

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.046

В. Ф. ГРЕЧКО<sup>1\*</sup>, О. В. ГРЕЧКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Запорозьке відділення Государственного підприємства «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Новобудов, 4, Запорозьє, Україна, 69076, тел. +38 (061) 277 13 67, ел. почта zoniisk@mail.ru

<sup>2</sup> Запорозьке відділення Государственного підприємства «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций», ул. Новобудов, 4, Запорозьє, Україна, 69076, тел. +38 (061) 277 13 67, ел. почта zoniisk@mail.ru

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВИСЯЧЕГО МОСТА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НДС НАИБОЛЕЕ ПОВРЕЖДЕННОЙ ОПОРЫ

**Цель.** В статье рассмотрены результаты натурных исследований, выполненных в рамках подготовки паспорта технического состояния конструкций железобетонных опор висячего моста. **Методика.** Висячий мост запроектирован институтом «Гипротрансмост» и введен в эксплуатацию 35 лет назад. Мост состоит из одного висячего пролета длиной 720 м и 10 железобетонных опор. **Научная новизна.** Выполнено определение напряженно-деформированного состояния наиболее поврежденной опоры. **Результаты.** Разработаны рекомендации по восстановлению эксплуатационной пригодности поврежденных конструкций. **Практическая значимость.** Результаты исследований будут использованы при ремонте опор моста.

**Ключевые слова:** техническое состояние; железобетонная опора моста; висячий мост; напряженно-деформированное состояние; эксплуатационная пригодность

#### Введение

Висячий вантовый мост возведен по проекту института «Гипротрансмост» и эксплуатируется более 30 лет. Мост состоит из одного висячего пролета длиной 720 м и 10 железобетонных опор. Исследованные железобетонные опоры делятся на три категории: якорные опоры, опоры ветровых растяжек, опоры под пилоны. Все опоры выполнены прямоугольными в плане, с передачей нагрузки на основание, сложенное скальными породами. Схема расположения опор моста приведена на рис. 1, где на левом берегу расположены: опора № 1 – якорная, № 2 и № 3 – под пилон, № 4 и № 5 – под ветровые растяжки. Соответственно на правом берегу реки расположены опоры: № 6 и № 7 – под пилон, № 8 и № 9 – под ветровые растяжки и № 10 – якорная.



Рис. 1. Схема расположения опор моста

На рис. 2 приведен общий вид вантового моста с низовой части.

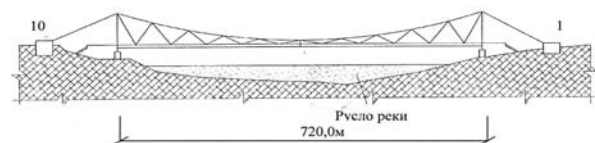


Рис. 2. Общий вид моста с низовой части

#### Цель

Согласно данным предпроектных изысканий грунтами основания левобережных опор моста служат скальные породы, сложенные гранитами с удельным весом  $27,5 \text{ кН/м}^3$  и временным сопротивлением на сжатие –  $1650 \text{ кПа}$ .

Нагрузки от правобережных опор моста передаются на грунты сложенные выветрелыми гранитами (дресва) с удельным весом  $27,5 \text{ кН/м}^3$  и временным сопротивлением на сжатие –  $1200 \text{ кПа}$ , от дневной поверхности до отметки залегания выветрелых скальных пород залегают лессовидные суглинки с углом внутреннего трения  $\varphi = 23^\circ$  и удельным весом  $14,90 \text{ кН/м}^3$ .

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Якорные опоры № 1 и № 10 состоят из железобетонных сборно-монолитных частей фундаментов и камер натяжного устройства.

Опора № 1 заглублена в скальное основание из гранитов на 3,5 м. Заглубленная часть опоры выполнена из сплошного монолитного железобетона.

