

№3, 2000

Восстановление Горбатого мостика Ч. Камерона в Павловском парке

Алексеев С.И., Лапо Л.В.

Горбатый мостик в Павловском парке – совсем нехитрое инженерное сооружение, представляющее собой круглую кирпичную арку, облицованную ноздреватым туфом и перекинутую через небольшую протоку. Но этот мостик, построенный по замыслу Ч. Камерона, является одной из тех частиц, которые создают особое очарование Павловского парка. Место для возведения Горбатого мостика было выбрано в излучине реки Славянки, где Чарльз Камерон создал уголок парка в романтическом стиле. Серебристые ивы некогда спускали свои шелковистые ветви в тихую воду широкой реки. Через небольшую плотину, сложенную из кусков необработанного камня, переливалась вода, образуя каскад, и малым ручейком бежала под Каменным мостиком.

Необходимо уточнить, что протока, через которую перекинут мостик – не рукав, а естественное первоначальное русло реки Славянки. В 80-х годах XVIII века русло изменили, создав искусственный водоем с островом, а старое русло частично засыпали, превратив в узкую протоку. Уровень зеркала разлива поддерживали две плотины – под Черным и перед Горбатым мостиком.

Для облицовки мостика с плотиной Ч. Камерон использовал известняковый туф, пористый и ноздреватый, как бы изъеденный временем (рис.1).



Рис.1. Общий вид Горбатого мостика по фотографии 1914 г.

Мост не пострадал даже в годы Великой Отечественной войны. Его состояние до 1965 года оставалось удовлетворительным. В 70-е годы было отмечено начало прогрессирующего разрушения памятника. Появились трещины в основаниях кирпичной арки и шельге свода, туф отошел, возникли трещины, вывалы кирпичей, обрушение камней облицовки. При обследовании 1998 г. были выдвинуты следующие версии, объясняющие начало разрушения:

- оползание левого берега;

- производство работ при капитальном ремонте Черного моста в 1973 году;
- разрушение кладки корнями дерева, которое выросло на левом устое.

При детальном обследовании мостика были установлены следующие интересные детали. В архивных описях традиционно камни известнякового туфа назывались облицовочными. Но это не совсем так. Уникальность камероновского каменного мостика в том, что облицовочные камни органично своей массой входят в кирпичную кладку на глубину до 1,0 м. Кладка кирпичей велась одновременно с укладкой этих рваных туфовых камней между рядами кирпича, т.е. конструктивно они работают вместе. Камни облицовки имеют дополнительные крепления в виде анкеров из кованых полос железа длиной 70-250 см. Центральные замковые камни соединены анкерами между собой, а остальные камни просто закреплены в кладке свода. Нижние ряды кирпичной арки выполнены на известково-песчаном растворе с включениями кусочков древесного угля. Такой же раствор был позднее использован художником Гонзаго в 1805 году для оштукатуривания стены Галереи Павловского дворца в зоне наибольшего намокания, у цоколя. Считалось, что такой состав в какой-то мере противодействует разрушительному воздействию влаги. Арка моста опирается на широкую платформу из плит путиловского известняка, которая в свою очередь, уложена на клеть из бревен и лаг (рис.2). Бревна Ø 300 мм уложены через 1,0 м, лаги сечением 250x100 мм врезаны в бревна также с шагом 1,0 м. Между бревнами плотно торцом вбиты известняковые плиты. Вся деревянная конструкция погружена в слой голубой глины. Под бревнами начинается материковый грунт. Древесина бревен левого устоя поражена гнилью, частично разрушена, а в правом устое, защищенном глиняным замком, бревна и лаги замечательно сохранились. Одним из основных факторов разрушения мостика можно назвать внедрение корней дерева в каменную кладку левого устоя. Это дерево заметно уже на фотографии 1914 г. (рис. 1). В результате данного воздействия был разрушен глиняный замок, выполненный для гидроизоляции внешней стороны левого устоя. Второй фактор разрушения является следствием первого, а именно: достаточно сильный поток грунтовых вод устремился сквозь разрушенную гидроизоляцию и начал вымывать раствор из швов кирпичной кладки. Третий разрушающий фактор был допущен при строительстве Черного моста в 1973 г. По проекту производства работ по реконструкции моста котлован был отгорожен шпунтовой стенкой, а воду из современного русла реки Славянки было решено спустить через рукав под Горбатым мостиком. Можно представить, как бурный поток воды устремился под мостик и начал размывать опорные части кирпичного свода. Четвертый фактором стало оползание левого берега (факт, засвидетельствованный актом комиссии КГИОП в 1978 году), которое стало оказывать дополнительное сдвигающее воздействие на подпорные стенки и левый устой моста. Далее разрушение пошло быстро. В результате к 1999 г. мостик получил существенные деформации. В связи с создавшимся аварийным состоянием КГИОП принял решение о воссоздании мостика. На основании тщательного анализа архивных материалов и обследования сохранившихся элементов архитектурного убранства мостика был разработан архитектурно-реставрационный проект его восстановления, в наибольшей степени соответствующий его первоначальному облику (рис.3).

