

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов

УДК 351.811.112

DOI 10.17816/transsyst20217330-55

© **Г. А. Аверченко, В. А. Борисов, К. А. Васильев**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
(Санкт-Петербург, Россия)

## КАПИТАЛЬНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАССИВНЫХ ОПОР МОСТОВ

Объектом исследования в данной статье являются способы восстановления массивных опор мостов, в зависимости от характера и объема разрушения. Работа выполнена на основе анализа публикаций отечественных и зарубежных ученых, методом теоретического изучения, анализа и обобщения материала. В организационном отношении мелкие работы по ремонту опор могут быть выполнены распоряжением самих дорог, что же касается крупных работ, то они резко различаются от работ по временному восстановлению. Ремонт поврежденных опор с расстроенной части кладки мало отличается от ремонта и усиления опор, производимого на существующих мостах. Наибольшие трудности представит ремонт опор в подводной части. Для производства работ на каждом отдельно взятом объекте ремонта, необходимы организации, обладающие большой мобильностью, квалифицированной рабочей силой и достаточным запасом материалов.

**Ключевые слова:** опоры мостов, кладка, инженерные сооружения, разлопатки, драни, бык, ряжевое основание, шпренгель, ряж, шпальные клетки.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Design and Construction of Roads, Subways

© **G. A. Averchenko, V. A. Borisov, K. A. Vasilev**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
(St. Petersburg, Russia)

## MAJOR RESTORATION OF MASSIVE BRIDGE SUPPORTS

The object of research in this article is the methods of restoring massive bridge supports, depending on the nature and volume of destruction. The work is based on the analysis of publications of domestic and foreign scientists, by the method of theoretical study, analysis and generalization of the material. From an organizational point of view, minor work on the repair of supports can be carried out by the order of the roads themselves, but as for large-scale work, they are sharply different from work on temporary restoration. The repair of damaged supports from a broken part of the masonry is not much different from the repair and reinforcement of supports performed on existing bridges. The greatest difficulties will be the repair of supports in the underwater part. To work on each individual repair facility, organizations with high mobility, skilled labor and a sufficient supply of materials are needed.

**Key words:** bridge supports, masonry, engineering structures, raz shovels, drani, bull, ryazhevoe base, sprengel, row, sleeper cages.

## ВВЕДЕНИЕ

В период Великой отечественной войны мосты на железных дорогах подвергаются значительным разрушениям. Эти разрушения распространяются не только на пролетные строения, но и на опоры мостов.

Повреждения и разрушения опор требуют трудоемких работ по их восстановлению, поэтому они подвергаются особенно серьезным разрушениям.

Разрушения и повреждения опор мостов разнообразны по характеру и глубине их распространения. Этот характер повреждений опор зависит от степени воздействия на них средств разрушения, а также от повторности разрушения.

Разрушения в опорах мостов, подвергшихся воздушным налетам, в результате взрыва авиабомб около опор обычно не настолько серьезны и их можно отнести к поверхностным и местным повреждениям по боковой поверхности кладки без образования глубоких трещин.

К серьезным повреждениям можно отнести разрушения, вызванные взрывом авиабомб большой взрывной силы непосредственно на опоре или рядом с опорой.

Большая часть мостов с серьезными повреждениями расположена в тыловых районах, и их капитальное восстановление сводится к ремонту опор обычно средствами и материалами соответствующих организаций НКПС и во время войны.

Довольно большая группа мостов подвергалась и подвергается разрушениям отступающим противником, и, как практика войны показывает, эти разрушения, вызванные неоднократными и повторными взрывами той или иной стороной, являются довольно серьезными и распространяются не только в надводной части, но и в подводной части с образованием глубоких трещин в теле опор мостов.

При восстановлении мостов на старой оси опоры мостов очень часто используются как основание для соответствующей надстройки из рам деревянных или металлических, или для шпальных клеток или ряжей.

При загромождении русла обломками пролетных строений и опор в ряде случаев восстановление мостов является настолько трудоемким и по объему и по времени, что восстановление мостов производится на новой оси, а поврежденные или разрушенные опоры подвергаются дальнейшим разрушениям в результате воздействия на них воды и других вредных факторов.

Кроме этой группы мостов, восстановление которых затруднительно в военное время ввиду серьезных разрушений, имеется значительная

группа мостов, поврежденных или разрушенных при вынужденном отходе наших войск в первое время войны и не восстановленных противником ввиду их расположения на второстепенных направлениях. Кроме повреждений, вызванных взрывом, опоры имеют разрушения, вызванные различными вредными факторами. Обломки кладки опор в результате действия воды заилены, и восстановление таких опор требует серьезных мер и специальных методов работы.

Особенно это относится к опорам, разрушение которых вызвано в минных камерах. В результате взрыва в таких камерах, кроме общих повреждений, ниже камеры на значительную глубину распространяются образовавшиеся трещины. Эти трещины, распространенные в подводной части, в результате воздействия воды в дальнейшем имели тенденцию к углублению и расширению [1].

Такие опоры требуют предварительного и тщательного осмотра и анализа целесообразности восстановления их по сравнению с устройством новой опоры.

При капитальном восстановлении моста на старой оси необходимо в каждом случае решить целесообразность восстановления разрушенной опоры, учитывая трудоемкие способы их ремонта, особенно разборки старой кладки как в подводной, так и в надводной части. В реках с судоходными пролетами при восстановлении мостов на старой оси для сохранения необходимых судоходных пролетов придется капитально восстанавливать опоры, разрушенные как в надводной, так и в подводной части.

На поймах или на реках с малой глубиной возможно произвести восстановление мостов с устройством новых опор при малых пролетах, что в ряде случаев может быть экономично.

На значительной части мостов восстановление опор возможно путем разборки старой кладки и устройства новой кладки. Такие работы должны быть произведены в мостах, ранее временно восстановленных, при нормальном или ограниченном движении и без перерыва такового.

При восстановлении опор мостов, использованных как основание для разного рода надстроек, во избежание значительных работ по устройству временных опор и перестановки пролетных строений на эти опоры, лучше произвести новую кладку без снятия надстройки [2].

При восстановлении опор таких мостов, а также опор мостов, временно ранее не восстановленных, новую кладку рекомендуется применять из бетона или бутобетона.

Кладка опоры из отдельных бетонных блоков, изготовленных на стройдворах, для высоких массивных опор требует специального оборудования для транспортирования их с берега на опоры и подъемки их ввиду их значительного веса в 2–3 т. Бетонирование опор в опалубке имеет

ряд преимуществ перед кладкой из отдельных блоков ввиду простоты транспортировки бетона: при помощи кабель-крана, баржами и подъемниками. При ремонте опор, которые были использованы при временном восстановлении, кладка из блоков также неудобна, так как требует снятия надстройки и перестановки пролетного строения с опор на новые временные опоры, устройство которых не всегда удобно ввиду значительных загромождений русла вокруг опоры каменными обломками.

Повреждения разрушения опор мостов могут быть сведены к следующим:

- 1) повреждения подферменников или подферменной площадки;
- 2) повреждения шкафной части устоя;
- 3) повреждения крыльев устоя;
- 4) повреждения облицовки опоры или ледорезной части как в надводной, так и в подводной части опоры;
- 5) разрушение надводной части кладки опоры;
- 6) разрушение опоры с повреждением подводной части кладки опоры;
- 7) повреждение кладки (трещины, крены, сдвиги) вследствие взрыва авиабомб или сброса с опоры пролетного строения.

Повреждения и разрушения опор по их способам локализации могут быть сведены к повреждениям мелкого характера, которые могут быть выполнены местными средствами и строительными организациями дорог НКПС и к более серьезным, ремонт которых может быть выполнен специальными ремонтными группами мостопоездов Мостотреста НКПС.

Исправление повреждений в подферменниках или железобетонных подферменных площадках, в крыльях устоев и шкафной части, а также повреждения облицовки и ледорезной части могут быть отнесены к мелкому ремонту [3].

