

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОСТОВ

Губарев В.Ю.

ФГБОУ ВПО Воронежская государственная лесотехническая академия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8) rivelenasoul@mail.ru

В статье приведены результаты исследования транспортно-эксплуатационных характеристик моста, расположенного в Липецкой области в зоне действия Тербунского лесхоза. Для восстановления несущей способности левобережной опоры моста по разработкам и при непосредственном участии авторов были проведены работы по инъекционному закреплению грунтов в зоне опоры. На основании лабораторных исследований был подобран состав для закрепления грунтов. Авторами были проведены испытания моста статистической нагрузкой. Испытания моста показали, что и в результате инъекционного закрепления грунтов восстановлена несущая способность свайного фундамента, а деформации опоры прекратились. Для оценки надежности и эффективности ремонтных работ были проведены статистические испытания моста. В качестве испытательной нагрузки использовались колонны грузовых машин КАМАЗ, которые устанавливались на проезжей части моста в положения, обеспечивающие максимальные усилия и деформации в расчетных сечениях. Интенсивность испытательной нагрузки составила 86+92 % от расчетных нагрузок Н-13, Т-13. В процессе испытаний измеряли: прогибы концов речных консолей, середины подвески и середины пролетного строения 1-2; местные фибровые деформации для подсчета напряжений в ребрах балок в середине пролета 1...2 м и в опорном сечении на опоре 2; вертикальные и горизонтальные перемещения опоры 1. Представлены некоторые рекомендации и предложения по дальнейшей эксплуатации моста.

Ключевые слова: мост, грузоподъемность, транспортно-эксплуатационные характеристики, деформация, фундамент, пролет, сечение, консоль.

RESEARCH CAPACITY, AND VEHICLE OPERATING CHARACTERISTICS OF BRIDGES

Gubarev V.Y.

Voronezh State Academy of Forestry Engineering and Technologies (394087, Voronezh, street Timiryazeva, 8) rivelenasoul@mail.ru

The article presents the results of a study of transport- performance bridge located in the Lipetsk region in range Terbunsky forestry. To recover the carrying capacity of the bridge on the left bank development support and direct participation of the authors of the works on injection grouting in the area of support. Based on laboratory studies was matched composition for grouting. The authors performed a statistical test of the bridge load. Bridge test showed that as a result of injection grouting restored pile foundation bearing capacity and deformation of the support stopped. To assess the reliability and effectiveness of repairs were carried out statistical tests of the bridge. The test load used columns KAMAZ trucks, which were installed on the roadway of the bridge in the provisions to ensure maximum effort and strain in the calculated cross sections . The intensity of the test load was 86 +92 % of design load Н -13 , Т-13. During the tests measured : all deflections river consoles mid suspension and mid- span of 1-2 ; local fiber strain for counting the edges of the beams at voltages at mid-span 1 ... 2 m and at the reference section to the support 2; vertical and horizontal movement of the support 1. **presents some recommendations and suggestions for the further operation of the bridge.**

Keywords: bridge, load, transport performance, deformation, foundation, span, section console.

Анализ технического состояния моста. Для изучения грузоподъемности и транспортно-эксплуатационных характеристик мостов для примера взят мост в Липецкой области в зоне действия Тербунского лесхоза. Отверстие моста перекрыто по схеме 8,5+35,7+53,4+35,7+8,5 м. Габарит моста Г19,6+2х2,5 см; расчетные нагрузки – автомобильная Н-13, гусеничная НГ-60 и трамвайная Т-13.

Пролетное строение моста состоит из двух двухконсольных балок, которые сопрягаются друг с другом подвесным пролетным строением длиной 25,5 м. Высота консольных балок по длине пролета меняется с 5,15 м на опоре до 2,10 м – в середине пролета. Очертание нижнего пояса выполнено по круговой кривой.

В поперечном направлении пролетное строение коробчатое: 8 вертикальных стенок объединены верхней и нижней плитами и поперечными диафрагмами. Ширина коробки – 18,45 м. Сопряжение моста с насыпями подходов устроены с помощью свободных консолей длиной 8,5 м и переходных железобетонных плит длиной 1,5 м.

Сопряжение подвесного пролетного строения с консолями устроено с помощью опорных столиков. Материал пролетных строений – монолитный бетон.

