную роль играет горизонтальная кривая, на которой расположен мост. Она не позволяет конструкции пролетного строения разрушиться, вместо чего происходит некоторое его выпучивание наружу кривой.

Когда в 70-х годах неустойчивость склона достигла своего исторического пикового значения, первую арку, соединяющую устой правого берега с первой промежуточной опорой, пришлось разобрать и заменить буферным сталежелезобетонным балочным пролетным строением, способным поглощать смещения устоя вниз, которые достигли чрезвычайно большой величины (рис. 2 справа). По прошествии нескольких лет деформационные швы по обоим концам буферного пролетного строения были смяты и окончательно закрылись, а устой стал снова давить на остальную часть моста. В 2008 г. ситуация достигла критической, трещины на промежуточных опорах стали раскрываться уже в диапазоне нескольких сантиметров и, что еще хуже,

появились признаки развивающегося обрушения одного из арочных пролетов.

Управление общественных работ города Константин в конце концов решило, что необходимо срочное и серьезное вмешательство. За этим последовали изыскания, обследования и работы по усилению. К моменту публикации настоящей статьи работы не были закончены, и мост последовательно несколько раз закрывали и открывали для движения в зависимости от результатов выполняемых ремонтных операций.

Конструкция моста

Конструкция моста Сиди Рашид представляет собой сооружение из каменной кладки, построенное в виде аркады из 27 арок. Длина наиболее часто встречающегося в схеме пролета составляет около 9 м. Еще четыре арки имеют пролет 16 м, одна арка 30-метровая и, наконец, главная арка, перекрывающая реку Румель, – с пролетом 68 м в свету. Для уменьшения собственного веса пролетного строения арки выполнены не в виде сплошного массива, а состоят из двух параллельных плоскостей толщиной по 4 м каждая, на взаимном расстоянии 4 м. Исходя из размеров арки, каждая промежуточная опора составлена также из двух сужающихся кверху каменных плоскостей прямоугольного поперечного сечения размерами на уровне пяты арок 4×2 м. Высота промежуточных опор варьируется от 10 до 20 м. По верхней плоскости арок установлены поперечные железобетонные балки длиной несколько более 12 м, расставленные вдоль моста с шагом 2 м, на которых устроена плита проезжей части.

Камни, выступающие на лицевой плоскости конструкции, представляют собой очень твердый известняк. Материал заполнения швов состоит из каменной

крошки и раствора. Фундаменты промежуточных опор заглублены в скалу основания, исключение составляют первые четыре опоры правого берега, где скальное основание залегает на глубине от 5 до 15 м ниже поверхности грунта. Конструкции моста не проявляют каких-либо признаков старения, кроме повреждений, которые вызваны неустойчивостью склонов каньона на правом берегу. Интенсивность движения по мосту достаточно высокая, однако автомобили с большой нагрузкой на ось не очень часто проходят по мосту, поскольку он ведет непосредственно к центру города. Климат региона вполне приемлемый, хотя водные ресурсы бедные. Обледенение проезжей части и борьба с ним – довольно редкие события. Несмотря на то, что мост находится в сейсмически активной зоне, со времени его ввода в эксплуатацию сколько-нибудь заметных землетрясений не было зафиксировано ни разу.

Геология и гидрогеология

В каньоне реки Румель залегает известняковая формация, принадлежащая к геологическому домену, называемому «Néritique Constantinois» (этот домен по природе своего образования относится к верхнему меловому периоду). Формация состоит из микритных известняков от серого до беловатого цвета, которые широко встречаются в слоях различной толщины вдоль крутых берегов каньона. В геологическом отношении эта формация известняка образует стены моноклиальной складки, которая уходит вглубь в юго-восточном направлении (в сторону правого берега долины) под небольшим углом 5°.