К более серьезным повреждениям, исправление которых требует специальных приемов и оборудования, относятся все повреждения и разрушения опор, сопровождаемые трещинами в кладке опор и отколами части кладки.

Эти работы по ремонту могут быть выполнены при помощи цементации и торкретирования, а также при помощи устройства железобетонных поясов и оболочек; в подводной части ремонт повреждений может быть выполнен при помощи каркасных перемычек, подводного бетонирования и в крайнем случае при помощи съёмных кессонов, применение которых всегда сопряжено со значительными неудобствами, особенно в связи с необходимостью разборки старой кладки ручными способами. При наличии хорошего грунта и при отсутствии каменных обломков ввиду простоты забивки шпунта деревянного или металлического ремонт повреждений в подводной части может быть произведен открытым способом.

## МЕЛКИЙ РЕМОНТ ОПОР

Ремонт и смена подферменников и подферменной железобетонной площадки. Повреждение подферменников или подферменной железобетонной площадки может быть в результате взрыва авиабомб на опоре.

Трещины или сколы в подферменных камнях вне пределов распространения давления не представляют никакой опасности и лишь требуют мероприятий, обеспечивающих соответствующий отвод воды. Для этого сколы подферменников покрываются цементной штукатуркой. При незначительных повреждениях в подферменниках можно ограничиться постановкой хомутов.

Подферменные камни со значительными сколами и трещинами должны быть сменены. В мостах с нормальным или временным движением поездов смена подферменников производится после того, как окончены все работы подготовительного характера [4].

Под опорной поперечной балкой или под фермами на площадке устанавливаются клетки из бревен или брусьев или металлических балок. Подъемка ферм и их опускание на клетки производится одновременно для обеих ферм, независимо от того, сколько подферменников сменяется. Верхние и, по возможности, нижние балансиры опорных частей подвешиваются хомутами к фермам. После подъемки ферм катки и нижние подушки опорных частей вынимаются, а подферменники удаляются, после чего производится постановка новых подферменников (при здоровом верхе опоры) из естественного камня, лучше из железобетона, а при повреждении кладки верха опоры производится устройство новой, железобетонной подферменной площадки.

Устройство новой железобетонной площадки особенно желательно для опор, подвергшихся сотрясению от взрыва авиабомб и возможного наличия в них необнаруженных волосных трещин, вследствие способности железобетонной подушки к равномерной передаче нагрузки на опору. Устройство такой площадки необходимо и в случае повреждения с разрывом арматуры старой железобетонной подферменной площадки.

В устоях поврежденные подферменные площадки заменяются новыми. Одновременно при повреждении стенки шкафа необходимо устроить и железобетонную стенку, которая обеспечит прочность шкафа и предохранит от атмосферных воздействий шкафную часть устоя.

**Ремонт крыльев устоя.** Поврежденные железобетонные крылья устоев со сколом и разрывом арматуры должны быть полностью заменены новыми, для чего необходимо произвести разборку кладки и арматуры до заделки арматуры в тело устоя и произвести тщательную зачистку поверхности кладки. Новую арматуру устанавливать с частичной заделкой

ее в старую кладку на достаточную глубину и произвести бетонировку. На время производства работ по ремонту крыльев под путь подводятся пакеты из рельсов или балок с минимальной строительной высотой таких пролетных строений. Они одним концом опираются на переднюю стенку устоя, а другим на временную опору вне пределов будущего котлована. Котлован удобнее устраивать в виде поперечной прорези земляного полотна с упором распорок крепления ее стенки в переднюю стенку устоя.

**Перекладка облицовки опор.** Перекладку облицовки опор необходимо произвести, если она разрушена или расстроена. Ледорезные камни при значительных сколах, а также, если состояние ледореза и облицовки, особенно в части, где опора омывается водой, внушает опасение, также должны быть заменены новыми.

Работы по перекладке облицовки и ледореза производить в сухом ограждении, что можно обеспечить устройством шпунтового ограждения.

При невозможности устройства шпунтового ограждения перекладку расстроившихся ледорезных камней, а также смену облицовочных камней опор около горизонта меженной воды удобно производить в зимнее время в тепляках.

Сухое ограждение возможно обеспечить при помощи выморозки и последовательного выкалывания льда вокруг ледореза. Вырубку льда производить на небольшую толщину, чтобы не дать пробиться воде, которая может затопить выморозку. Процесс выморозки длительный и возможен в районах с холодной зимой [5].

При повреждениях бетонной облицовки или расстройстве каменной облицовки производится укрепление ее при помощи бетонирования по металлической сетке.

Это бетонирование лучше производить посредством торкретирования.

## РЕМОНТ КЛАДКИ ТЕЛА ОПОР

Трещины в теле каменных и бетонных опор могут быть вследствие подрывания опоры, сотрясения опор при воздушной бомбардировке моста, в арочных мостах вследствие взрыва арки.

При обнаружении трещин необходимо выяснить их характер и распространение. Трещины могут быть поверхностные только в облицовке или же проникать и вглубь кладки.

Необходимо выяснить наличие трещин также и в подводной части опоры, нет ли откола части кладки, нет ли сдвига массива опоры при наличии горизонтальных сквозных трещин, каково состояние основания опоры.

При незначительных трещинах, не сопровождаемых сдвигом или отколом части кладки, восстановление опор производится нагнетанием в трещину под давлением цементного раствора, а при расстроившейся поверхности кладки и торкретированием ее поверхности.

При трещинах, сопровождаемых отколом, но распространенных в верхней части опоры, следует или снять поврежденную кладку и заменить ее новой кладкой или же укрепить ее постановкой железобетонных поясов или оболочек с одновременным нагнетанием цементного раствора.

Таким же образом без разборки опоры ремонтируется кладка в нижней подводной части опоры, если трещины не дают полного откола верхней части опоры от нижней по плоскости со значительным наклоном, по которой могло бы произойти сползание.

При наличии сдвига верхней части опоры по горизонтальной или слабо наклонной трещине в зависимости от величины сдвига и расположения по высоте восстановление опоры может быть осуществлено либо снятием всей сдвигающей части опоры путем подрывания кладки, либо постановкой мощной железобетонной оболочки с инъекцией раствора в кладку [6].

Если кладка потревожена и в подводной части опоры, то ее укрепление можно произвести применением шпунтовых стенок в виде опалубки с расстоянием стенки от кладки в 50 см с заполнением промежутка бетоном.

В арочных мостах наиболее серьезным повреждением опоры является кран ее вследствие поворота основания, что будет иметь место при значительном одностороннем распоре. Подобное разрушение сопровождается обычно глубокими трещинами в теле опоры, что ведет к довольно сложным работам по переустройству моста.

При взрыве надводной части опоры восстановление ее производится путем бетонирования в специальных деревянных или металлических разборных формах, либо выравниванием верха разрушенной опоры с постановкой металлических или железобетонных опор.

В случае разрушения не только надводной, но и подводной кладки опор восстановление можно производить либо бетонировкой опор, под защитой шпунтовой перемычки, если есть возможность произвести забивку шпунта, либо при помощи каркасных перемычек или подводного бетонирования в опалубке или в крайнем случае при значительной глубине при помощи съемного кессона, деревянного или металлического.

**Цементация.** Цементация или пропитка – способ укрепления кладки массивных опор путем введения в нее под давлением цементного раствора, обладает значительными достоинствами и способностью заполнять все поры и связывать отдельные части кладки, придавая им монолитность, прочность и водонепроницаемость. Этот метод усиления поврежденных

опор заключается в том, что через серию отверстий, пробиваемых в кладке в местах трещин и вделываемых и замазываемых в них коротких отрезков труб, в сооружение вводится под давлением 5 – 10 ат цементный раствор [7].