Опорные части пролетных строений: подвижное – валковые металлические, неподвижные – металлические тангенциальные.

Опоры моста массивные из монолитного бетона возведены на свайных фундаментах. В основании опор забиты призматические железобетонные сваи сечением 35x35 см.

На проезжей части моста устроены две полосы автопроезда шириной по 6,175 м и трамвайные пути, которые расположены по оси моста. Покрытие автопроезда – асфальтобетон, трамвайные пути – на деревянных шпалах по балласту.

При завершении строительства моста было установлено, что левобережная крайняя опора дала значительную вертикальную осадку (330 мм) и крен в сторону подходной насыпи (59 мм). Выполненные проверочные расчеты предполагали, что и в будущем деформации не будут развиваться. Однако, прогнозы специалистов не оправдались, деформации опоры увеличивались и достигли критических величин. С увеличением деформаций опоры происходил наклон валков подвижных опорных частей и, к моменту обследования, создалась угроза полного завала валков набок. Вследствие расклинивания валков в стенки валкового колодца, в них образовались трещины раскалывания. Деформации опоры и деформация опирающегося на опору пролетного строения приводили к перелому продольного профиля моста, что нарушает плавность и безопасность проезда. Для выравнивания продольного профиля на мосту периодически укладывались дополнительные слои асфальтобетона и увеличивали высоту балластной призмы трамвайных путей. В результате этого, к моменту обследования моста толщина асфальтобетона достигла 48 см, а толщина балласта под шпалой 32 см. Укладка дополнительных слоев покрытия и балласта привело к увеличению постоянной нагрузки на 1 п.м. моста на 26 % по сравнению с проектной.

Кроме того, в результате недостатков текущего содержания проезжей части и водоотводных устройств на мосту, разрушение деформационных швов, вода и грязь с проезжей ча-

сти проникала и скапливалась в коробках пролетных строений, создавая дополнительную нагрузку на пролетные строения и опоры.

Для определения несущей способности опоры были проведены его испытания статической нагрузкой – 5 груженых автомобилей КАМАЗ. При этом, были установлены неупругие вертикальные деформации [1,2].

Основными причинами длительных непрекращающихся деформаций опоры являются недостаточная несущая способность свайного фундамента, переувлажнение грунтов в зоне береговой опоры, а также значительное увеличение постоянных и временных нагрузок на опору.

Другими серьезными дефектами, влияющими на долговечность и грузоподъемность моста, являются трещинообразование, коррозия арматуры и бетона в пролетных строениях.

Для восстановления несущей способности левобережной опоры моста по разработкам и при непосредственном участии авторов были проведены работы по инъекционному закреплению грунтов в зоне опоры. На основании лабораторных исследований был подобран состав для закрепления грунтов: карбомидная смола КФ-МГ-50 %, вода -50 % и хлористый аммоний в % от веса смолы. В теле конуса вокруг опоры были пробурены скважины и через специальные инъекторы под давлением в течение 16 дней нагнетали закрепляющий состав. В результате выполненных работ в теле конуса и за опорой образовался монолит с прочностью грунта в среднем 1,96 МПа.

После завершения работ по закреплению грунта были проведены испытания моста статической нагрузкой. Испытания моста показали, что и в результате инъекционного закрепления грунтов восстановлена несущая способность свайного фундамента, а деформации опоры прекратились.

Кроме работ по закреплению грунтов левобережной опоры были проведены по мосту ремонтные работы:

- с проезжей части моста удалили ранее уложенные слои асфальтобетона и уменьшили толщину балластной призмы;
- установили металлические ограждения безопасности, конструкция которых разработана на кафедре промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»;
- отремонтированы деформационные швы;
- установили временные страховочные опорные части;
- из внутренних полостей пролетных строений убрали воду и грязь: установили дополнительные водоотводные трубы в нижних плитах пролетных строений.

Выполненные ремонтные работы полностью восстановили несущую способность моста и значительно улучшили его транспортно-эксплуатационные характеристики.

После завершения ремонтных работ первой очереди за состоянием моста ведутся систематические наблюдения для разработки рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации.