Структурно несогласованная и надвинутая из иной зоны содержащая глину формация залегает выше известняка на верхнем участке правого берега, начиная от кромки каньона до плато Ман-

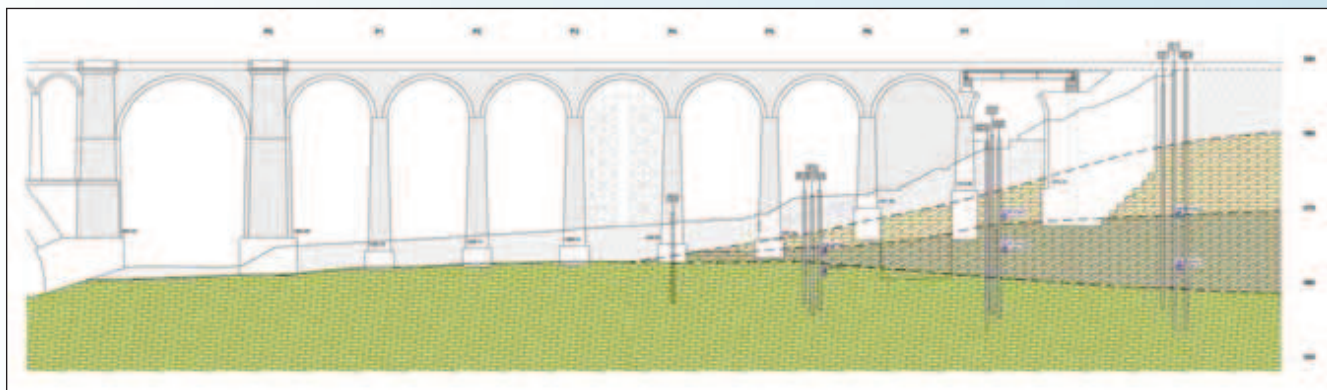


Рис. 2. Геологический разрез правой части моста Сиди Рашид и схемы ремонтных работ (грунтовые анкера, стена между опорами 1 и 2, временные леса для поддержания арки между опорами 4 и 5, демпфирующий пролет между устоем и опорой 1)

сура. Глинистая формация образована аргиллитами, сланцами и мергелями, часто расщепленными и расслоенными. Верхняя часть этой формации подверглась сильному и глубокому выветриванию, и продукт которого превратился в глиноподобный пластичный грунт. Устой правого берега и три ближайших промежуточные опоры заложены в этой содержащей глину формации, а фундаменты остальных опор опираются на известковую скалу (рис. 2). В гидрогеологическом отношении рассматриваемая глинистая формация состоит из мелкозернистых материалов, характеризующихся проницаемостью от низкой до средней. Пьезометрические наблюдения и испытания грунтов, проведенные непосредственно на стройплощадке, показали, что подстилающие известняки обладают в целом более низкой проницаемостью, чем мергели (вследствие меньшей степени растрескивания); они представляют в этой ситуации водоупорный слой для грунтовых вод. Замеренный уровень грунтовых вод расположен вблизи линии контакта слоев известняк/мергели, и в период интенсивных дождей он может подняться достаточно резко.

Первые признаки сползания откоса зафиксированы в отчетах еще тогда, когда мост находился в процессе постройки, однако

строительство не остановили. Было признано, что влияние высокого порового давления в сочетании с малой величиной остаточного угла внутреннего трения в вышележащих слоях глинистого грунта стали главной причиной неустойчивости откоса, именно поэтому вопросы водотока возникли с особой актуальностью сразу после ввода моста в эксплуатацию.

Даже после многолетних исследований и изысканий механизм и геометрия сползания все еще остаются не полностью понятыми. Это обстоятельство частично объясняется недостатком регулярных и планомерных наблюдений, а частично – собственными уникальными параметрами указанного явления. Проведенные изыскания так и не обнаружили основных источников происхождения, в частности, каких-либо особых крутых откосов или трещин, которые могли бы однозначно определить размеры зоны оползня.

Глубина полосы скольжения также остается не вполне определенной, однако инклинометрические измерения, которые на регулярной основе начали проводить только в течение прошлого года, показывают, что толщина массы, находящейся в движении, быстро уменьшается приблизительно от 30 м на участке выше устоя до нескольких метров в районе проме-

жуточных опор 3 и 4. До сих пор не удалось обнаружить прямую зависимость между скоростью движения клинообразного оползня и пьезометрическими уровнями, хотя вместе с тем вполне разумно предположить существование непосредственного влияния этой зависимости на устойчивость склона.

