

А.А. Пустынников

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация

ОБСЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ НАРЫН–ЛУГОКАН ДЛЯ ВВОДА ЕЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ: ОБМЕРНЫЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОСТА 3×11,5 ПК 1106+09

Аннотация. Проведена проверка и обследование железнодорожного железобетонного моста 3×11,5 м на наличие дефектов. Впервые дефекты были замечены в 2015 г., регулярное наблюдение началось с 2018 г. силами ООО «ПЧ-17». Сделаны фотоснимки дефектов моста с разных сторон, на которых можно отчетливо увидеть данные дефекты. Исследование технического состояния конструкций, включающее ознакомление с технической документацией, осмотр сооружения, инструментальные измерения, выполняемые с целью оценки уровня потребительских свойств сооружения и выработки рекомендаций по его эксплуатации.

Обследование мостового сооружения или трубы, включающее дополнительные исследования, необходимые для разработки рекомендаций по способам и объемам восстановительных работ. Работы по обследованию и испытаниям мостов и труб должны выполняться специализированными организациями, независимыми от проектных и строительных организаций, обеспеченными необходимым контрольно-измерительным оборудованием и квалифицированными специалистами

При наличии на мосту нескольких одинаковых конструкций (пролетных строений, опор), изучение работы которых испытания в полном объеме допускается проводить на одной из конструкций. Остальные конструкции могут подвергаться (выборочно) менее подробным испытаниям (измерение прогибов).

Для оценки размеров вертикальной деформации конструктивных элементов моста выполнена геодезическая съемка данного моста, его нивелировка. Проведены замеры дефектов и их фотосъемка, также был высчитан эксцентриситет моста. Величина эксцентриситета определена как разность расстояний от внешней грани головки левого и правого рельса до внешней кромки борта пролетного строения. Направление смещения определено относительно от оси пролетного строения по ходу километража.

Ключевые слова: Дефект, опора, пролетное строение, эксцентриситет, деформация, геодезическая съемка, нивелирование.

А.А. Pustynnikov

Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

INSPECTION OF MANMADE STRUCTURES OF THE NARYN-LUGOKAN RAILWAY FOR ITS COMMISSIONING: MEASURING WORKS OF THE RAILWAY FERROCONCRETE BRIDGE 3×11,5 m PC 1106+09

Abstract. The inspection and inspection of the railway ferroconcrete bridge 3×11,5 meters for the presence of defects was carried out. The defects were first noticed in 2015, regular monitoring began in 2018 by the forces of the PP-17. Photographs of bridge defects were taken from different sides, on which these defects can be clearly seen. A study of the technical condition of structures, including familiarization with technical documentation, inspection of the structure, instrumental measurements performed to assess the level of consumer properties of the structure and develop recommendations for its operation.

Examination of a bridge structure or pipe, including additional studies necessary to develop recommendations on methods and volumes of restoration work. Work on inspections and tests of bridges and pipes should be carried out by specialized organizations independent of design and construction organizations, provided with the necessary control and measuring equipment and qualified specialists

If there are several identical structures on the bridge (superstructures, supports), the study of the work of which tests in full are allowed to be carried out on one of the structures. The remaining structures can be subjected (selectively) to less detailed tests (measurement of deflections).

To assess the size of the vertical deformation of the structural elements of the bridge, a geodetic survey of this bridge, its leveling, was performed. Measurements of defects and their photographing were carried out. The eccentricity of the bridge was also calculated. The value of the eccentricity is defined as the difference between the distances from the outer face of the head of the left and right rail to the outer edge of the side of the superstructure. The direction of displacement is determined relative to the axis of the superstructure along the mileage.

Keywords: *defect, support, superstructure, eccentricity, deformation, geodetic survey, leveling.*

Введение

Причиной назначения работ по обмеру железобетонного моста (ЖБМ) $3 \times 11,5$ м (ПК1106+09) (рис. 1) является наличие дефекта, выраженного в повреждении опорных частей балок первого пролетного строения. Дефект в одинаковой степени отмечается на обеих балках. На подвижных опорных частях правого конца железобетонных балок произошел отрыв закладной детали листа верхнего балансира, образовавшиеся трещины привели к отколу бетона торцевой стенки и разрушению диафрагмы [1–3].

В рамках работ выполнены визуальный осмотр, фотографирование и линейные измерения элементов моста:

1. Произведен обмер стыков пролетных строений, конструкций опор и зазоров перильного ограждения.

2. Измерены высотные отметки по опорам, пролетным строениям и земляному полотну на подходах к мосту.

3. Определен эксцентриситет нагрузок пролетных строений.