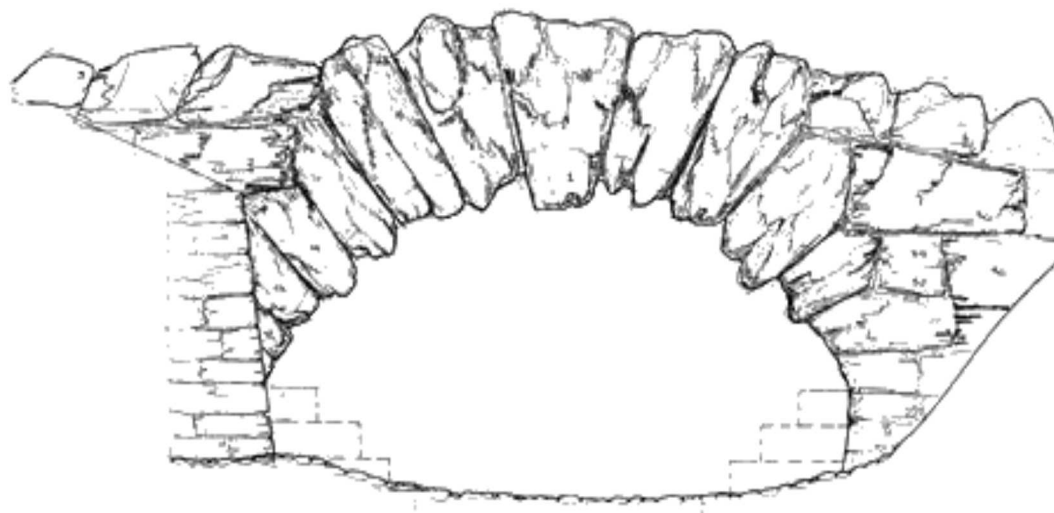


Рис.3. Проектное решение по восстановлению первоначального облика Горбатого мостика

Восстановление моста предполагает использование всех сохранившихся камней облицовки из туфа, а также известняка устоев и подпорной стенки. Пронумерованные камни облицовки классифицировались по размерам, качеству и материалу. В проекте воссоздания геометрическое очертание моста было выбрано согласно обмерочным чертежам фирмы “Ленводпроизводство” (1946 г), где четко представлены пролет, радиус свода, ширина проезжей части моста. Пролет на уровне пят кирпичного свода составляет 4,60 м; радиус кирпичного свода – 2,40 м; ширина пешеходной части моста – 2,25 м. В качестве исходных данных при разработке проекта восстановления моста использовались материалы довоенного обследования моста в 1940 г.; последующих обследований моста в 1944, 1946, 1975, 1978, 1998 гг.; фотофиксаций 1914, 1940, 1941, 1948, 1975, 1978, 1998, 1999 гг. В соответствии с напластованиями и физико-механическими характеристиками грунтов площадки строительства (по данным обследования НПФ “Геореконструкция”) в основании реконструируемых фундаментов устоев моста залегает мягкопластичная супесь. В целях повышения несущей способности и исключения пучинистости основания под фундаментами моста устраивается гравийная подушка толщиной 0,6 м. Подошва фундаментов моста имеет глубину заложения, равную 1,2 м от дна русла реки. Под подошвой фундамента и гравийной подготовкой расположен слой тугопластичной супеси. Размеры фундамента опоры моста в плане составляют 2,5х3,5 м. Одновременно с фундаментами моста устраиваются левобережные подпорные стены, поддерживающие откосы грунта, примыкающие к опорам моста. Фундаменты для подпорных стен выполняются монолитными, с размерами в плане 1,1х1,9 м (1,0х1,8). Основанием также служит гравийная подушка толщиной 0,6 м и слой тугопластичной супеси. Восстановление несущей арки моста в кирпично-железобетонном варианте обладает главным достоинством – увеличением долговечности конструкции и повышением ее надежности. В этом случае нижняя поверхность арочного свода выполняется из одного слоя кирпича (тычковый ряд чередуется с ложковым), а верхний слой заменяется на железобетонную конструкцию. Такая арка в шельге будет иметь толщину 450 мм (250 мм – слой кирпича и 200 мм – слой железобетона). В месте опоры арки на фундамент ее общая толщина составляет 1000 мм (250 мм – слой кирпича и 750 мм – слой железобетона). Кладка арки моста выполняется из полнотелых кирпичей марки 150 на цементно-песчаном растворе М100 по специально устраиваемой кружальной опалубке. Кирпичи устанавливаются в опалубке в виде “веера” с заполнением швов раствором, межкирпичное пространство заполняется бетонной смесью с уплотнением при создании верхней железобетонной части арки. При производстве работ используются кирпичи старой кладки при условии контроля их прочности и размеров.