Повреждения и ремонт: краткий обзор

Несмотря на то, что факт неустойчивости склона был известен еще со времени строительства моста, серьезные дефекты конструкции стали заметными лишь в 60-х годах прошлого столетия. Безусловно, сползание склона ускорило в связи со строительством железнодорожной линии всего в нескольких сотнях метров от правого устоя и беспрепятственным проникновением атмосферной воды в трещины склона. Другие факторы также активно действовали этому процессу: спешка при сооружении моста, без сомнения, изменила и без того не совсем устойчивое гидрогеологическое равновесие в этой части города Константин. Но можно предположить, что нестабильность могла существовать в «дремлющем» состоянии еще долго до описываемых событий.

Когда неустойчивость склона стала явной, были предприняты попытки помешать ее дальнейше-



Рис. 3. Разрушение внутреннего пояса арки между опорами 4 и 5



Рис. 4. Широко раскрытые трещины в основании тела промежуточных опор

му развитию в зоне расположения моста, но точные данные относительно их датировки не совсем ясны ввиду недостатка документации. Главной и, возможно, самой успешной попыткой исправить положение была разборка пролета первой арки и замена его буферным балочным пролетом, что дало возможность устоя скользить, при этом не толкая противоположную конструкцию моста. Таким образом, первую арку заменили разрезным сталежелезобетонным пролетным строением, а второй арочный пролет закрыли сплошной стеной, чтобы создать сопротивление давлению справа и принять на себя горизонтальные силы от сползающего склона (рис. 2). Для того чтобы уменьшить перемещение устоя, его переднюю стенку закрепили от смещения вниз с помощью грунтовых анкеров в виде пробуренных в скале скважин и заинъецированных в них анкерных стержней. Кроме того, перед устоем в скале был вырублен дренажный колодец с радиальными дренажными канавами, сбрасывающими воду на один ярус ниже в водоносный слой. Работы по усилению коснулись не только устоя: была повышена устойчивость первых восьми промежуточных опор (четыре оси) устройством железобетонных балок в поперечном сечении

моста, которые соединили фундаменты этих опор снизу, уперев часть торцов балки в прочный известняк. Все перечисленные меры позволили приостановить сползание правого устоя, и в течение около 25 лет он оставался не затронутым потерей устойчивости склона, в то время как окружающие жилые дома продолжали неминуемо разрушаться.

Почему же эти меры не продлили свое действие на более длительный срок? Для ответа на этот вопрос можно указать на несколько факторов, однако главный из них вряд ли кто-либо сможет выделить. Стержни грунтовых анкеров могли полностью проржаветь и утратить свое анкерующее действие; деформационные швы буферного пролета оказались смятыми и закрылись вследствие отсутствия надлежащего ухода, и по этой причине устой возобновил свое давление на конструкцию, располагающуюся слева от буферного пролета; монолитные железобетонные балки, забетонированные между фундаментами первых четырех промежуточных опор, могли потерять устойчивость от большого сжатия и выпучились (что подтвердилось при проведении последующих ремонтных работ). Все эти факторы сыграли свою роль в прекращении временного противодей-

ствия сползанию устоя вниз по склону каньона, когда после периода относительного спокойствия грунт продолжил сползать, обтекая неподвижный в течение этого периода устой.

В 2008 г. верхняя часть арочного пролетного строения стала выпучиваться с большим раскрытием трещин в основании промежуточных опор. Эти повреждения распространились до четвертой арки, вызывая разрушения и сколы в одной из каменных арок. По-прежнему закрытие моста для автомобильного движения было неприемлемым, поскольку мост оставался незаменимым для центральной части города, которая иначе теряла транспортную связь с противоположным берегом каньона реки Румель.

Численное моделирование

Несмотря на то, что теперь, оглядываясь в прошлое (и этому можно только удивляться), кинематика и механика возникновения перечисленных повреждений были совершенно непонятны многим экспертам, которые посещали объект. Крайне мало информации можно было почерпнуть из результатов прошлых обследований, выполненных в 70-х годах. И более того, механическая природа новых повреждений представлялась иной по сравнению с прежней, поскольку

новые, широко раскрытые трещины продолжали развиваться, в то время как старые повреждения стали менее заметными. Было ясно, что причиной этого служит неустойчивость склона каньона, но характер воздействия этого явления на конструкцию был не совсем ясен. Трещины и перемещения стали настолько большими, что было решено проводить топографическую съемку объекта ежемесячно. И эти съемки в будущем оказались чрезвычайно полезными.