Для определения линейных размеров использовались мерные ленты – металлическая (7,5 м) и тесьмовая (15 м), а также лазерный дальномер Leica Disto. Высотные отметки определены нивелиром 4Н-3КЛ. Отметки представлены в условной системе.



a



б

**Рис. 1. Общий вид моста по ходу пикетажа:
a – справа; *б* – вид слева**

Обследование моста

Впервые деформация была зафиксирована в 2015 г., когда в зимний период подвижная опора первого пролетного строения выбрав свободный ход перемещения, вырвала закладную деталь с приваренным к ней верхним листом балансира опорной части, что привело к образованию трещина в зоне закладной детали [4–6].

Регулярное наблюдение за мостом началось в 2018 г., когда силами эксплуатирующей организации ПЧ-17 были установлены контрольные марки на трещинах первого пролетного строения, выполнена оценка прочности бетона пролетных строений.

При осмотре моста в августе 2018 г. (рис.2) было выявлено следующее:

1. Проявился дефект в подвижной опорной части правой и левой балок правого конца первого пролетного строения ПС1.
2. Произошел отрыв и смещение закладной детали плиты и листа верхнего балансира подвижной опоры, величина смещения до 5 мм.
3. Образовалась трещина в зоне опорной плиты подвижной опоры, раскрытие трещины до 5 мм.



Рис. 2. Состояние пролетного строения в августе 2018 г. (правая балка)

Предположительной причиной дефекта тогда рассматривалась ошибка при монтаже – неправильное устройство подвижной опоры, неверно установленный размер возможного перемещения. Конструктивная величина свободного хода перемещения подвижной опоры оказалась меньше потребной, это привело к тому, что при температурном сокращении балки сверх расчетного, свободный ход был выбран и дальнейшее сокращение балки привело к отрыву закладной детали опорной части [3, 7].

В октябре–ноябре 2020 г. в ходе работ по анализу замечаний «Роспотребнадзора» был выполнен детальный осмотр конструкции моста.

На рис. 4–7 представлен продолжающийся процесс развития дефекта пролетного строения ПС1: размер смещения закладной детали опорной части достиг 31 мм; трещина бетона увеличилась до 20 мм; отколотый бетон торца балки не связан с общей конструкцией и удерживается за счет арматуры; идет разрушение бетона диафрагмы [8, 9].



Рис.4 Левая балка пролетного строения



Рис.5 Правая балка пролетного строения



Рис.6 Опорная часть левой балки



Рис. 7. Опорная часть правой балки

Наблюдения последнего периода свидетельствуют о продолжающемся изменении конструктивных параметров моста. На фото представлен зазор секций перильного ограждения пролетных строений. За период с апреля по декабрь 2020 г. размер зазора увеличился на 19 мм – с 60 мм до 79 мм.



Рис. 8. Зазор секции перильного ограждения

Таким образом, можно заключить, что процессы деформации конструкции моста не прекратились, развития дефекта продолжается. При этом динамика процесса является нарастающей.

Так же была проведена геологическая разведка грунтов под опорами моста [7, 10, 11]. Геологическое строение грунтов основания моста приведено на рис. 9.