При наличии волосных трещин употребляется цементное молоко, при крупных трещинах применяется раствор. В зависимости от срока до сдачи сооружения в эксплуатацию можно применять обычный или быстрохватывающий цемент.

Для производства инъекции раствора в кладку применяются: 1) ручные и механизированные насосы и 2) нагнетательные приборы пневматического действия, работающие от компрессорной установки.

К ручным насосам относится насос СССМ-046.

При ведении малых работ по цементации ручные насосы особенно удобны, легки и просты в употреблении и не требуют специальных приспособлений и оборудования.

К более тяжелым нагнетателям относятся насосы системы ВСН 100/150, ВСК 130/200 и РН – 1 производительностью соответственно 3 м<sup>3</sup>/ч – 5 м<sup>3</sup>/ч и 6 м<sup>3</sup>/ч.

Может быть рекомендована для работ по цементации и переконструированная цемент-пушка. При помощи нее можно одновременно нагнетать раствор в несколько скважин.

При цементации не рекомендуется одновременно производить цементацию и бурение скважины на одной и той же опоре во избежание передачи сотрясения на раствор кладки, подвергшейся цементации.

**Торкретирование.** При повреждениях как внутри кладки, так и, особенно, на поверхности опоры с отделением облицовки или частичного повреждения бетонной или каменной поверхности кладки наряду с цементацией применяется торкретирование, покрытие которого обладает высоким механическим сопротивлением сжатию и растяжению, повышенным сопротивлением, химическим и атмосферным воздействием, повышенной прочностью и водонепроницаемостью. Торкретное покрытие может быть армировано металлической сеткой, что значительно повысит прочность такого усиления.

Для нанесения торкретного покрытия применяются компрессор с давлением в 4–5 атмосфер, цемент-пушка, водяной бак, воздухоочиститель и сопло, которые соединяются между собой штангами.

При толщине торкретного покрытия больше 20–25 см торкрет наносится несколькими слоями, толщина которого 10–15 мм.

Первый цементный слой в торкретном покрытии имеет особо важное значение, так как он обеспечивает прочное сцепление с телом опоры, а поэтому перед нанесением торкрета поверхность смачивается. Нанесение

следующего слоя может производиться лишь после полного схватывания предыдущего слоя, время которого определяется лабораторным способом.

Во время нанесения торкретного покрытия при солнечной или ветровой погоде необходимо место работ защитить устройством брезентного навеса. После нанесения каждого слоя торкрета его поверхность должна поддерживаться во влажном состоянии.

**Устройство железобетонных поясов.** При наличии трещин, указывающих на раскалывание опоры, устраиваются железобетонные пояса (кольца) (Рис. 1).

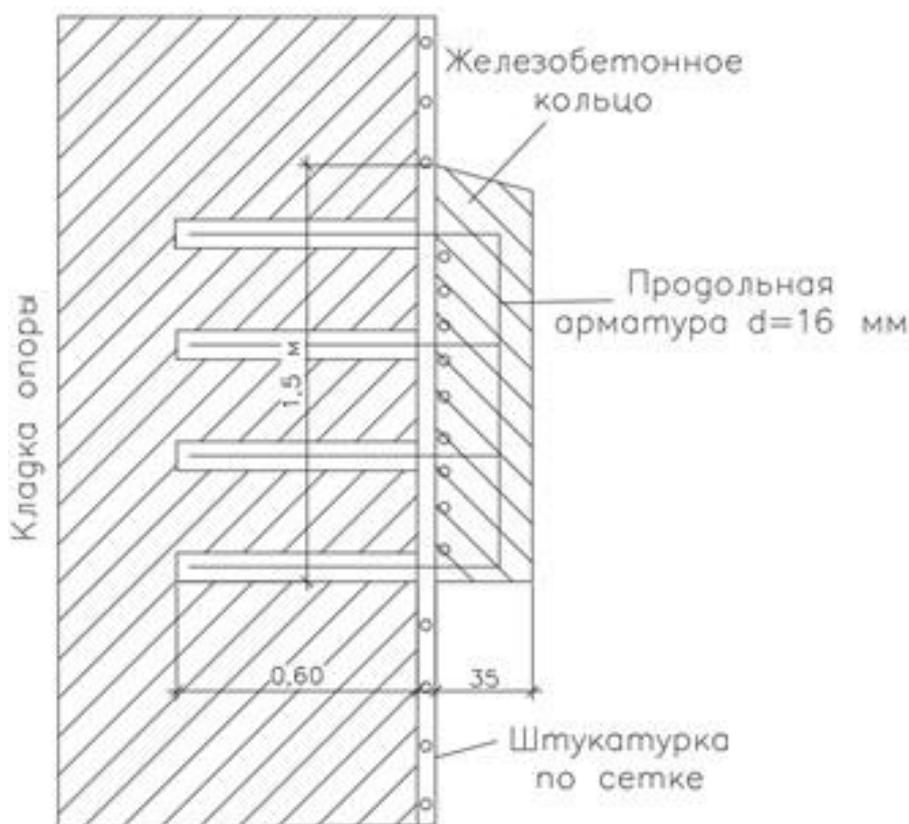


Рис. 1. Поперечный разрез железобетонного кольца

Железобетонный пояс представляет собой полосу, обхватывающую бык кругом, а устои по наружному очертанию его с трех сторон. На расстоянии друг от друга на высоте в 2–3 м устраиваются пояса из железобетона шириной в 1,5 м.

В качестве арматуры можно применять полосовое железо или уголковое железо от старых ферм или же из круглых стержней  $d=10-16$  мм.

Толщина пояса обычно принимается от 20 до 40 см в зависимости от рода арматуры. Для связи поясов с кладкой через тело быков пробиваются камеры, через которые пропускаются болты или же на глубину 0,5–0,6 м заделываются штыри  $d=20$  мм, связываемые с арматурой пояса.

Работу по устройству железобетонных колец иногда совмещают одновременно с цементацией кладки опор.

Бетонировка поясов производится бетоном марки не ниже 170 с устройством через 8–10 м усадочных замыкающих клиньев. После снятия опалубки в случае необходимости производится штукатурка остальной незакрытой и выветрившейся облицовки по металлической сетке  $d=2-4$  мм, установленной на закрепленных в кладке железных крючьев и частично заведенной в бетон кольца. Раствор штукатурки рекомендуется наносить торкретом.

**Устройство железобетонной оболочки.** При наличии глубоких трещин с отколами части кладки опоры, а также при опорах, сооруженных из мягких пород камня, или когда кладка их выполнена на известковом растворе, для укрепления опор, наряду с инъекцией раствора в тело опоры устраиваются железобетонные оболочки (Рис. 2).

Для устройства оболочки необходимо с наружной поверхности опоры удалить расстроенную облицовку вместе с мелкими частицами камня.

После очистки в твердых частях кладки делается насечка, а для установки анкеров в кладке делаются анкерные дыры на расстоянии 0,5–0,6 м в квадратном или шахматном расположении.

Дыры рекомендуется располагать наклонно под углом 15–20° к горизонту. В устоях глубина дыр обычно устраивается 0,7–0,8 м; в быках эту дыру лучше устраивать, сквозной в направлении меньшего размера быка. Анкеры закрепляются в дырах на цементном растворе. Анкеры применяются железные с крючком снаружи и завершенной поверхностью на другом конце стержня. К анкерам прикрепляется металлическая сетка из арматуры  $d=10$  мм.

Толщина бетонного слоя оболочки обычно принимается в пределах 15–20 см с защитным слоем в 3 см. Бетон принимается марки 170 и выше. Для предупреждения появления в бетоне усадочных трещин устраивают через 8–10 м вертикальные швы замыкания толщиной до 0,50 м, которые спустя месяц заполняются бетоном.

Устройство оболочки рекомендуется производить с одновременным устройством на подферменной площадке железобетонного прокладника, если верх опор или устоя в шкафной части требует укрепления подферменной площадки.