Основанием якорной опоры № 10 служат скальные грунты, сложенные выветрелыми гранитами. Нижняя часть стенки опоры на высоту 2,75 м представляет собой прямоугольный сборный железобетонный опускной колодец с режущей гранью. Глубина опускного колодца от дневной поверхности грунта составляет 14,0 м.

По периметру на опускном колодце смонтированы стенки опоры из сборных железобетонных блоков толщиной 900 мм. Внутри по бетонному основанию выполнены продольные стенки из сборных железобетонных блоков толщиной 700 мм.

Сопряжение блоков между собой в горизонтальной плоскости выполнено за счет связи закладных элементов отдельных блоков между собой и омоноличиванием мест стыков бетоном. В вертикальной плоскости связь блоков достигается за счет установки пучков из 7-ми проволочных, предварительно напряженных прядей, которые проходят от покрытия до конструкции опускного колодца.

Днище якорной опоры выполнено из монолитного бетона.

Внутреннее пространство (кроме натяжной камеры) между стенками опоры № 10 заполнено гранитным щебнем. Характерный разрез опоры № 10 представлен на рис. 3.

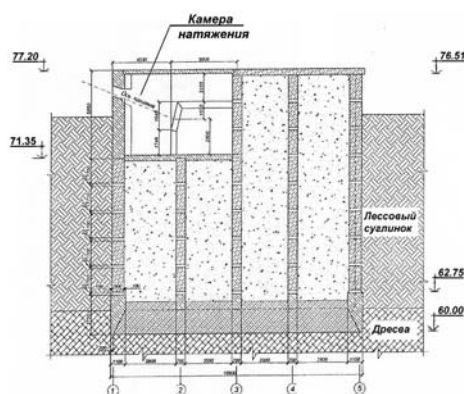


Рис. 3. Разрез якорной опоры № 10

Натяжные камеры опор № 1 и № 10 перекрыты сборными железобетонными плитами.

Опоры № 2, № 3, № 6 и № 7 под пилоны моста, а также № 4, № 5, № 8 и № 9 под ветровые

растяжки выполнены в виде отдельных строительных фундаментов из сборно-монолитного железобетона.

Опоры под пилоны и ветровые растяжки левого и правого берегов реки имеют сходные конструктивные решения с опиранием подошвы на скальные грунты и отличающиеся глубиной заложения подошвы фундаментов. При этом опоры под ветровые растяжки заглублены в скальный грунт на глубину 3...4 м.

### Методика

Оценка технического состояния строительных конструкции опор моста выполнялось в соответствии с действующими нормативными документами в данной отрасли [1, 2].

### Результаты

Обследованием установлено, что габаритные размеры и конструктивные характеристики опор моста соответствуют принятым в проекте техническим решениям.

При обследовании зафиксированы следующие дефекты и повреждения опор:

- на отдельных участках разрушение защитного слоя бетона и коррозия арматуры;
- вертикальные и наклонные трещины с шириной раскрытия 0,05...0,10 мм в стенах опор, указывающие на коррозию арматуры и частичное оголение корродирующей арматуры;
- трещины в стенах натяжных камер и по наружному периметру якорных опор с шириной раскрытия до 0,75 мм;
- застой атмосферных вод внутри натяжных камер якорных опор;
- проседание обратной засыпки по периметру опор с образованием трещин в отсыпке.

Прочностные характеристики бетона обследованных опор соответствуют значениям, превышающие проектные значения.

Надземная часть опор № 6, № 7 и № 10 усилена металлическими обоймами, состоящими из предварительно напряженных тяжелей из арматуры А240 Ø32 мм, натянутых на металлические уголки, расположенные по углам надземной части опор. Передача нагрузки от натяжения осуществляется при помощи установки по углам опор равнополочных уголков 200×16 мм.

Для определения причин образования трещин в конструкциях и анализа напряженно-деформированного состояния якорной опоры

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

№ 10 произведен расчет с использованием программного комплекса для SCAD Office 11.3.