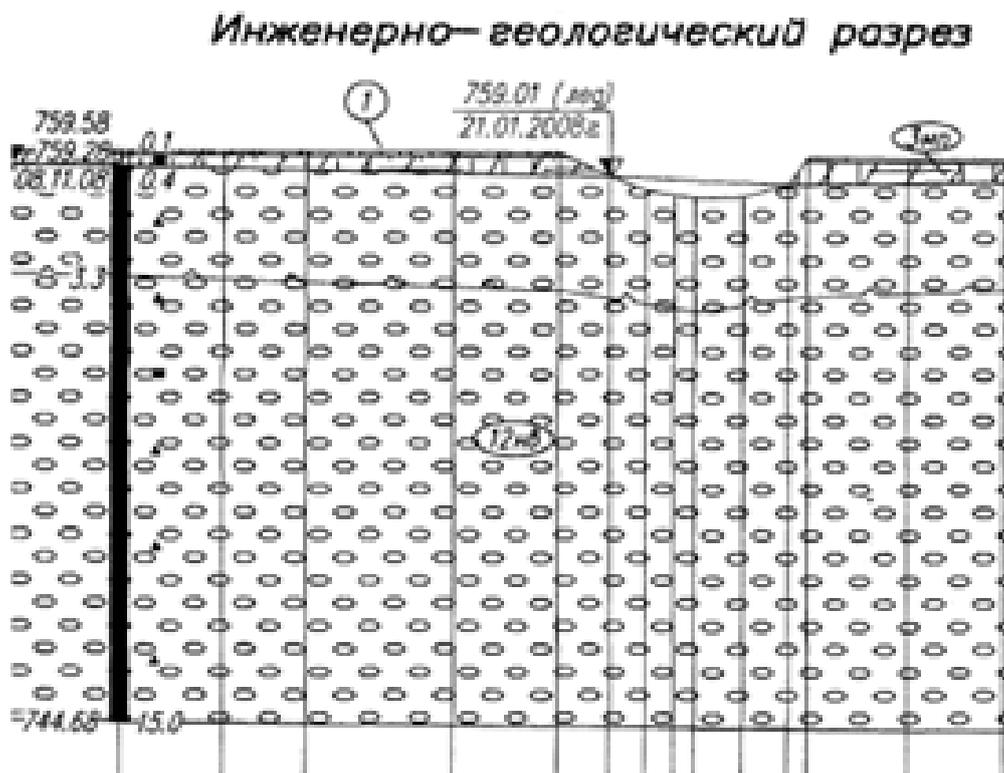


Рис. 9. Инженерно-геологический разрез

В табл. 1 приведено описание грунтов основания.

Таблица 1. Грунты основания

Номер инженерно-геологического элемента	Наименование грунта	Мощность слоя, м
1	Почвенно-растительный слой с корнями деревьев	0,1
3 мп	Суглинок тяжелый песчанистый среднезоторфованный мягкопластичный	0,4
12 нв	Галечниковый грунт с песком мелким до 35 % насыщенный водой	15,0

Из табл. 1 видно, что на всей глубине в основании залегает насыщенный водой галечниковый грунт с мелким песком.

Глубина сезонного промерзания грунта составляет 3,3 м. Наличия вечной мерзлоты на участке не установлено.

Для оценки размеров вертикальной деформации конструктивных элементов моста, выполнена нивелировка опор, пролетных строений и земляного полотна на подходных участках. Определено фактическое, текущее состояния элементов моста. Съёмка выполнена в условной системе, без привязки к реперной сети. По причине отсутствия данных исполнительной съёмки, сравнительный анализ проведен в сопоставлении с данными рабочего проекта [12–15].

При нивелировании определены отметки верха площадок плиты ростверка и подферменников на всех опорах. Измерения проведены по правой стороне моста. На береговых опорах отметки определялись в двух точках: т. 1 – край блока ростверка; т. 2 – подферменник в середине опорной части (рис. 9). На промежуточных опорах в четырех точках: т. 1, т. 4 правый и левый край плиты ростверка; т. 2, т. 3 – подферменник против левой и правой опорной части в месте опирания пролетного строения (рис. 10).



Рис. 9. Подферменник в середине опорной части левого устоя



Рис. 10. Подферменник против левой и правой опорной части в месте опирания пролетного строения

Изменения линейной геометрии моста наиболее заметны по отклонению фактических размеров стыковых зазоров между пролетными строениями относительно их проектных значений.

На блоке ростверка опоры установлена поддерживающая конструкция в виде клетки из шпал, поставленная ПЧ-17 с целью предотвращения возможного обрушения пролетного строения. Визуально стык находится в удовлетворительном состоянии, фактический размер зазора 55 мм, как по правой, так и по левой стороне. Согласно проекту величина зазора равна 66 мм, изменение 11 мм в сторону уменьшения.

Был высчитан эксцентриситет моста. Величина эксцентриситета определена как разность расстояний от внешней грани головки левого и правого рельса до внешней кромки борта пролетного строения. Направление смещения определено относительно оси пролетного строения по ходу километража. Измеренные значения эксцентриситета приведены в табл. 2. Эксцентриситет на опорах Оп1 и Оп3 несколько превышает нормативную величину.

Таблица 2. Эксцентриситет нагрузок

Место определения эксцентриситета	Величина Δ(мм) и направление смещения
Стык шкафного блока Оп1 и ПС1	64 мм влево
Стык ПС1 и ПС2 (Оп2)	50 мм влево
Стык ПС2 и ПС3 (Оп3)	57 мм влево
Стык ПС3 и Шкафного блока Оп4	20 мм влево

Максимальный эксцентриситет наблюдается в начале моста, в зоне первой береговой опоры (Оп1) и двух пролетных строений (ПС1, ПС2). Величина отклонения незначительно превышает нормативное значение.