При временном восстановлении мостов могут быть случаи восстановления массивных опор при помощи устройства металлического корсета.

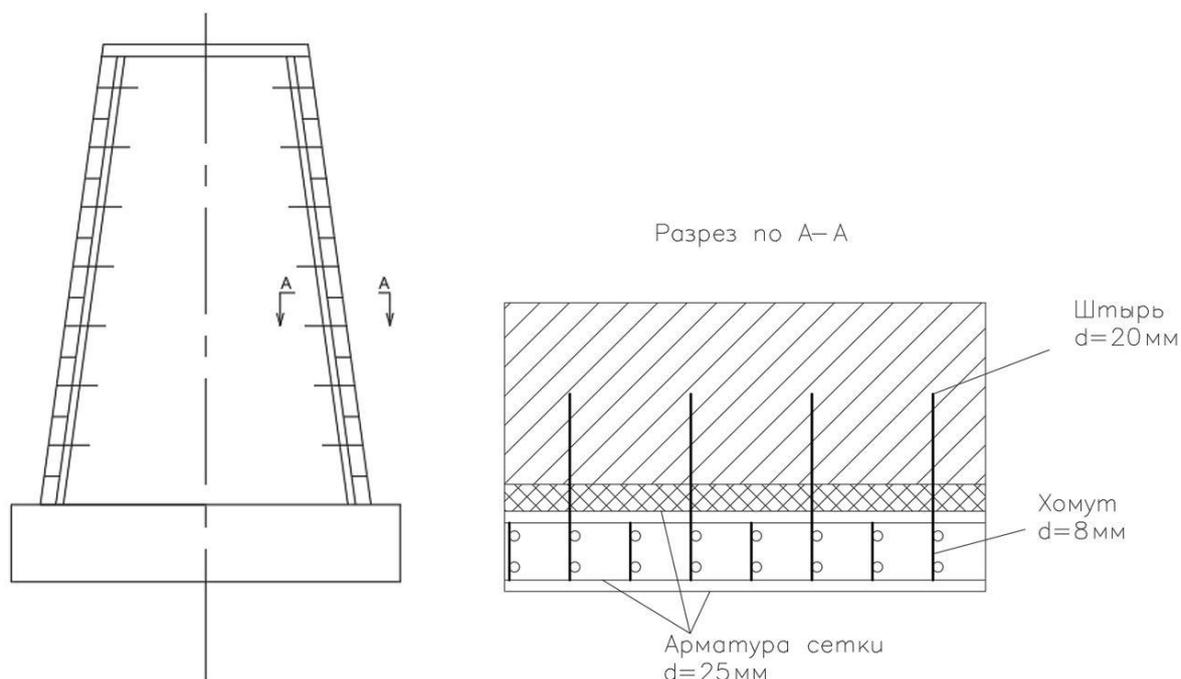


Рис. 2. Железобетонная оболочка

Обычно корсеты устраиваются для предотвращения отвала по трещинам части кладки. Корсеты, охватывающие опору, состоят из ряда вертикальных стоек, щитов и горизонтальных поясов. Для стоек обычно используются рельсы, редко бревна. Пояса делаются, из сортового железа с возможностью последующего их натяжения, для чего в систему их входят натяжные приборы (клины, болты, вагонные стяжки и т. п.).

При капитальном восстановлении такой опоры необходимо произвести заделку трещин путем нагнетания цементного раствора (если это не было сделано ранее), а корсет металлический использовать как жесткую арматуру с добавлением необходимого количества стержней и устройством сетки оболочки, которую после установки опалубки забетонировать, превратив металлический корсет в железобетонную оболочку рассмотренного выше типа [8].

Порядок работы по переустройству корсета в железобетонную оболочку, следующий:

- 1) очистка поверхности от выветрившейся облицовки и откалывающихся частиц кладки;
- 2) промывка водой поверхности и металла пескоструйным аппаратом;
- 3) заделка всех трещин при помощи нагнетания цементного раствора под давлением;
- 4) устройство сетки по поверхности опоры с оставлением элементов корсета в системе арматуры;
- 5) бетонировка в опалубке или торкретирование.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОДВОДНОЙ КЛАДКИ ОПОР

Восстановление подводной кладки опор может производиться открытым способом или при помощи подводного бетонирования.

Восстановление опоры открытым способом можно производить при помощи шпунтового ограждения, а в зимнее время – способом вымораживания.

При двойном шпунтовом ограждении открытый котлован может быть устроен глубиной 7–8 м.

При применении металлического шпунта типа Ларенса с двойным замком глубину открытого котлована можно довести до 20 м. Наличие вокруг опоры камня от разрушенной кладки может затруднить устройство шпунтового ограждения с применением дерева; в этом случае металлический шпунт является наиболее надежным, так как его легче забить даже при наличии небольших каменных частей. Металлический шпунт имеет и то преимущество, что он может быть использован несколько раз и его забивка и вытаскивание не представляют трудности ввиду небольшой толщины его стенок [9].

После вытаскивания шпунта из грунта небольшая щель, образованная шпунтом, не влияет на осадку фундамента опоры. Для забивки металлических шпунтин наиболее удобным снарядом является свайный молот. Требуется большая точность забивки прямых участков и мест перелома. Рекомендуется для небольшой длины прямых участков предварительная сборка стенки в вертикальном положении. Отдельные шпунтины поддерживаются от падения подкосами и растяжками.

Иногда шпунтины забиваются не сразу, а постепенно на небольшую глубину. Для устройства перегибов и переломов заготавливаются специальные ветви для соединения под углом двух полос шпунтин.

Когда значительная глубина и каменные обломки исключают устройство шпунтовых ограждений, работы рекомендуется производить при помощи каркасных перемычек или при помощи подводного бетонирования. Были случаи применения и съемных кессонов для восстановления опор.

**Съемные кессоны.** К съемным кессонам при работе в сжатом воздухе следует прибегать в крайних случаях из-за сложности работы.

В 90-е года 20 века при восстановлении опоры одного из мостов были применены съемные кессоны, устроенные из дерева. Кессон, устроенный на всю опору, собирался на подмостях, устроенных над опорой. Потолочное пространство заполнялось бетоном, что исключило из повторное использование.

Применение песка в виде заполнителя потолочного пространства усложнило бы значительно работу по регулировке положения кессона при опускании.

Методы разборки разрушенной опоры в камере съемного кессона не же, что и в обычных кессонах.

Отдельные куски разрушенной опоры в данном случае приходилось разбирать вручную при помощи долот и кувалд.

Применение пневматических инструментов также не облегчило бы эту довольно тяжелую работу, так как бетон очень плохо поддается разработке, а применение способа подрывания в камере тоже не дает достаточной эффективности.

При одностороннем или частичном повреждении подводной кладки опор устройство съемного кессона особенно нерационально, так как кессон все равно необходимо устраивать по размерам в плане большем опоры.

Подъемка съемного кессона по мере возведения кладки производилась 4 домкратами гидравлического действия, установленными на шпальных клетках в рабочей камере.

Промежуток между кессоном и каменной кладкой быка засыпали постепенно песком, прошлюзованным снаружи, с тщательной подбивкой его под нож. Всего подъемок кессона было четыре. Как только кладка быка в кессоне была возведена над горизонтом воды, дутье воздуха в рабочую камеру было прекращено, после чего шлюзовой аппарат и шахтовые трубы были сняты и кладку быка продолжали вести открыто.

Такой способ может быть рекомендован только в исключительных случаях, когда повреждения в подводной части являются общими для опоры и устройство других ограждений исключается.

Восстановление опор способом каркасных перемычек. При отсутствии благоприятных условий для забивки шпунта восстановление возможно вести методом «жесткого пластыря», представляющего собой комбинацию деревянной проконопаченной, судового типа, обшивки и металлического остова из уголкового железа [10].