Для расчета по методу конечных элементов (рис. 5) была составлена трехмерная модель моста. Чтобы удержать объем перерабатываемой в расчете информации в приемлемых пределах, в состав модели включили только аркаду правого берега и главную арку, перекрывающую реку Румель. Влияние оставшихся 18 арок левого берега моста было учтено введением граничных элементов (аналогия пружин). Первые семь арок, которые подверглись повреждению, моделировали как конструкцию, составленную из кирпичей, оставшуюся аркаду – как балочные элементы. Принимая во внимание необходимость быстрого выявления механизма повреждения, использовали модель, основанную на аналогии с линейно-упругой моделью, с исключением многократно повторяющихся случаев, когда напряжения растяжения в материале модели переходят границу 0,1 МПа, а напряжения сжатия становятся более 8 МПа. Всего понадобилось только три расчета последовательного

приближения, чтобы стала абсолютно понятна кинематика механизмов повреждения. Первые пролеты со стороны рассматриваемого берега расположены на горизонтальной кривой очень малого радиуса (всего 105 м). От толкающего усилия со стороны устоя, а также вследствие устройства в первом от буферного пролета арки сплошной стенки, которая была возведена между стойками первых четырех арок (две оси), верхняя часть пролетного строения потеряла устойчивость от продольного сжатия и выпучилась наружу. При этом возникли очень широкие трещины от изгибающих усилий в основаниях промежуточных опор (рис. 4). Выпучивание пролетного строения в уровне проезжей части составило около 20 см. Раскрытие трещины в основании промежуточных опор достигло 20 мм, что теоретически соответствует кинематике твердого тела. В центре кривой в уровне проезжей части образовался пластический шарнир с разрушением камня с внутренней (низовой) плоскости арки (рис. 3). Все эти натурные наблюдения были подтверждены материалами топографических съемок.

Механизм разрушения

Необходимо установить сценарий возможного разрушения моста, чтобы сохранить мост для движения пешеходов и легкого транспорта на время проведения ремонтных работ. В случае невозможности такого варианта мост должен быть немедленно закрыт

для движения, а жители из близлежащих домов эвакуированы. Но закрытие моста означает полное нарушение связи и повседневной жизни города Константин с его двухмиллионным населением. Однако фактически главная опасность грозит все-таки не пользователям моста, а нескольким сотням проживающих ниже моста и близ него. Переселение этих людей и ограждение всей территории вокруг моста (и все это в самом центре города!) было бы, очевидно, технически трудноосуществимо.

По указанной причине в первую очередь возникла необходимость изучить несколько вариантов возможного разрушения. Хотя поперечный изгиб проезжей части велик, он не может запустить процесс обрушения по принципу эффекта домино. То же можно утверждать и о разрушающейся арке между опорами P4 и P5. Хотя процесс разрушения зашел очень далеко, он был приостановлен возведением временной поддерживающей конструкции в виде сплошных лесов, смонтированных от уровня земли до замка арки (рис. 2). Наихудшим сценарием было бы хрупкое разрушение конструкции, достаточно высокую вероятность чего подтвердили числовые расчеты математической модели и обследования моста. Вероятность поворота нижней части тела опор оказывается настолько высокой, что в этом случае площадь сжатой зоны поперечного сечения стойки становится очень малой и в ней возникают чрезвычайно большие сжимающие



Рис. 5. Математическая модель аркады правого берега и главной арки для расчета по методу конечных элементов

