

УДК 624.21:620.178

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Бондарь И.С.

*ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан
ivan_sergeevich_08@mail.ru*

Квашнин М.Я.

*ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан
kvashnin_mj55@mail.ru*

Абдрешов Ш.А.

*ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан
sh.abdrashov@alt.edu.kz*

Оспанова З.К.

*Международная Образовательная Корпорация (МОК),
zere_kanatovna@mail.ru*

Мамедова Ж.Э.

*ALT Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан
tamedova_zh@gmail.ru*

АННОТАЦИЯ

В статье приводится анализ напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций металлической фермы железнодорожного моста через реку Иртыш в городе Семей. Полученные данные измерений пролетных строений длиной $L_p = 109,2$ м свидетельствуют о накоплении усталостных повреждений в элементах проезжей части ферм под воздействием поездов. Эти повреждения приводят к усталостному разрушению заклепок, которые соединяют продольные балки с поперечными, и к образованию выколов в верхних поясах продольных балок.

Результаты исследования могут быть рекомендованы для внедрения в систему мониторинга технического состояния, с использованием автоматизированных систем непрерывного мониторинга на вновь возводимых или реконструируемых сложных и уникальных инфраструктурных объектах железнодорожного транспорта.

АҢДАТПА

Мақалада Семей қаласындағы Ертіс өзені арқылы өтетін темір жол көпірінің металл фермасының негізгі тірек құрылымдарының кернеулі-деформацияланған жай-күйіне талдау келтірілген. Ұзындығы $L_p = 109,2$ м аралық құрылыстарды өлшеудің алынған деректері поездардың әсерінен фермалардың жүру бөлігінің элементтерінде шаршау зақымдануларының жинақталғанын көрсетеді. Бұл зақымданулар бойлық арқалықтарды көлденең арқалықтармен байланыстыратын тойтармалардың шаршап - шалдығуына және бойлық арқалықтардың жоғарғы белдеулерінде тесіктердің пайда болуына әкеледі.

Зерттеу нәтижелері теміржол көлігінің жаңадан салынатын немесе қайта жаңартылатын күрделі және бірегей инфрақұрылымдық объектілерінде үздіксіз мониторингтің автоматтандырылған жүйелерін пайдалана отырып, техникалық жай-күйді мониторингтеу жүйесіне енгізу үшін ұсынылуы мүмкін.

ANNOTATION

The article provides an analysis of the stress-strain state of the main load-bearing structures of the metal truss of the railway bridge over the Irtysh River in the city of Semey. The obtained measurement data of superstructures with a length of $L_p = 109.2$ m indicate the accumulation of fatigue damage in the elements of the roadway of farms under the influence of trains. These damages lead to fatigue failure of the rivets that connect the longitudinal beams with the transverse ones, and to the formation of gouges in the upper belts of the longitudinal beams.

The results of the study can be recommended for implementation into the technical condition monitoring system, using automated continuous monitoring systems at newly constructed or reconstructed complex and unique infrastructure facilities of railway transport.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

тензометрия, деформация и напряжения, вибродиагностика, неразрушающий контроль, мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Искусственные сооружения, такие как мосты, транспортные развязки, подходные и высокие насыпи, насыпи на слабых основаниях, автомобильные и железные дороги, играют ключевую роль в транспортной инфраструктуре и должны соответствовать современным требованиям безопасности, надежности и долговечности. Важным аспектом их эксплуатации является организация текущего содержания и капитального ремонта, которые помогают поддерживать требуемые эксплуатационные характеристики. К сожалению, на протяжении нескольких десятилетий внимание в основном уделялось устранению уже имеющихся неисправностей, в то время как профилактическое обслуживание и мониторинг состояния объектов оставались на второстепенном плане. Это подход привел к значительному физическому износу конструкций, особенно учитывая, что многие сооружения были построены более 100 лет назад по устаревшим стандартам, которые не учитывали современных нагрузок и факторов, таких как изменяющиеся климатические условия и увеличившийся объем грузоперевозок. В результате такой недостаточной профилактической работы многие искусственные сооружения утратили свои проектные эксплуатационные параметры - снизились допустимые поездные нагрузки и возникли ограничения на скорости движения. Это создает опасность не только для безопасности движения, но и для общей эффективности работы транспортной системы.