Этот способ был предложен инженером Шубиным при восстановлении в 1923-1924 гг. моста у города Бобруйска на западных железных дорогах (Рис. 3).

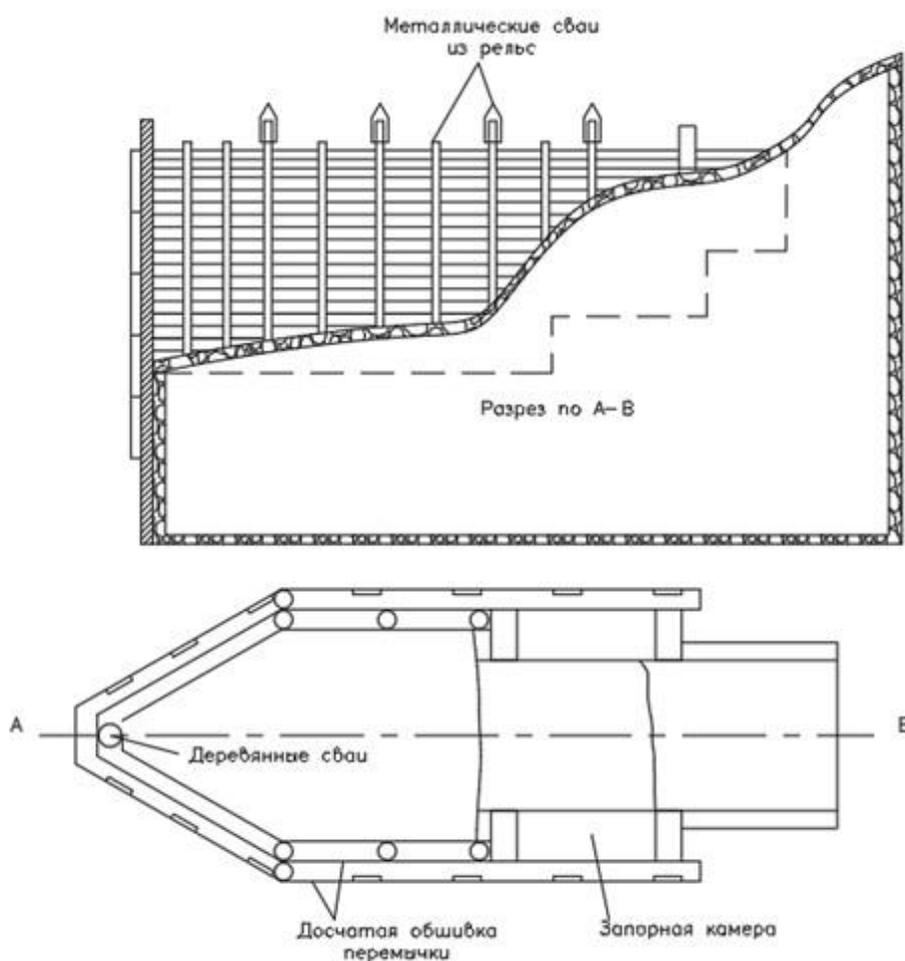


Рис. 3. План и продольный разрез каркасной перемычки

На протяжении от 6 до 12 м с каждой стороны, считая от нока быка, где была разрушена кладка опоры, вокруг верховой части быка были устроены перемычки. Глубина воды у разрушенных быков была от 4 до 5 м при меженном горизонте воды, что давало максимальный столб давления воды, с учетом волны, в среднем 6 м. Для такой глубины шпангоуты из дерева вышли бы очень громоздкими, а потому был применен металлический каркас из уголкового железа сечением 150x100, сопряженным в раскосную систему между параллельными поясами, с деревянной обшивкой.

Для удобства сборки перемычка была разбита на ряд горизонтальных звеньев высотой в 1,5 м, ограниченных сверху и снизу параллельными поясами из уголкового железа [11–12].

Горизонтальные звенья в свою очередь составлялись из двух симметричных половин (полузвеньев). Уголки располагались широкой стороной внутрь камеры, а вертикальные полки, обращенные наружу, служили плоскостями для соединения звеньев перемычки друг с другом.

Стойки и раскосы устраивались также из уголков. Для облегчения пришивки досок и для большей непроницаемости обшивки в местах переломов перемишки к металлическим стойкам прикреплялись на болтах деревянные квадратного сечения бруски, к которым затем пришивались гвоздями доски обшивки (Рис. 4).

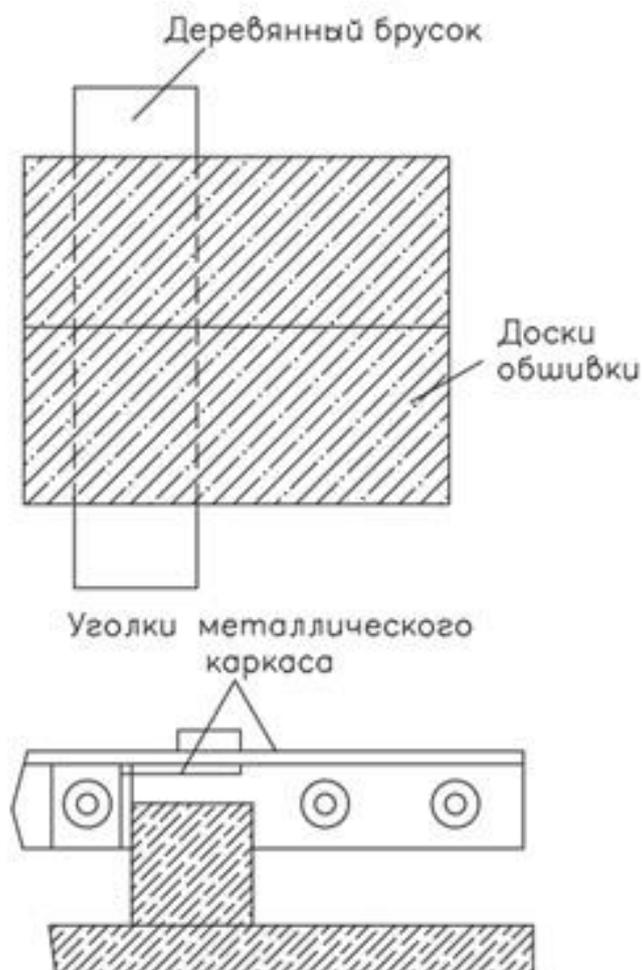


Рис. 4. Пришивка досок обшивки перемишки

Стык досок в пределах прямой плоскости устраивался вплотную на стойках. В местах же перелома перемишки у линии разлопатов и по обе стороны носового ребра пришивались дополнительные деревянные стойки с выступающим на толщину доски гребнем (по типу носового бруса деревянных судов). В пределах последних стоек примыкающие к ним доски заделывались в четверть. Стойки с гребнями прикреплялись к поясным уголкам сквозными болтами, втопленными в тело стоек.

Головки болтов проконопачивались вокруг паклей, заливались смолой и зашивались пластинками из просмоленного кровельного железа.

Обшивочные доски перед употреблением их в дело фуговались в «шаркант», так что при нашивке с нажимом клинья доски с внутренней

стороны соприкасались вплотную, с наружной же стороны в швах оставались зазоры в 5–6 см.

В этот зазор вводились две пряди скрученной конопатки, которые пригонялись до отказа специальной металлической конопаткой без забоя и порчи кромок досок.

Поверх швов накладывались полоски драни, пришиваемые к обшивке проволочными оцинкованными скобами.

Проконопачивание швов производилось перед перевозкой перемычек на место работ.

Обшивка каркаса на берегу производилась не на всю высоту элементов перемычки, крайние доски нашивались на расстоянии 130 мм от торцевых плоскостей и оставшиеся зазоры в одну доску между двумя соседними звеньями зашивались и законопачивались в момент их соединения перед погружением в воду.

Для плотности шва между поясами соседних элементов прокладывались дюймовые доски и только уже после этого пояса соседних элементов сшивались болтами [13].