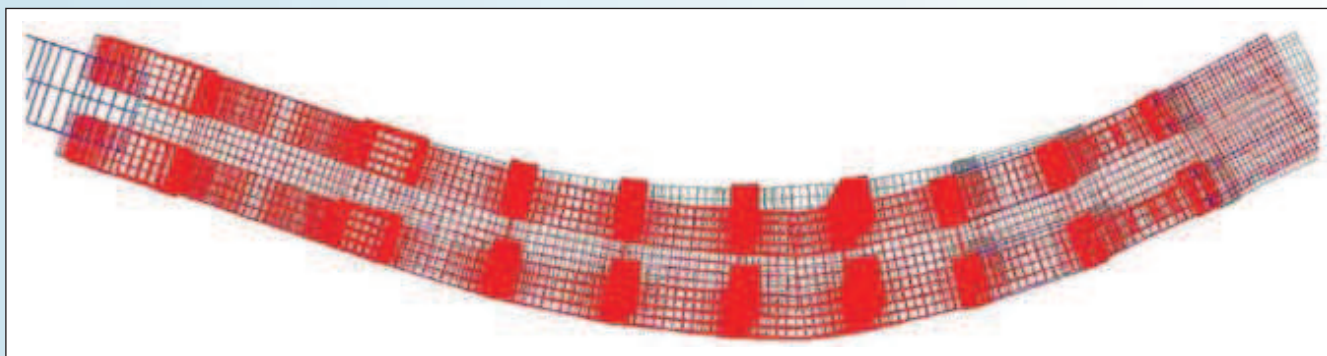


Рис. 6. Модель моста для расчета по методу конечных элементов. Расширенная кинематическая модель деформаций моста

напряжения, близкие по величине к разрушающим, причем всего лишь под нагрузкой от собственного веса. Трещины и сколы, появившиеся в последующие месяцы на четырех промежуточных опорах (рис. 7), возникли в тех местах, где кинематическая модель указывает на возникновение максимального поворота поперечных сечений в основаниях промежуточных опор (рис. 6).

Кинематическая модель: результаты топографической съемки

Учитывая размеры изгибных трещин в основании тела промежуточных опор, было принято решение накапливать информацию высокоточной топографической съемкой моста, проводимой с ме-

сячным интервалом. Этот вид исследования дает возможность зафиксировать положение отдельных элементов на поверхности скальной известняковой породы, находящихся близ моста, и использовать их в качестве реперов для триангуляции и привязки координат маркировочных точек с целью определения параметров смещения конструкции.

Отсчеты при проведении топографической съемки снимали по четырем точкам в углах каждой промежуточной опоры в сечении на уровне основания тела опоры и один отсчет наверху, на уровне пяты арки. Измерения полностью подтвердили результаты расчетов по числовой математической модели. Принимая отсчет в уровне пяты арки за начало координат (рис. 8), было отмечено, что самые большие тангенциальные смещения (вниз по склону) происходили на устое, затем они быстро уменьшались от одной промежуточной опоры к другой по мере того как известняковая плита приближалась к дневной поверхности (т. е. по мере приближения к промежуточной опоре 4, как показано на рис. 2). Радиальные смещения очень высоки на опорах с 3-й по 6-ю, как раз на том участке, где наблюдает-

ся изгиб проезжей части наружу горизонтальной кривой малого радиуса. Вертикальные смещения промежуточной опоры, опертой на известняк, подтвердили предположение о том, что опора качается с вертикальными смещениями, которые пропорциональны радиальным смещениям, умноженным на отношение большей стороны поперечного сечения в основании тела опоры к его меньшей стороне (жесткое качение сечения элемента из каменной кладки).

Временная эволюция этих смещений также весьма интересна. После демонтажа старого буферного пролетного строения (лето 2011 г.) мост стал медленно осаживаться назад, хотя его и сдерживала (теперь в обратную сторону) стена заполнения арки между промежуточными опорами 1 и 2. Постепенно стало наблюдаться незначительное снижение радиального качения во внешнюю сторону горизонтальной кривой, несмотря на то, что тангенциальные смещения (вниз по склону) все еще продолжались в течение осени и зимы 2011–2012 гг. Причина этого явления состояла в том, что оползень сохранял активность, и последовательное разрушение арки между опорами 4 и 5, возможно, все еще продолжалось. Последняя съемка, проведенная летом 2012 г., показала, что возникло небольшое увеличение радиального смещения проезжей части. Вероятно, это тревожное смещение, казавшееся до этого времени уже остановившимся, бы-



Рис. 7. Трещины раскалывания на теле промежуточной опоры

ло вызвано прогрессирующим повреждением сечений в основании промежуточной опоры. Указанное повреждение, по всей видимости, ускорилось неизбежной вибрацией, создаваемой погружением микросвай и бурением скважин под грунтовые анкеры, которые устраивались с целью прикрепить фундаменты промежуточных опор к известняковой скале.