Конструктивная система якорной опоры моделировалась пространственными конечными элементами КЭ-31, КЭ-36 (фундаментная плита, сборно-монолитные и монолитные участки стен), оболочечными элементами КЭ-41, КЭ-44 (перекрытие натяжной камеры и покрытие) и стержневыми элементами КЭ-10 (предварительно напряженные канаты, тяжи усиления) [3].

Ось  $X$  системы координат располагалась параллельно продольной оси якорной опоры и соответственно параллельно оси моста. На все узлы основания опоры (для которых  $Z = 0$ ) наложены линейные связи по направлениям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Схема расчетной модели приведена на рис. 4.

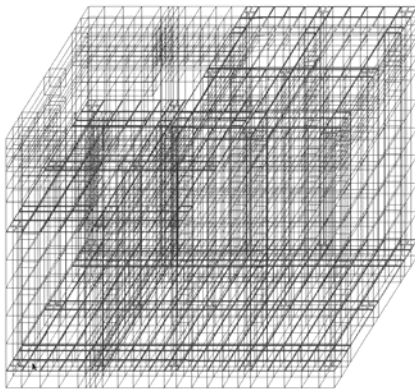


Рис. 4. Схема расчетной модели якорной опоры №10

Нагрузки, действующие на расчетную модель опоры № 10 задавались в виде следующих загрузжений:

- от постоянной нагрузки от собственного веса основных конструктивных элементов сооружения при плотности железобетона  $\rho = 2,5 \text{ тс/м}^3$  и коэффициенте надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,1$ ;
- от постоянной нагрузки от веса щебеночной засыпки внутренних полостей опоры представлена в виде нагрузки, равномерно распределенной по верхней грани элементов днища;
- от усилия предварительного натяжения канатов, расположенных в вертикальных монолитных стыках элементов в виде температурных нагрузок по верхней грани элементов, моделирующих стыковые участки;
- от усилий в анкерных канатах, суммарно принятых по проекту 2720 тс и приложенных к анкерной балке под углом к линии горизонта 18,4349°;
- от временных нагрузок.

Значения всех нагрузок, действующих на якорную опору № 10 определялись с учетом значений проектных нагрузок и в соответствии с требованиями ДБН В.2.-2:2006 [4].

Граничное значение нагрузки при объемном весе щебня  $\rho = 1,8 \text{ тс/м}^3$  и  $\gamma_f = 1,1$  составляет  $18,06 \text{ тс/м}^2$  для участка под натяжной камерой и  $28,27 \text{ тс/м}^2$  на остальной площади.

Для выявления возможных причин появления трещин в теле опоры промоделированы две ситуации:

1 – модель соответствует геометрии и нагрузкам согласно проектной документации.

2 – модель соответствует геометрии и нагрузкам проектной документации с учетом возможного частичного снижения уровня предварительного натяжения рабочей арматуры и проявления податливости сборных бетонных блоков стен.

В результате расчета якорной опоры № 10 на действие вышеперечисленных нагрузок определены значения напряжений, действующих в элементах расчетной модели при каждом загрузжении.

В результате расчетов получены значения нормальных напряжений  $NX$ ,  $NY$  и  $NZ$ , а также касательных напряжений  $TXY$ ,  $TXZ$  и  $TYZ$  для объемных конечных элементов при каждом загрузжении.

Кроме того, получены значения перемещений в продольных стенах натяжной камеры опоры.

Например, на рис. 5 и 6 приведены значения перемещений по оси  $X$  и напряжения  $Nx$  в фрагменте стены натяжной камеры от усилий в анкерных канатах.

Результаты расчета опоры № 10, показывают, что для ряда конечных элементов модели этой опоры значения суммарных напряжений от постоянной (загрузжение 1) и эксплуатационной (загрузжение 2) нагрузок превышают значение проектной прочности бетона.

Установлены номера элементов, в которых по расчету могут образовываться трещины.