Расчистка поверхности дна у самих быков производилась водолазами. Выравнивание и планировки дна велись с большой тщательностью во избежание возможных перекосов перемычки, что создало бы расстройство швов перемычки.

На площадке укладывалась опорная подушка каркасной перемычки, которая должна находиться в строго горизонтальном положении.

Для правильности опускания звеньев перемычки в требуемое положение применялись в качестве направляющих металлические и деревянные сваи. Лучше применять деревянные сваи при хорошем грунте, так как они более устойчивы и к ним удобнее прикреплять направляющие обшивки фундамента и легко закреплять распорные клинья между поясами перемычек и направляющими сваями в момент откачки воды из рабочей камеры.

Металлические сваи из клепанных рельсов пружинили, что создавало ряд неудобств при их забивке в грунт.

Перемычки соединялись понтонами и опускались по направляющим сваям постепенно по мере соединения их звеньев. Низ камеры между телом быка и перемычкой бетонировался под водой, равно как и запорные камеры в местах примыкания перемычки к боковым поверхностям опоры.

Перед бетонированием плотность камер испытывалась цементным молотком, во время взмучивания которого водолазы с внешней стороны перемычки подконопачивали все места с признаком пропуска цементной мути.

Бетонирование камер производилась при помощи деревянных труб сечением 20x20 см, причем вначале бетоном заполнялись запорные камеры

до верха, а затем рабочие камеры на высоту 0,7 м от дна в пределах пространства между стенками опоры и внутренней стороны каркасных перемычек. Нижние звенья вынуть из воды было нельзя после бетонировки, и они оставались [14].

Бетон выстаивался в перемычке 10–12 дней, после чего перемычка освобождалась от воды.

Откачка воды производилась насосами, а во избежание деформации перемычек от давления воды необходимо было подбивать клинья, расположенные между поясами перемычек и направляющими сваями. Клинья во избежание их ослабления и всплытия пришивались гвоздем к сваям.

Рабочие камеры на ночь заполнялись водой. Как показала практика, перемычки во время работы воду не пропускали и обсыхали с внутренней стороны.

После откачки воды производится разборка слабой или тронутой взрывом бутовой кладки. Фундамент разбирается горизонтальными уступами для получения наиболее прочной связи с вновь возводимой кладкой быков.

Для удобства и быстроты восстановления по направляющим сваям с их внутренней стороны была нашта сплюшная дощатая опалубка по контуру носовой части фундамента быка, в пределах которой по промывке старой кладки цементным молотком велась новая бутовая кладка.

При работе неполные сутки рабочие камеры желательно заливать водой с последующей откачкой воды перед началом работ во избежание нарушений работы перемычки от воздействия воды. Перед работой после откачки воды кладка промывается цементным молотком, после чего по заранее выравненной поверхности опоры производилась кладка.

Каркасные перемычки применены и для полного окружения быка, с тем, чтобы в пределах осевой плоскости быков расположились вертикальные стыки звеньев по устройству аналогично горизонтальным поясам соединениям. Работа в этом случае будет удобна, так как возможность боковой фильтрации из-под кожухов исключена, а с фильтрацией через дно могут справиться насосы [15].

Если каркасная съемная перемычка охватывает не весь бык, надо обратить особенное внимание на возможное плотное примыкание поперечных стенок к поверхности быка.

Кроме вышеуказанного способа изоляции рабочей камеры от воды в виде устройства запорных камер можно рекомендовать и другой способ.

Для этого ребра щитов перемычки, примыкающие к быку, снабжаются подушками из брезента, плотно набитыми просмоленной паклей.

Все щели в примыкании поперечной стенки к кладке конопатятся под водой водолазами. При откачке воды из-за перемычки она будет плотно прижата подушками к поверхности быка. Подобные перемычки не следует при перерывах работы заливать водой, так как плотность примыкания поперечных ее стенок к быку будет нарушаться.

Каркасные перемычки имеют следующие преимущества:

1) Перед съемными кессонами – вследствие большой простоты конструкции возможность вести работы с большей скоростью без необходимости разработки здоровой каменной кладки для опускания кессона до требуемой глубины;

2) Перед двойным шпунтовым ограждением при наличии на дне каменной наброски, затрудняющей, а в некоторых случаях не допускающей забивки деревянных шпунтовых ограждений и при большой глубине реки, когда придание водонепроницаемости междушпунтовому заполнению весьма затруднительно;

3) Перед двойными ряжевыми перемычками при большой глубине и наличии большого продольного или поперечного уклона дна реки и в следствие попадания на дно реки камня от разрушенной подводной и надводной части опор;

4) Удобство заготовки на берегу и доставки на место установки частей перемычки в следствие делимости ее на отдельные полужвенья сравнительно небольшого веса.

Подводное бетонирование. Каркасные перемычки, применяемые для ремонта подводной части опоры, требуют довольно тщательной работы по обеспечению водонепроницаемости и не всегда они могут быть применены, особенно в случае, когда повреждена кладка на значительной глубине.

Идею каркасной перемычки возможно применить со значительным упрощением ее конструкции при условии производства бетонирования опоры в подводной части без водоотлива. Для этого каркасная перемычка заменяется каркасной опалубкой с простейшим конструктивным устройством, обеспечивающим устойчивость ее на оставшейся части опоры. Перед постановкой опалубки водолазами производится разборка поврежденной кладки с очисткой ее от илистых отложений промывкой из брандспойтов.

Опалубка устраивается по форме опоры с последующей установкой ее на оставшуюся часть опоры. После установки опалубки производится подводное бетонирование с предварительным, если необходимо, нагнетанием цементного раствора в кладку в местах, где будут обнаружены пустоты и повреждения в виде трещин.

Подводное бетонирование может быть произведено по так называемому шведскому способу. При подводном бетонировании по

шведскому способу бетон получается хорошего качества, который полностью защищается от выщелачивания, так как монолитность бетона не нарушена илистыми прослойками.

Бетон подается по трубам. Применяются трубы диаметром 25–30 см [16]. По мере подачи бетона труба постепенно приподнимается вертикально вверх, причем бетонная масса наращивается по всей площади основания. Трубы в период бетонирования из бетона не вынимаются, а вновь поступающий бетон не соприкасается с водой, что обеспечивает ему высокое качество

Посредством одной трубы отливаются массивы площадью до 6 х 6 м. При значительных площадях бетонирование производится отдельными отсеками при одной трубе или сразу по всей площади несколькими трубами. Отливка должна производиться сразу в один прием без перерывов. Этот способ применим и для бетонирования подводных сопряжений, армированных железом.

Для подводного бетонирования применяют и бетонные насосы, подающие в котлован густой, тестообразный пластичный бетон, регулируя его выход соответствующим напором. Наибольшее расстояние подачи бетона насосом достигает по горизонтали 200 м, по вертикали в 45 метров и с часовой производительностью 15 м<sup>3</sup>. Бетононасосы изготавливают производительностью до 20 м<sup>3</sup>/ч при диаметре бетоновода d=12 см. Изменение направления трубопроводов делается изгибом труб при радиусе 1,5 м.

Бетонные смеси на 1 м<sup>3</sup> раствора содержат обычно 250–320 кг цемента и 600–800 кг песка. Максимальная величина инертных заполнителей 75 мм; лучше применять гравий или мелкую тальку, а также цемент пуццолановый с добавками трепела или трасса.

## ПЕРЕКЛАДКА ОПОР

Если повреждения кладки настолько серьезны, что нельзя применить вышеуказанные способы ремонта, необходимо произвести перекладку опоры.

Прежде чем приступить к кладке опоры, необходимо произвести разборку поврежденной части кладки опоры. Разборку верхней части кладки можно производить ручным способом при помощи отбойных молотков (для опор из бута) или при помощи взрывчатых веществ – подрыванием (опоры из бетона).