Предположительно эксцентриситет образовался на этапе строительства, в процессе монтажа верхнего строения пути.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. ЖБМ 3×11,5 м (ПК 1106+09) находится в критическом предаварийном состоянии.
2. Имеют место следующие неисправности:

– разрушена подвижная опорная часть правого конца первого пролетного строения ПС1. Вырвана и смещена на 31 мм закладная деталь крепления листа верхнего балансира, отколот бетон торца пролетного строения – раскрытие трещины 20 мм, отколотый кусок не имеет структурной связи с бетоном пролетного строения, удерживается за счет арматуры. Картина разрушения одинакова на правой и левой балках. Подвижная опора первого пролетного строения ПС1 не работает;

– подвижная опорная часть правого конца второго пролетного строения ПС2 на третьей опоре Оп3 находится в предельном состоянии. Смещение листа верхнего балансира относительно нижнего составляет 31 мм.

На основе данных выводов следует сделать следующие рекомендации по исправлению дефектов моста:

1. На основе инженерных изысканий запланировать комплекс капитальных работ по устранению критических недостатков конструкции моста, а именно:

– выполнить укрепление фундаментов опор, исключая их дальнейшую деформацию;

– заменить дефектное пролетное строение ПС1 с разрушенной опорной частью;

– выполнить ремонт конструкции опорных частей второго пролетного строения ПС2 на третьей опоре Оп3.

2. Организовать постоянное наблюдение за процессами деформации моста:

– заложить высотные и плановые репера для контроля геометрии моста;

– заложить термометрические скважины для оценки параметров термовлажностных процессов в грунтах основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирпичников К.А., Линейцев В.Ю., Нагаева И.А. Обследование участка новой железной дороги Нарын – Лугокан для ввода в постоянную эксплуатацию // Молодая наука Сибири. 2020. № 3 (9). С. 76–80.
2. Линейцев В.Ю., Кирпичников К.А., Шестакова У.Д. Тяговые расчеты при эксплуатации железной дороги Нарын – Лугокан // Молодая наука Сибири. 2020. № 3 (9). С. 81–85.
3. Плотникова Н.Д., Кирпичников К.А. Методика усиления фундаментов опор железобетонного моста с нагнетанием в грунт под давлением цементного раствора специально подобранного состава // Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи». Иркутск: ИрГУПС, 2018. С. 304–306.
4. Мосты и тоннели на железных дорогах / В.О. Осипов, В.Г. Храпов, Б.В. Бобриков и др. М.: Транспорт, 1988. 367 с.
5. Честной В.М. Железобетонные мосты: температура и надежность. М.: Транспорт, 1991. 135 с.
6. Ефимов П.П. Проектирование мостов. Балочные сплошностенчатые цельнометаллические и сталежелезобетонные мосты. М.: УМЦ ЖДТ, 2007. 123 с.
7. Инженерные изыскания для строительства / К.А. Кирпичников, В.Ю. Линейцев, Е.В. Непомнящих и др. Чита: ЗаБИЖТ, 2014. 166 с.
8. Кручинкин А.В. Сборно-разборные временные мосты. М.: Транспорт, 1987. 191 с.
9. Богданов Г.И. Проектирование мостов и труб. Разводные мосты. М.: УМЦ ЖДТ, 2013. 248 с.
10. Непомнящих Е.В., Кирпичников К.А. Диагностика состояния железнодорожного пути. Чита: ЗаБИЖТ, 2012. 109 с.
11. Ковенькин Д.А., Алтынников Д.С. Расчет упругих характеристик железнодорожного пути // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 1. С. 471–475.
12. Подвербный В.А., Ченцова Е.О. Выбор оптимального варианта комплекса защитных сооружений от размыва откоса и заиливания железнодорожного моста на основе метода идеальной точки // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2012. Т. 1. С. 465–472.
13. Баранов Т.М., Быкова Н.М., Забияка А.А. Моделирование поврежденных металлических пролетных строений железнодорожных мостов // Материалы XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы». Новосибирск: СГУПС, 2020. С. 63–67.
14. Баранов Т.М., Толстиков Е.О. К вопросу о трещиностойкости наклонных сечений неразрезных железобетонных пролетных строений мостов // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 525–529.
15. Чернецкая И.С. Принятие решений при выборе способов реконструкции железнодорожного пути // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 543–547.