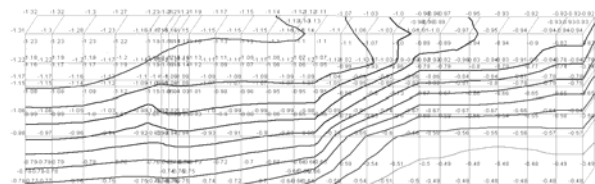


Рис. 5. Перемещения (мм) по оси  $X$  в продольной стене камеры натяжения

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

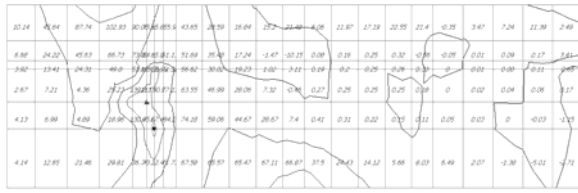


Рис. 6. Напряжения  $N_x$  (тс/м<sup>2</sup>) в продольной стене камеры натяжения от усилий в анкерных канатах

Концентрация растягивающих напряжений в продольной стене имеет место в месте примыкания к средней поперечной стене опоры. Перед этой стеной максимальные напряжения распространяются на всю высоту натяжной камеры и превышают предельную прочность бетона, за стеной – локализируются в верхней части, но не достигают допустимого значения, и быстро затухают по высоте и по направлению к задней стенке.

Анализ результатов расчета якорной опоры по второй модели загрузки показывает, что градиент горизонтальных перемещений по вертикали значительно увеличился, особенно между средней и правой торцевой стенами, по сравнению с первой моделью загрузки.

Таким образом, частичное снижение уровня предварительного натяжения рабочей арматуры и проявление податливости сборных бетонных блоков стен приводят к образованию трещин вертикальной и горизонтальной ориентации.

Наличие ослаблений в опоре № 10 в виде системы вертикальных трещин, не снижает несущую способность конструкции в целом. Наличие трещин может в дальнейшем привести к ускорению коррозии арматуры опоры.

Конструкция якорной опоры обладает достаточным запасом прочности и жесткости для восприятия действующих (расчетных) нагрузок.

Зафиксированные дефекты и повреждения опор моста № 1 – № 10, анализ напряженно-деформированного состояния конструкций позволило оценить техническое состояние железобетонных опор и элементов усиления, согласно [1], как ограниченно нормальное, что соответствует II категории.

Для повышения эксплуатационной надежности и долговечности опор, имеющих ослабления (опоры №№ 6, 7 и 10), дополнительно к существующему усилению опор в виде металлических обойм, предложено:

– предотвратить дальнейшее развитие трещин путем наклейки полотен из углепластиковых волокон, по технологии фирмы Sika;

– выполнить инъецирование трещин из помещения натяжной камеры якорной опоры № 10 полимерцементными составами.

### Выводы

1. В результате выполненных натурных визуальных и инструментальных исследований установлены повреждения 10 железобетонных опор всячего моста, имеющего пролет 720 м. Наибольшие повреждения в виде вертикальных и горизонтальных трещин с шириной раскрытия до 0,75 мм зафиксированы в натяжной камере якорной опоры № 10.

2. Анализ расчета напряженно-деформированного состояния конструкций якорной опоры № 10, выполненного для выявления возможных причин появления трещин показал, что в продольных стенах опоры № 10 от действия силовых нагрузок возникают нормальные напряжения, превышающие расчетное сопротивление бетона растяжению.

3. Причина возникновения трещин – снижение величин сжимающих напряжений в бетоне от предварительного натяжения вертикальной арматуры из-за потерь предварительного натяжения.

4. Зафиксированные дефекты в конструкциях опор моста и анализ напряженно-деформированного состояния железобетонных опор позволили оценить техническое состояние опор и элементов усиления, как ограниченно нормальное.

5. Согласно требованиям нормативных документов к надежности и долговечности строительных конструкций [5] дополнительно к существующим усилениям опор в виде металлических обойм, предложено:

– предотвратить дальнейшее развитие трещин путем наклейки полотен из углепластиковых волокон, по технологии фирмы Sika;

– выполнить инъецирование трещин полимерцементными составами.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Чинні від 2010-03-01. – Київ : Мін регіон буд. України, 2009. – 42 с.
2. Нормативные документы по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений. – Киев : 2003. – 144 с.