Железобетонная часть арки армируется конструктивно двумя сетками с продольной арматурой $\text{A} \text{E} 12 \text{ A III}$ и раскрепляется поперечными стержнями $\text{A} \text{E} 6 \text{ A I}$, устанавливаемыми по месту. При бетонировании используется бетон класса В45, W8, который позволяет создавать прочную и водонепроницаемую конструкцию (рис.4).

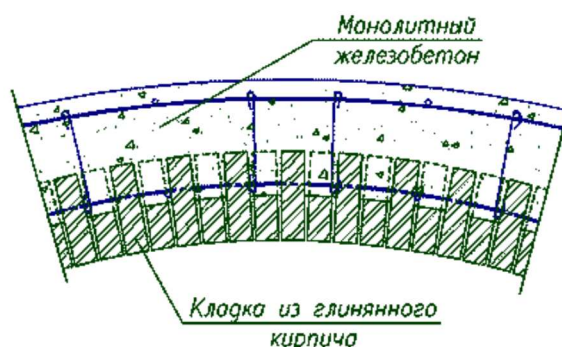


Рис. 4. Схема конструктивного решения по устройству смешанной кирпично-железобетонной арки моста

Предусматривается следующий тип крепления камней туфа к смешанной кирпично-

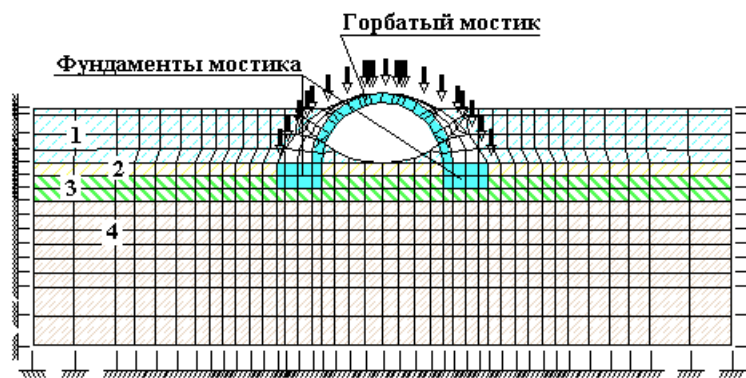
железобетонной арке моста: 1. Камни известнякового туфа готовятся в соответствии со спецификацией и маркировочной схемой, выполненной при разборке моста. Утерянные камни должны быть восстановлены в соответствии с первоначальным обликом моста. 2. Поверхности камней, соприкасающиеся с кирпичной кладкой, должны быть или выровнены и тщательно подогнаны к кладке, или имеющимися уширениями органически входить в тело кирпичной кладки и монолитную конструкцию железобетонной арки моста. 3. Камни туфа укладываются одновременно с кирпичной кладкой арки моста и установкой арматуры в ее монолитной части. Укладка производится с двух сторон от опор и образуют отдельную самонесущую арку. 4. Установка камней туфа производится с использованием цементно-песчаного раствора с одновременной установкой анкеров крепления (круглая арматурная нержавеющая сталь).