Для оценки надежности и эффективности ремонтных работ были проведены статистические испытания моста. В качестве испытательной нагрузки использовались колонны грузовых машин КАМАЗ, которые устанавливались на проезжей части моста в положения, обеспечивающие максимальные усилия и деформации в расчетных сечениях.

Интенсивность испытательной нагрузки составила 86+92 % от расчетных нагрузок Н-13, Т-13.

В процессе испытаний измеряли:

- прогибы концов речных консолей, середины подвески и середины пролетного строения 1-2;
- местные фибровые деформации для подсчета напряжений в ребрах балок в середине пролета 1...2 м и в опорном сечении на опоре 2;
- вертикальные и горизонтальные перемещения опоры 1. Основные результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытаний

№	Места установки приборов		Прогибы, мм			
	по длине моста	относительно течения реки	замеренные	остаточные	теоретически	
1	Середина пролета 1-2	верховая	3,5	0,1	3,03	1,12
		низовая	3,7	0,4		1,09
2	Конец консоли 2-2	верховая	6,9	0,2	9,15	0,73
		низовая	6,6	0,0		0,72
3	Подвесная балка	верховая	12,7	0,1	17,57	0,72
		низовая	10,1	0,3		0,56
4	Конец консоли 3-3	верховая	4,3	0	6,8	0,63
		низовая	3,8	0		0,56

Измеренные деформации опоры 1 (горизонтальные и вертикальные) при загрузке испытательной нагрузкой составили 0,2...0,4 мм, что значительно меньше предельно допустимых.

В целом прочность и жесткость моста достаточна для пропуска нормативных временных нагрузок (проектных) [3-5].

Для определения степени влияния на несущую способность тротуарной консоли трубопроводов, подвешенных под тротуарами (газопровод и водовод диаметром по 630 мм) были выполнены расчеты.

Предельный изгибающий момент в корне консоли до вскрытия арматуры определяли по приближенной формуле

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{и}} \frac{R_a}{[\sigma_a]},$$

где $M_{\text{и}}$ - изгибающий момент по нормам проектирования;

R_a - расчетное сопротивление арматуры по действующим нормам проектирования;

$[\sigma_a]$ - допускаемое напряжение в арматуре по нормам года проектирования.

Таблица 2

Предельные изгибающие моменты

Нормы проектирования	1986	2000	2014
$M_{\text{пр}}$, в т.м.	26,07	39,10	44,4

Отличаются от полученных по приближенной формуле на 8...9 %.

Максимальные изгибающие моменты от внешних нагрузок, подсчитанные с учетом дополнительной нагрузки от трубопроводов, составили соответственно 34,8; 44,43 и 44,11 тсм в зависимости от норм проектирования.

При этом, нагрузки составили соответственно – 37, 13,6 и 0,8 % в зависимости от норм проектирования.

Здесь следует учесть, что расчеты, сделанные по нормам [6] и [7] не учитывают строения материалов и действительное техническое состояние сооружения на момент обследования. А потому, из анализа выполненных расчетов следует, что в тротуарных конструкциях в настоящее время имеет место перегрузки до 33 % [11].

Опыт эксплуатации консольных мостов свидетельствуют о том, что опорные столики являются наиболее слабым местом конструкции и здесь часто имеют место серьезные дефекты, влияющие на долговечность моста, а в отдельных случаях и снижающие грузоподъемность [6-8]. Расчеты узлов сопряжения опорных столиков, применяемые на практике, упрощены и не отвечают действительной работе конструкции. А поэтому, представляет интерес исследовать напряженное состояние опорных столбиков и дать предложения по их конструированию и усилению.

В результате анализа напряженного состояния опорного столика методом конечных разностей и исследования его модели представляется возможным предложить следующий

порядок расчета опорного столика на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок [4-6,9].