Для решения этих проблем необходимо:

- Увеличить внимание к профилактическому обслуживанию, регулярной проверке и своевременному мониторингу состояния

искусственных сооружений;

- Разрабатывать новые нормативные документы, которые бы отражали современные требования к безопасности и эксплуатационным характеристикам;

- Инвестировать в исследования и новые технологии, которые помогут продлить срок службы существующих сооружений;

- Рассматривать возможность реконструкции или замены тех объектов, которые не могут быть реабилитированы.

Таким образом, интеграция современных научных подходов и технологий в управление искусственными сооружениями является важнейшей задачей для обеспечения их долгосрочной эксплуатации и безопасности.

Процесс определения грузоподъемности мостов [1-3], включает в себя сравнение классов пролетных строений с классами подвижного состава [4], что критично для обеспечения безопасной эксплуатации. Использование соответствующих руководств для оценки состояния мостов и их элементов уже применяется в практике, и это важный шаг к предотвращению возможных аварий.

В случае выявления дефектов или повреждений, их влияние на грузоподъемность должно быть оценено, что может потребовать дополнительных испытаний [5]. Это подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния мостов и своевременного проведения ремонтных работ в соответствии с установленными требованиями.

Профилактика подобных инцидентов требует комплексного подхода, включающего мониторинг состояния инфраструктуры, строгие требования к качеству проводимых ремонтов и обучение персонала, ответственного за эксплуатацию мостов.



Рисунок 1 - Тензометрический измерительно-вычислительный комплекс для измерения относительных деформаций и напряжений в конструкциях
Figure 1. Strain gauge measuring and computing complex for measuring relative deformations and stresses in structures



Рисунок 2 - Измерительно-вычислительный комплекс для динамических испытаний конструкций искусственных сооружений

Figure 2. Measuring and computing complex for dynamic testing of artificial structures

Для контроля качества изготовления железобетонных конструкций мостов или получения необходимой расчетной информации при оценке их грузоподъемности требуется определить параметры армирования. Толщину защитного слоя и расположения арматуры в железобетонных конструкциях определяют с помощью локаторов арматуры (рис. 3, а). Для оценки грузоподъемности и надежности сооружения необходимо знать механические характеристики материалов, из которых изготовлены его несущие конструкции. Измерить прочность стали и бетона можно в лабораторных и полевых условиях.

Лабораторные исследования дают наиболее точные результаты, однако для их проведения следует взять пробы материала, а это связано с повреждением конструкции. Также трудно обеспечить статистическую достоверность данных из-за невозможности изготовить достаточное количество образцов для испытаний. Полевые неразрушающие методы контроля позволяют получить прочностные характеристики материалов непосредственно на сооружении. Метод пластических деформаций, метод ударного импульса и ультразвуковой метод применяют для определения прочности металла и бетона. Метод упругого отскока, метод отрыва, метод скалывания ребра и метод отрыва со скалыванием используют исключительно при испытании прочности бетона.

Ультразвуковой метод определения прочности бетона, основанный на зависимости между прочностью материала и скоростью распространения в нем ультразвука, реализован в приборе Пульсар-2.2 (рис. 3, б).

Во время обследований и испытаний сооружений часто возникает необходимость измерить толщину металлических элементов при одностороннем доступе к ним. В таких случаях применяют ультразвуковые толщиномеры (рис. 3, в).

Следует отметить, что в лаборатории имеются приборы, реализующие 4 метода определения прочности бетона: метод пластических деформаций (молоток Кашкарова), метод отрыва со скалыванием (прибор ПИБ), метод ударного импульса (ИПС-МГ4.03) и ультразвуковой метод (Пульсар-2.2). Измеритель прочности бетона методом ударного импульса представлен на рисунке 4, а.

Поверхностные трещины выявляются при осмотре конструкций, а в необходимых случаях для обнаружения трещин удаляют защитные или отделочные покрытия. Ширину раскрытия таких трещин обычно определяют с помощью микроскопов МПБ-3 (рис.4, б).



Рисунок 3 –
Приборы по неразрушающему контролю
а) прибор для поиска арматуры и измерения
защитного слоя бетона Profometer PM-630;
б) измеритель времени и скорости
распространения ультразвука Пульсар-2.2;
в) толщиномер ультразвуковой А 1208

Figure 3. Non-destructive testing instruments
а) a device for searching for reinforcement and
measuring the protective layer of concrete
Profometer PM-630;
b) Pulsar-2.2 ultrasound time and speed meter;
c) ultrasonic thickness gauge A 1208



Рисунок 4 –
Приборы по неразрушающему контролю:
а) измеритель прочности бетона
электронный ИПС-МГ4.03;
б) микроскоп отсчетный МПБ-3

Figure 4. Non-destructive testing instruments:
а) electronic concrete strength meter IPS-MG4.03;
b) reading microscope MPB-3

Нормами проектирования конструкций мостов [7, п. 1.43] регламентируются допустимые прогибы пролетных строений мостовых сооружений. При испытаниях контролируют соответствие фактических перемещений конструкции нормативным значениям. Прогибы пролетных строений определяют с помощью прогибомеров с проволоочной связью 6-ПАО (рис. 5).