REFERENCES

1. Kirpichnikov K.A., Linitsev V.Yu., Nagaeva I.A. Obsledovanie uchastka novoi zheleznoi dorogi Naryn – Lugokan dlya vvoda v postoyannuyu ekspluatatsiyu [Survey of the section of the new Naryn – Lugokan railway for permanent commissioning]. *Molodya nauka Sibiri [Young Science of Siberia]*. 2020, No 3 (9), pp. 76–80.
2. Lineitsev V.Yu., Kirpichnikov K.A., Shestakova U.D. Tyagovye raschety pri ekspluatatsii zheleznoi dorogi Naryn – Lugokan [Traction calculations during the operation of the Naryn – Lugokan railway]. *Molodya nauka Sibiri [Young Science of Siberia]*. 2020, No 3 (9), pp. 81–85.
3. Plotnikova N.D., Kirpichnikov K.A. Metodika usileniya fundamentov opor zhelezobetonnoy mosta s nagnetaniem v grunt pod davleniem tsementnogo rastvora spetsial'no podobranogo sostava [Method of strengthening the foundations of the supports of a ferroconcrete bridge with injection into the ground under pressure of a cement mortar of a specially selected composi-

tion]. *Materialy Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Bezopasnost' transporta i slozhnykh tekhnicheskikh sistem glazami molodezhi»* [Proceedings of the All-Russian Youth Scientific and Practical Conference «Safety of transport and complex technical systems through the eyes of youth»]. Irkutsk, 2018, pp. 304–306.

4. Osipov V.O., Khrapov V.G., Bobrikov B.V., Rusakov I.M. Mosty i tonneli na zheleznykh dorogakh [Bridges and tunnels on railways]. Moscow: Transport Publ., 1988. 367 p.

5. V.M. Chestnoi. Zhelezobetonnye mosty: temperatura i nadezhnost' [Ferroconcrete bridges: temperature and reliability]. Moscow: Transport Publ., 1991. 135 p.

6. Efimov P.P. Proektirovanie mostov. Balochnye sploshnostenchatye tsel'nometallicheskie i stalezhelezobetonnye mosty [Design of bridges. Beam solid-wall all-metal and steel-ferroconcrete bridges]. Moscow: UMTS ZhDT Publ., 2007. 123 p.

7. Kirpichnikov K.A., Lineitsev V.Yu., Nepomnyashchikh E.V., Voronchikhin K.Yu. Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva [Engineering surveys for construction]. Chita: ZabIZhT Publ., 2014. 166 p.

8. Kruchinkin A.V. Sbornno-razbornye vremennye mosty [Prefabricated temporary bridges]. Moscow: Transport, 1987. 191 p.

9. Bogdanov G.I. Proektirovanie mostov i trub. Razvodnye mosty [Design of bridges and pipes. Drawbridges]. Moscow: UMTS ZhDT, 2013. 248 p.

10. Nepomnyashchikh E.V., Kirpichnikov K.A. Diagnostika sostoyaniya zheleznodorozhnogo puti [Diagnostics of the condition of the railway track]. Chita: ZabIZhT Publ., 2012. 109 p.

11. Kovenkin D.A., Altynnikov D.S. Raschet uprugikh kharakteristik zheleznodorozhnogo puti [Calculation of elastic characteristics of a railway track]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region]. 2018, Vol. 1, pp. 471–475.

12. Podverbnyi V.A., Chentsova E.O. Vybora optimal'nogo varianta kompleksa zashchitnykh sooruzhenii ot razmyva otkosa i zailivaniya zheleznodorozhnogo mosta na osnove metoda ideal'noi tochki [Choosing the optimal variant of a complex of protective structures against erosion of the slope and silting of a railway bridge based on the method of an ideal point]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region]. 2012, Vol. 1, pp. 465–472.

13. Baranov T.M., Bykova N.M., Zabayaka A.A. Modelirovanie povrezhdennykh metallicheskiykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov [Modeling of damaged metal superstructures of railway bridges]. *Materialy XI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Polytransportnye sistemy»* [Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference «Polytransport systems»]. Novosibirsk, 2020, pp. 63–67.

14. Baranov T.M., Tolstikov E.O. K voprosu o treshchinostoikosti naklonnykh sechenii nerazreznykh zhelezobetonnykh proletnykh stroenii mostov [On the issue of crack resistance of inclined sections of continuous ferroconcrete superstructures of bridges]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region]. 2016, Vol. 1, pp. 525–529.

15. Chernetskaya I.S. Prinyatie reshenii pri vybore sposobov rekonstruktsii zheleznodorozhnogo puti [Decision-making when choosing ways to reconstruct a railway track]. *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region]. 2016, Vol. 1, pp. 543–547.

Информация об авторе

Пустынников Александр Андреевич – студент пятого курса кафедры строительства железных дорог, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: sashka19011@gmail.com

Information about the author

Alexander Andreevich Pustynnikov – fifth-year student of the Department of the Construction of railways, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: sashka19011@gmail.com