5. Крепление камней туфа между собой и с анкерами выполняется с использованием пиронов ($A_6 10, l=100$), которые вставляются на растворе в предварительно просверленные отверстия. Пироны выполняются из нержавеющей стали или из цветного металла (ланунь, бронза). Металлические анкера одним концом одеваются на пироны, а другим заводятся в тело арки, и до бетонирования удерживаются в горизонтальном положении с привязкой к основной арматуре железобетонной части арки. Для камней туфа с уширениями дополнительно просверливаются отверстия для пропуска через них арматурных стержней нижнего ряда сетки.

6. При бетонировании арочной конструкции моста облицовочные камни туфа, закрепленные анкерами на боковой поверхности арки, играют роль боковой опалубки, что позволяет использовать свойства поверхностей рваных камней туфа, увеличивая тем самым сцепление камней с бетонной составляющей моста. 7. Еще до бетонирования после выполнения кладки арки из туфовых камней, каждый кусок известнякового туфа будет соединен с аркой в четырех точках. Исключение составляет лишь последний – замковый камень, который крепится за счет сил трения и индивидуально анкеруется с железобетонной частью арки удлиненными анкерами размером 2750 мм. 8. Для крепления камней туфа за пределами арочной конструкции, расположенных ниже поверхности грунта, используются горизонтальные связи, представляющие собой полосовые анкера из нержавеющей стали, длиной 1,7 м. Анкеры в правой и левой частях моста крепятся посредством пиронов с камнями туфа, а в середине проезжей части моста соединяются между собой аргоновой сваркой с длиной шва не менее 150 мм. Проведение реконструкции Горбатого мостика сопровождалось математическим моделированием условий работы сооружения с учетом следующих факторов:

- возможных осадок фундаментов мостика;
- внутренних усилий в конструкциях мостика от внешних нагрузок, веса конструкций мостика, каменной облицовки и обратной засыпки, а также возможных неравномерных осадок фундаментов;
- устойчивости природного откоса и эффективности проектируемых мероприятий по устройству подпорной стенки.

Учитывая сложную геометрию расчетной схемы, возможность работы грунта в береговых откосах за пределами линейной стадии, расчеты выполнялись методом конечных элементов с использованием программного комплекса "Геомеханика".



На первом этапе расчетов выполнялось определение подвижек фундаментов Горбатого мостика при различных способах выполнения несущих конструкций мостика и различных формах его нагружения.

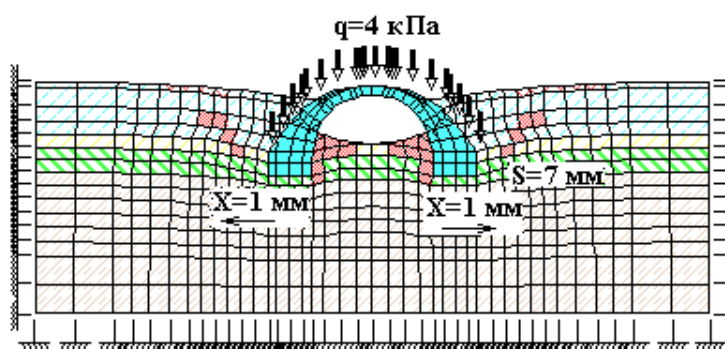


Рис. 5. Деформированная схема к задаче об определении осадок фундаментов Горбатого мостика при симметричном нагружении полезной нагрузкой

В последующих расчетах моделировалась переменная толщина несущих железобетонных конструкций мостика с увеличением толщины поперечного сечения к опорам (рис. 5) от 40 см в шельге до 100 см у опоры. Как показывают расчеты, расчетные перемещения фундаментов в случае постоянного и переменного сечения несущих железобетонных конструкций одинаковы. Таким образом, постоянная высота сечения несущих железобетонных конструкций моста, равная 40 см, достаточна для обеспечения жесткости системы "основание-конструкция моста". Вторая серия расчетов была выполнена для оценки устойчивости природного откоса и эффективности проектируемых мероприятий по устройству подпорной стенки. Устройство подпорной стенки с принятыми проектными размерами позволяет предотвратить поверхностные оползневые процессы. При этом грунт находится в предельном состоянии непосредственно в примыкании к подпорной стенке. Расчетное горизонтальное смещение стенки от бокового давления грунта составляет 1,5 см, т.е. находится в пределах допустимых значений. В 2000 г. начались строительные работы, которые позволят воссоздать уникальный памятник архитектуры 18 века в соответствии с первоначальным замыслом Ч. Камерона.