Ремонтные работы

Ремонтные работы разбили на несколько этапов, чтобы провести не только краткосрочное и долгосрочное укрепление конструкции, но и выполнить другие необходимые операции, которые обеспечивали бы сохранение движения по мосту. Имея в виду масштабы оползня, можно утверждать, что быстрого решения проблемы не существует, и поэтому проведение ремонтных работ придется увязывать с продолжительностью периодов стабилизации склона после проведения каждого мероприятия. К сожалению, нет никакой гарантии, что стабилизации удастся достичь, прежде чем мост полностью разрушится. Управление общественных работ города Константин отклонило предложение разобрать несколько крайних пролетов моста и заменить их новой конструкцией, способной противостоять действующему давлению и погасить скольжение части склона вниз или избежать его. Это было смелым решением по соображениям заботы о культурном и историческом наследии, но, с другой стороны, очень рискованным с позиции дальнейшей эксплуатации конструкции.

Аварийные усиления

Первые попытки остановить процесс прогрессирующего разрушения арок состояли в устройстве под ними временных, которые могли бы обеспечить пропуск движения по мосту. Вторая попытка ремонта летом 2011 г. включала де-

монтаж буферного пролетного строения, которое к тому времени совсем заклинило, а новый пролет с новой проезжей частью, поставленный ему на замену, был короче, легче и у него были оставлены повышенные зазоры по торцам, рассчитанные на большие перемещения со стороны устоя (рис. 9).

К сожалению, в течение осени и зимы 2011–2012 гг. скольжение склона достигло нового пикового значения, что потребовало постановки укрепительных конструкций на двух других арках и усиления наиболее поврежденных промежуточных опор металлическими прокатными элементами и поперечного предварительно-

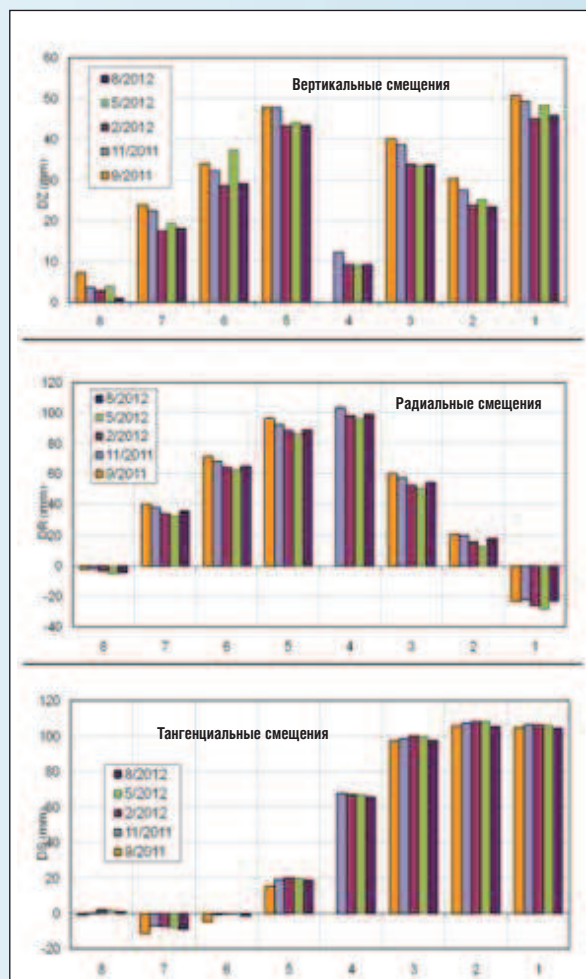


Рис. 8. График смещения промежуточных опор в уровне пяты арки



Рис. 9. Буферный пролет между устоем и промежуточной опорой 1



Рис. 10. Аварийная обстройка для усиления тела опоры прокатным металлом с внешним обжатием

го обжатия с целью предотвращения обрушения этих опор (рис. 10).