На рисунке 6 показан измерительно-вычислительный комплекс АСИС-1 для проведения испытаний грунтов в лабораторных условиях. Комплекс оборудован приборами, которые позволяют определять механические свойства песчаных и глинистых грунтов, как в условиях плоской деформации (срезной прибор), так и в условиях сложного напряженного состояния (прибор трехосного сжатия – стабилومتر). В состав комплекса входят также компрессионный прибор, при помощи которого можно определять компрессионные модули деформации песчаных и глинистых грунтов, и степень просадочности глинистых грунтов, и прибор одноосного сжатия, с помощью которого можно производить одноосные испытания скальных пород прочностью до 1 МПа с целью определения расчетного сопротивления и прочностных характеристик.



Рисунок 5 - Прогибомеры 6-ПАО
Figure 5. 6-PAO deflection meters

Прочностные (угол внутреннего трения и удельное сцепление) характеристики, определяемые при помощи оборудования комплекса, используются в расчетах устойчивости железнодорожных насыпей и выемок. А деформационные (модуль деформации, коэффициент сжимаемости, коэффициент бокового расширения) - в расчетах их напряженно-деформированного состояния.

На рисунке 7 представлен комплект полевой лаборатории ПЛЛ-9 для проведения испытаний грунтов в полевых условиях. С помощью данного комплекта, непосредственно на объекте, можно определять физико-механические свойства песчаных и глинистых грунтов - их разновидности и состояние, влажность, плотность, сжимаемость, степень просадочности.

Выявление и анализ условий, при которых динамические деформации и перемещения в системе «мост-поезд» имеют наиболее неблагоприятный в эксплуатации характер, профессор Н.Г. Бондарь считал первостепенной задачей, подлежащей изучению в рамках проблемы взаимодействия мостов и подвижного состава [8]. Так как нагрузка от подвижного состава сосредоточена в местах расположения осей тележек, прогибы пролетного строения в каждый момент времени будут соответствовать изгибным деформациям и всегда можно найти два ее положения, дающие наибольший и наименьший статический прогибы пролетного строения. От измеренных значений изгибных деформаций, зная класс бетона и расчетный модуль упругости материала конструкции, согласно закону Гука, можно осуществить переход к фактическим напряжениям в конструкции моста.



Рисунок 6 - Комплекс измерительно-вычислительный АСИС-1
Figure 6. ASIS-1 measuring and computing complex



Рисунок 7 - Полевая лаборатория ПЛЛ-9
Figure 7. PLL-9 field laboratory

МЕТОДОЛОГИЯ РАБОТЫ

В качестве иллюстрации возможностей мобильного комплекса для тензометрических измерений (рис. 1), ниже приведены некоторые результаты измерений относительных изгибных деформаций металлической фермы железнодорожного моста через р. Иртыш, г. Семей. Мониторинг проводился в течение недели (в светлое время суток – 7 дней). Производились записи всех проходящих поездов с целью последующей обработки и анализа напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций моста [9].

Рисунок 8 иллюстрирует схему полигональных ферм пролетных строений 1-5. Места расстановки тензодатчиков на элементах ферм показаны на рисунке 9. Тензорезисторы №1 и №2 установлены, соответственно, на нижних поясах левой и правой фермы. На продольных балках проезжей части элемента 8-9 установлены тензорезисторы №3 и №4 (соответственно, на правой и левой балках). На продольных балках проезжей части элемента 7-8 установлены тензорезисторы №5 и №6 (соответственно, на правой и левой балках).