Необходимое количество горизонтальной арматуры в сечении I-I можно определить из условия восприятия растягивающего усилия

$$\delta_1 = A(1,58\beta + \mu), \quad \beta = \frac{x_a}{h}, \quad \mu = \frac{T}{A},$$

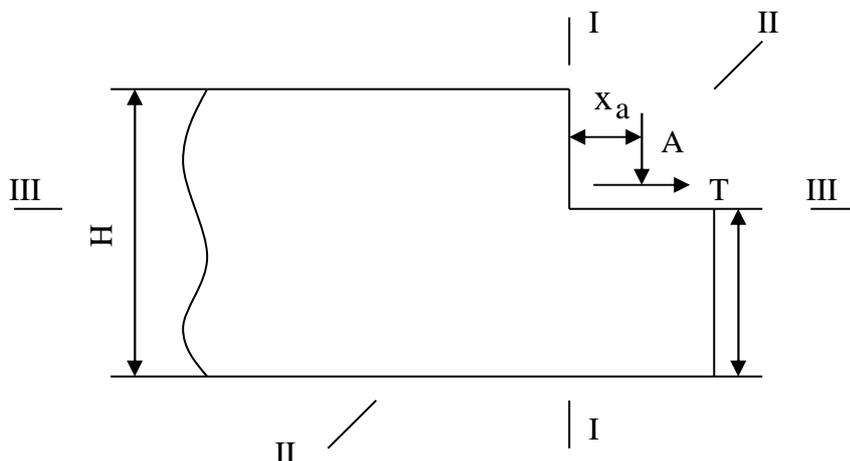
где x_a - плечо силы A относительно сечения I-I;

h - высота опорного столика;

δ_1 - растягивающее усилие в сечении II-II, воспринималось наклонной арматурой

$$S_2 = 0,7\gamma\beta hA,$$

где γ - коэффициент, зависящий от высоты столика h , $\gamma=0,065+0,040$ при изменении h от 0,50 до 0,80 м.



Вертикальное растягивающее усилие, действующее в горизонтальном сечении III-III

$$S_3 = k\gamma\beta A,$$

где k - коэффициент, зависящий от высоты H . При изменении H от 1,50 до 3,0 м k изменяется в пределах 38-47 [9-11].

Общие выводы и рекомендации:

1. Анализ технического состояния и исследования грузоподъемности моста показали высокую эффективность ремонтных работ, выполненных по рекомендациям авторов;
2. Левобережная опора моста имеет достаточную несущую способность, пластические деформации отсутствуют.
3. Для нормальной эксплуатации моста, повышения его грузоподъемности и долговечности следует выполнить следующие работы:
 - заменить временные страховочные опорные части на капитальные;
 - временные конструкции деформационных швов заменить на постоянные;

- толщину асфальтобетона на мосту довести до см, а существующую конструкцию трамвайных путей заменить на безбалластную;
- демонтировать трубопроводы, подвешенные на мосту;
- трещины в пролетных строениях заинъектировать эпоксидной композиций;
- повысить качество текущего содержания и продолжить систематические наблюдения за конструкциями моста.

Рекомендации и предложения по дальнейшей эксплуатации моста переданы эксплуатирующим организациям.

Список литературы

1. Автомобильные транспортные средства / Д.П. Великанов, В.Н. Вернацкий, Б.И. Нифонтов, И.П. Плеханов; под ред. Д.П. Великанова. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
- 2 Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. - Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
- 3 Кондрашова, Е.В. Определение эффективности транспортной работы лесовозной автомобильной дороги / Е.В. Кондрашова // Бюллетень транспортной информации (БТИ). Информационно-практический журнал. - №9 (171), сентябрь, 2009. – С.25-27.
- 4 Кондрашова, Е.В. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе / Е.В. Кондрашова, А.М. Волков. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. университета, 2010. – 232 с.
- 5 Курьянов, В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – Москва: Изд-во РАЕ, 2010. – 130 с.
- 6 Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Москва: издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
- 7 Рябова, О.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог / О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников. - Воронеж: Изд-во Воронеж.гос. универ., 2005. – 277 с.
- 8 Скрыпников, А.В. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорогах и дорогах общего пользования / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. - Москва: Издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.

9 Скрыпников, А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: [www. science- education.ru/ 100-5155](http://www.science-education.ru/100-5155).

10 Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т. В. Скворцова // Фундаментальные исследования. Москва, 2011. – № 8 (ч. 3). - С. 667-671.

11 Скрыпников, А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования (САПР АЛД) / А.В. Скрыпников. - Воронеж: Издательство Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2008. – 387 с.

Рецензенты:

Скрыпников А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационные технологии моделирования и управления ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г.Воронеж.

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г.Воронеж.