На московских мостах бутовую кладку разбирали отбойными молотками сравнительно легко по 5 м<sup>3</sup> на молоток в смену. Бетонную кладку отбойными молотками разобрать очень трудно. Лучшим способом разборки бетонных опор является способ подрывания, хотя этот способ

опасен для рядом расположенных пролетных строений в силу значительной воздушной волны, возникающей во время взрыва и разлета осколков.

Работы по разборке верха опоры при помощи взрывных работ сводятся к следующим операциям:

- 1) Выделка шпуров перфораторами;
- 2) Закладка зарядов в шпуре и производство взрыва;
- 3) Расчистка верха опоры от обломков кладки.

Снятие верха быка производится до неповрежденной части тела быка, после чего производится на выравненной площадке установка опалубки и бетонирование опоры на прежнюю высоту.

Если опоры разрушены полностью, то кладка ведется обычно, так же как и новой опоры. Проводится предварительная подготовка основания опоры, если нужно, с введением в нижнюю оставшуюся часть опоры цементного раствора под давлением. Необходимо иметь в виду, чтобы во время разборки не оставалась поврежденная кладка, новая кладка возводилась на надежной части опоры.

При восстановлении опоры с надстройкой верхней части ее при помощи новой кладки могут иметь место случаи, когда пролетное строение необходимо снять с опоры на новые временные опоры. В этом случае необходимо рядом с опорой возвести временные опоры [17]. Временные опоры могут быть устроены на свайном основании, если грунт позволяет произвести забивку свай, или на рамно-лежневом основании, если вокруг опоры имеется значительная каменная отсыпь, которая препятствует произвести работы по забивке свай. Необходимо также выровнять каменную наброску с добавкой камня и на этом основании установить рамную опору.

Ряжее основание следует применять, если глубина и грунт исключают применение свайной, так и рамно-лежневой опоры. При устройстве временных опор могут быть использованы металлические опоры системы ЛИИЖТ. Рама такой опоры рассчитана на опирание пролетного строения 23 м пролета, но они могут быть спарены в одной опоре.

Перестановка пролетного строения производится при помощи домкратов.

При устройстве новых временных опор желательно точку опирания выбирать под узлом, а не в панели. В этом случае если и будет усиление, то в значительно меньшем объеме и с меньшей затратой по времени.

При умеренных пролетах, до 40–50 м, временные опоры могут быть устроены по бокам пролетного строения с опиранием его на мощную поперечную балку из двутавровых балок или на балку, поддержанную шпренгелем. Подобное устройство дает возможность применения свайного

основания и при меньшей высоте моста, когда капер не помещается над пролетным строением, а при ряжевом основании может избавить работы по расчистке дна для установки ряжей или уменьшить объем этой работы [18].

Убирать временную надстройку на массивной опоре, устроенную при временном восстановлении, не всегда обязательно. Если эта надстройка из металла или хотя бы из дерева, и в виде рам, а не клеток или ряжа, можно произвести бетонировку опоры без разборки временных опор и перестановки пролетного строения. Это значительно облегчит работы по капитальному восстановлению, сократит время работ и не потребует прекращения движения поездов. На Яхромском мосту через канал Москва – Волга этот способ был применен, и деревянные стойки надстройки были забетонированы в опоре. Схватки при бетонировке опоры постепенно снимались.

Если над опорой устроена металлическая надстройка, то она может быть целиком забетонирована. Это придаст опоре прочности, мы получим опору более высокого качества [19].

При бетонировании деревянных и металлических опор необходимо тщательно произвести осмотр с последующей очисткой и удалением ржавчины, гнили, краски и т. д. При таком способе не требуется устройство временных опор, и перестановка пролетного строения производится только в период устройства железобетонной подферменной площадки и верхней части опоры.

Перекладку опор производят по частям:

- между опорными частями возводят шпальные клетки;
- переустанавливают на опорные части пролетного строения при помощи домкратов;
- убирают старые опорные части;
- срезают верхние концы стоек опор;
- производят бетонирование оставшейся части опор.

При таком способе работ потребуется небольшое усиление опорной поперечной балки в месте временного опирания пролетного строения на шпальные клетки.

Бетонирование верхней части опоры производится обычными способами с устройством опалубки.

Наличие на опоре деревянных или металлических рам облегчает работы по устройству опалубки, которую значительно проще и надежнее можно устроить и установить на опоре.

Надстройка опоры при разрушении и подводной части производится в том же порядке, как описано выше. В этом случае требуется сначала возвести подводную кладку опоры способами, которые уже были описаны выше.

При возведении новой кладки из бетона или бутобетона нужен бетонный завод со всеми необходимым оборудованием. Учитывая то, что работы на каждом мосту будут по объему небольшие при значительном количестве таких мостов и отдельных объектов, рационально иметь бетонный завод на колесах. Рекомендуется применять подвижный бетонный завод.

При значительных работах в одном месте возможна организация стационарного бетонозавода на берегу с доставкой бетона на опору или по наплавному мосту, или при помощи кабель-крана, или отдельными баржами при ограниченном количестве точек. Наиболее целесообразно применять кабель-кран, который облегчит транспорт бетона, как по горизонтали, так и по вертикали. Такой способ в настоящее время достаточно освоен строительными организациями при восстановлении мостов.

При необходимости вертикальной подачи бетона рекомендуется использовать бетононасосы, которые дают высокую производительность. Использование бетононасосов при наличии оборудования в мостопоездах возможно и желательно. Могут быть использованы и шахтоподъемники, и краны-укосины, и другие способы, известные в практике строительства опор.

Техника укладки бетона общеизвестна и здесь не приводится.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Капитальное восстановление массивных опор мостов больших пролетов в каждом частном случае будет иметь много индивидуальных особенностей.

2. Ремонт поврежденных опор с расстроеной части кладки мало отличается от ремонта и усиления опор, производимого на существующих мостах.

3. Восстановление полуразрушенных опор по удобствам в производственном отношении преимущественно следует производить бетонированием, а разборку слабо поврежденной кладки подрыванием.

4. Наибольшие трудности представит ремонт опор в подводной части. Во многих случаях стальные шпунтовые перемычки дадут экономию в работе и упрощение, вследствие чего желательно иметь у организаций, производящих работу, инвентарный запас стальных шпунтовых свай.

5. Разборные каркасные перемычки ввиду своих многих преимуществ могут быть использованы при подводных работах, но ввиду ряда особенностей в их конструкции и установке необходимо разработать

несколько типовых проектов таких перемычек и их установки, которые облегчат их применение на местах

б. В организационном отношении мелкие работы по ремонту опор могут быть выполнены распоряжением самих дорог, что же касается крупных работ, то они резко различаются от работ по временному восстановлению, в которых восстановительные организации приобрели опыт за время Отечественной войны.

Работы по капитальному восстановлению опор потребуют и иного оборудования, и руководителей, и рабочей силы несколько иных специальностей.

В связи с этим необходимо будет создание специальной организации, которая специализировалась бы на работах по восстановлению разрушенных и полуразрушенных опор.

Основные виды работ, выполняемые ею, будут: разборка кладки, бетонные и железобетонные работы, устройство перемычек и водоотлив, подводное бетонирование, инъекция раствора, торкретирование.

Объем работ на каждом объекте будет обычно не очень велик, но количество объектов весьма значительно, в силу чего производственные единицы организации нужны не особенно мощные, но обладающие большой подвижностью в виде поездов с необходимым оборудованием, квалифицированной силой и достаточным запасом различных материалов.

## РЕКОМЕНДАЦИЯ К ПЕЧАТИ

Кандидат военных наук, доцент ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого» Алексеев Сергей Викторович является научным руководителем авторов статьи и рекомендует данную статью к публикации.

### Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов.
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Прокопов А.Ю., Онисар В.Р. Влияние общего и местного размыва на опоры мостов // Материалы национальной научно-практической конференции. – 2018. – С. 574–576. [Prokopyov AYu, Onisar VR. Vliyanie obshchego i mestnogo razmyva or opory mostov. *Materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2018;574-576. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37285437>. Ссылка активна на 17.03.2021.
2. Казеннов Е.А. Методы обследования и восстановления внутренней кладки массивных опор эксплуатируемых мостов: дисс. канд. техн. наук. Москва, 2009. – 26 с. [Kazennov EA. *Metody obsledovaniya i vosstanovleniya vnutrennej kladki*

- massivnyh opor ekspluatiruemyh mostov: dissertation of the Candidate of technical Science. Moscow; 2009. 26 p. (In Russ.)). Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004406662>. Ссылка активна на 17.03.2021.
3. Талантова К.В. Сталефибробетон в восстановлении и усилении опор автодорожных мостов // Дефекты зданий и сооружений: усиление строительных конструкций. – 2015. – С. 154–158. [Talantova KV. Stalefibrobeton v vosstanovlenii i usilenii opor avtodorozhnyh mostov. *Defects in buildings and structures strengthening of building structures*. 2015;154-158. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24228415>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  4. Федосеев И.А. Предложение по применению конструкций башенных кранов в строительстве военных мостов из местных материалов // Аллея науки. – 2018. – № 2 (18). – С. 107–113. [Fedoseev IA. Predlozhenie po primeneniyu konstrukcij bashennyh kranov v stroitel'stve voennyh mostov iz mestnyh materialov. 2018;2(18):107-113. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32642714>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  5. Юшков В.С., Кычкин В.И., Бармин Н.Д. Реализация диагностики и ремонта мостовых сооружений // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 118–125. [Yushkov VS, Kychkin VI, Barmin ND. Realizaciya diagnostiki i remonta mostovyh sooruzhenij. *Vestnik MGSU*. 2016;(6):118-125. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26210458>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  6. Копыленко В.А. Малые водопропускные сооружения на дорогах России: учеб. пособие. – М.: УМЦ по образованию на ж/д транспорте. – 2013. – 444 с. [Kopylenko VA. Malye vodopropuskiye sooruzheniya na dorogah Rossii: schoolbook. Moscow: *Training and methodological center for education in railway transport*; 2013. 444 p. (In Russ.)). Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21195264>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  7. Тимофеев Д.Р., Тимофеев Д.Д. Усиление мостовых конструкций с использованием композиционных материалов // Актуальные проблемы автомобильного, железно-дорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе : материалы междунар.науч.-техн. конф. (1–3 декабря 2005 г.). Пермь: ПГТУ. – 2005. – С. 45–51. [Timofeev DR, Timofeev DD. Usilenie mostovyh konstrukcij s ispol'zovaniem kompozicionnyh materialov. Aktual'nye problemy avtomobil'nogo, zhelezno-dorozhnogo, truboprovodnogo transporta v Ural'skom regione: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (1-3 dekabrya 2005 g.). Perm': PGTU. 2005;45-51. (In Russ.)). Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002872497>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  8. Бокарев С.А., Засухин И.В. К вопросу о долговечности массивных опор мостов // Вестник томского ГАСУ. – 2018. – С. 185–197. [Bokarev SA, Zasukhin IV. K voprosu o dolgovechnosti massivnyh opor mostov. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2018;185-197. (In Russ.)). Доступно по: <https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/484>. Ссылка активна на 17.03.2021.
  9. Тимофеева Н.В. Совершенствование оценки состояния подводной части массивных опор эксплуатируемых мостов: дисс. канд. техн. наук. СПб; 1996. – 23 с. [Timofeeva NV. Sovershenstvovanie ocenki sostoyaniya podvodnoj chasti massivnyh opor ekspluatiruemyh mostov: dissertation of the Candidate of technical Sciences. St. Petersburg; 1996. 23 p. (In Russ.)). Доступно по: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000113177>. Ссылка активна на 17.03.2021.

10. Юдина Н.П. Методы ремонта и усиления опор моста // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом». – 2016. – С. 189. [Yudina NP. Metody remonta i usileniya opor mosta. *International scientific and practical conference "Actual problems of technical sciences in Russia and abroad"*. 2016. p. 189. (In Russ.)]. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25131225>. Ссылка активна на 17.03.2021.
11. Keraptsoglou K, Karlaftis MG, Bitsikas T, et al. A methodology and decision support system for scheduling inspections in a bridge network following a natural disaster. *Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management - Bridge Maintenance, Safety, Managemen.* 2006;32-41. doi: 10.1061/(asce)te.1943-5436.0000129
12. Civera M, Calamai G, Fragonara ZL. System identification via Fast Relaxed Vector Fitting for the Structural Health Monitoring of masonry bridges. *Structures* 30. 2021;277-293. doi: 10.1016/j.istruc.2020.12.073
13. Lu P, Zhang J, Li D, Zhou Y, Shi Q. Conceptual design and experimental verification study of a special-shaped composite arch bridge. *Structures* 29. 2021;1380-1389. doi: 10.1016/j.istruc.2020.12.018
14. Reis ED, Souza DLCE, Carvalho H, et al. Structural Safety and Stability of the Bridge on the Paraopeba River in Moeda, Minas Gerais, Brazil: Case Study. *Practice Periodical on Structural Design and Construction.* 2021;26(1):05020012. doi: 10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000529
15. Chen X, Li C. Seismic assessment of tall pier bridges with double-column bents retrofitted with buckling restrained braces subjected to near-fault motions. 2021;226;111390. doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111390
16. Saydan M, Unal A, Keskin US, Kansun G. An investigation of the current situation of the Mısrılioğlu Bridge and possible damages after freeze-thaw by using finite elements analysis, Sille – Konya (Central Anatolia, Turkey). *Engineering Failure Analysis* 117. 2021;104788. doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104788
17. Colford BR., Beabes SR., Bulmer VJ. Bridge Design for Inspection and Maintenance — a UK and US perspective. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Bridge Engineering.* 2019;172(4):246-256. doi: 10.1680/jbren.18.00061
18. Zhao J, Zuo MJ, Cai Z, Si S. Post-disaster recovery optimization for road-bridge network considering restoration ability and economic loss. *Proceedings - Annual Reliability and Maintai.* 2020;364-397. doi: 10.1109/rams48030.2020.9153632
19. Charron N, McLaughlin E, Phillips S, Goorts K. Automated Bridge Inspection Using Mobile Ground Robotics. *Journal of Structural Engineering.* 2019;145(11):04019137. doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002404

#### Сведения об авторах:

**Аверченко Глеб Александрович**, ассистент, Инженерно-строительный институт;  
eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;

E-mail: averchenko\_ga@spbstu.ru

**Борисов Вячеслав Андреевич**, студент, Инженерно-строительный институт;  
eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;

E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru

**Васильев Кирилл Андреевич**, студент, Инженерно-строительный институт;  
eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;

E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru

**Information about the authors:****Gleb A. Averchenko**, assistant;

eLibrary SPIN: 1707-9958; ORCID: 0000-0001-8813-545X;

E-mail: averchenko\_ga@spbstu.ru

**Vyacheslav A. Borisov**, student;

eLibrary SPIN: 8054-4914; ORCID: 0000-0002-8596-7020;

E-mail: borisov.va@edu.spbstu.ru

**Kirill A. Vasilev**, student;

eLibrary SPIN: 8250-4609; ORCID: 0000-0002-1013-2029;

E-mail: vasiliev2.ka@edu.spbstu.ru

**Цитировать:**

Аверченко Г.А., Борисов В.А., Васильев К.А. Капитальное восстановление массивных опор мостов // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 30–55. doi: 10.17816/transsyst20217330-55

**To cite this article:**

Averchenko GA, Borisov VA, Vasiliev KA. Major restoration of massive bridge supports. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):30-55. doi: 10.17816/transsyst20217330-55