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. Гречко, В. Ф. Исследование напряженно-деформированного состояния железобетонной опоры висячего моста [Текст] / В. Ф. Гречко, О. В. Гречко, В. Н. Чирва, Е. В. Люльченко, О. Б. Настич // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Будівництво : сьогодення та тенденції». – Кривий Ріг, 2012. – С. 3-9.
4. ДБН В.1.2-2:2006. «Навантаження і впливи» [Текст] : офіц. текст : за станом 1 січня 2007 р. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 59 с.
5. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Київ : Мінрегіонбуд України. 2009. – 30 с.

В. Ф. ГРЕЧКО<sup>1\*</sup>, О. В. ГРЕЧКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Запорізьке відділення Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Новобудов, 4, Запоріжжя, Україна, 69076, тел. +38 (061) 277 13 67, ел. пошта zoniisk@mail.ru

<sup>2</sup> Запорізьке відділення Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», вул. Новобудов, 4, Запоріжжя, Україна, 69076, тел. +38 (061) 277 13 67, ел. пошта zoniisk@mail.ru

## РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОПОР ВИСЯЧОГО МОСТУ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ НДВ НАЙБІЛЬШЕ ПОШКОДЖЕНОЇ ОПОРИ

**Мета.** У статті розглянуті результати натурних досліджень, виконаних в рамках підготовки паспорта технічного стану конструкцій залізобетонних опор висячого моста. **Методика.** Висячий міст запроєктований інститутом «Гипротрансмост» і введений в експлуатацію 35 років тому. Міст складається з одного висячого прольоту довжиною 720 м і 10 залізобетонних опор. **Наукова новизна.** Виконано визначення напружено-деформованого стану найбільш пошкодженої опори. **Результати.** Розроблені рекомендації по відновленню експлуатаційної придатності пошкоджених конструкцій. **Практична значимість.** Результати досліджень будуть застосовані під час ремонту опор моста.

**Ключові слова:** технічний стан; залізобетонна опора моста; висячий міст; напружено-деформований стан; експлуатаційна придатність

V. GRECHKO<sup>1\*</sup>, O. GRECHKO<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Zaporizhzhya branch of State enterprise «State research institute of building construction», 4, Novobudov Str., Zaporizhzhya, Ukraine, 69076, tel. +38 (061) 277 13 67, e-mail zoniisk@mail.ru

<sup>2</sup> Zaporizhzhya branch of State enterprise «State research institute of building construction», 4, Novobudov Str., Zaporizhzhya, Ukraine, 69076, tel. +38 (061) 277 13 67, e-mail zoniisk@mail.ru

## THE RESULTS OF THE NATURAL RESEARCHES OF CONCRETE SUPPORT STRUCTURES OF THE SUSPENSION BRIDGE AND DETERMINED OF COST OF THE MOST DAMAGED SUPPORT

**Purpose.** The results of the natural researches executed within the limits of preparation of certificate of technical state of concrete support structures of the suspension bridge are considered in the article. **Methodology.** The suspension bridge was designed by the institute «Giprotransmost» and was set in operation 35 years ago. The bridge consists of one suspension bridge span in length 720m and 10 concrete support. **Findings.** The definition of stress-strain state of the most damaged support is executed. **Originality.** The recommendations about restoration of serviceability of the damaged designs are developed. **Practical value.** Research results will be used in the repair of the bridge supports.

**Keywords:** technical state; reinforced concrete bridge abutments; suspension bridge; stress-strain state; serviceability

*Стаття рекомендована к публікації д.т.н., проф. В. Г. Шаповалом (Україна), д.т.н., проф. О. С. Распоповым (Україна).*

Поступила в редколлегию 26.06.2014.

Принята к печати 02.07.2014.