Усиление фундаментов

Попытки остановить склон от скольжения вниз постановкой удерживающих сооружений типа подпорных стен, способных поглотить давление, часто оказываются неэффективными, особенно в долгосрочной перспективе, что и случилось с работами, выполненными на мосту в 70-х годах прошлого столетия.

Учитывая скорость скольжения склона, приходилось, пока не поздно, принимать какое-либо решение. Между промежуточными опорами были погружены несколько серий наклонных микросвай и поставлены грунтовые анкеры в попытках остановить скольжение этих фундаментов. Основной недостаток этих работ состоял в вибрации, которая возникала при бурении скважин в известняке для анкеровки микросвай и размещения стержней грунтовых анкеров. Если бы эти попытки были успешными, параллельно с кинематическим отсоединением устоя от остальной конструкции они предотвратили бы дальнейшие деформации моста.

Дренаж и стабилизация склона

Остановка скольжения устоя вниз с помощью грунтовых анкеров, как оказалось, была технически неосуществимой. Устой находится в глинистых грунтах на глубине 15 м, а эти грунты, в свою очередь, скользят по лежащему ниже пласту известняка. В этой части склона стабилизацию можно было бы предположительно обеспечить сочетанием надлежащего дренажа и соответствующей жесткой удерживающей конструкции. Такая конструкция должна состоять из двух котлованов, устроенных с помощью ограждения из буровых свай большого диаметра, погруженных в известняк на достаточную глубину. Эти котлованы должны быть соединены канавой. Подобное сооружение обеспечило бы свободное рабочее пространство для бурения подземных горизонтальных дренажей в глинистых грунтах и, кроме того, оно смогло бы замедлить скольжение склона и в то же время отсоединить верхнюю часть склона от нижней с таким расчетом, чтобы предотвратить движение оползня до упора в остальную часть моста.

Работы по реконструкции

После того как удастся закрепить нестабильный грунт и вследствие этого конструкция моста не будет проявлять каких-либо признаков дальнейших деформаций, потребуется демонтировать разрушенную арку между опорами 4 и 5 и восстановить ее заново. Если к этому времени не будет полной уверенности в эффективности и долговременности стабилизации склона в результате проведенных работ, придется воспользоваться еще одним буферным пролетом, который позволит при будущем этапе скольжения не передавать какие-либо усилия на основную конструкцию моста.

Интересен факт, что на основании числовых расчетов пролетное строение до сих пор выдерживает в уровне плиты проезжей части сжимающее усилие величиной 900 т. И оно

значительно не уменьшилось даже после демонтажа буферного пролетного строения между устоем и промежуточной опорой 1, поскольку стена, заполнившая арку между опорами 1 и 2, препятствует смещению конструкции в обратную сторону. Разборка этой арки и стены будет очень тонкой и деликатной операцией, поскольку при одновременном разгрузении моста он возвратится в свое прежнее положение и выйдет из состояния колебания и раскачивания.

Выводы

Каменные и кирпичные арочные мосты особенно чувствительны к явлениям нестабильности грунтов. Эти конструкции, особенно в том случае, если они являются такой важной частью исторического или архитектурного наследия как мост Сиди Рашид, должны находиться под непрерывным наблюдением с целью своевременного принятия необходимых мер. Нестабильность грунтов и, особенно, большие оползни, затрагивающие различные зоны города Константин, требуют для своего разрешения значительных средств и времени. Сооружения могут оказаться не в состоянии выдержать деформации до того момента, когда удастся остановить сползание и устранить причины, его вызывающие.

Авторы хотели бы с благодарностью отметить ценное сотрудничество с алжирской строительной компанией SAPTA, которая несет главную ответственность за проведение ремонтных работ, а также со всеми техническими сотрудниками DTP (Дирекции общественных работ, Direction Travaux Public) за доверие и открытость, с которыми они помогли нам в этом деликатном деле. Авторы хотели бы также поблагодарить исполнителя SAPTA Рашида Бейяшли (Rashid Bayashly) и директора DTP Аммара Реммаш (Ammar Remmache) за их дружбу, понимание и их личный вклад в проект. ■