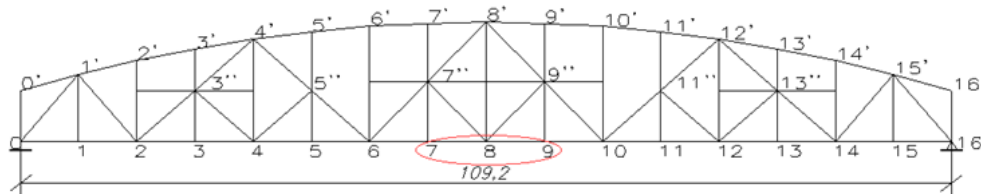


Рисунок 8 – Схема полигональной фермы пролетных строений 1-5
Figure 8. Scheme of a polygonal truss for spans 1-5

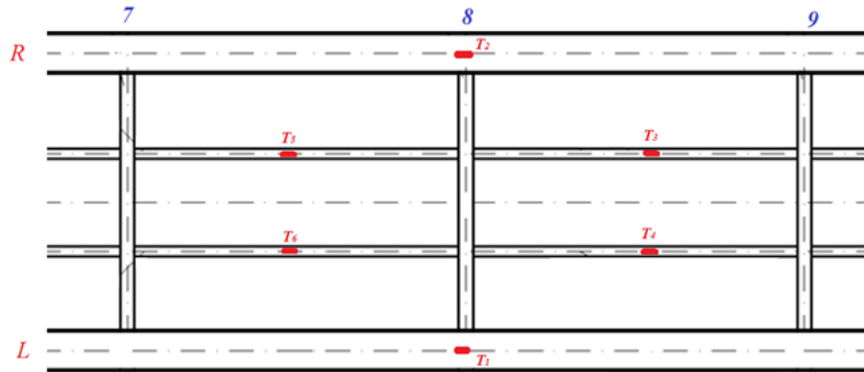


Рисунок 9 – Места установки тензорезисторов на элементах пролетных строений 1 и 5
T1 – Тензорезистор №1 (нижний пояс левой фермы); T2 – Тензорезистор №2 (нижний пояс правой фермы); T3 – Тензорезистор №3 (правая продольная балка проезжей части, элемент 8-9); T4 – Тензорезистор №4, (левая продольная балка проезжей части, элемент 8-9); T5 – Тензорезистор №5 (правая продольная балка проезжей части, элемент 7-8); T6 – Тензорезистор №6 (левая продольная балка проезжей части, элемент 7-8)

Figure 9. Installation locations of strain gauges on elements of spans 1 and 5
T1 – Strain gauge No. 1 (lower chord of the left truss); T2 – Strain gauge No. 2 (lower chord of the right truss); T3 – Strain gauge No. 3 (right longitudinal beam of the roadway, element 8-9); T4 – Strain gauge No. 4, (left longitudinal beam of the roadway, element 8-9); T5 – Strain gauge No. 5 (right longitudinal beam of the roadway, element 7-8); T6 – Strain gauge No. 6 (left longitudinal beam of the roadway, element 7-8)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Напряженное состояние нижних поясов полигональных ферм пролетного строения 1 представлено на рис. 10. Из представленных диаграмм видно, что напряжения в нижних поясах левой и правой ферм пролетного строения 1 отличаются незначительно. Наибольшая разница составила 7,4% (выборка за день №944). То есть нижние пояса ферм пролетного строения 1 под подвижной нагрузкой работают практически одинаково. Разница в 7,4% находится в пределах допустимой погрешности для исследований подобного рода.

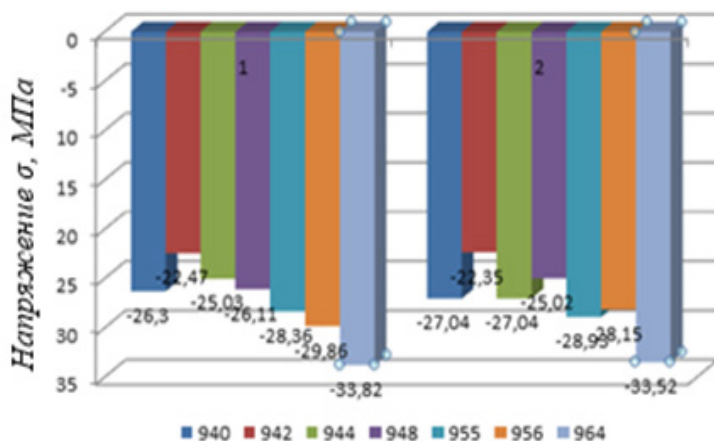


Рисунок 10 – Диаграммы напряжений нижних поясов полигональных ферм пролетного строения 1
1 – тензорезистор установленный на нижний пояс левой фермы; 2 – тензорезистор установленный на нижний пояс правой фермы; 940, 942, 944, 948, 955, 956, 964 – осредненные значения зафиксированных максимальных напряжений при проходе грузовых составов по дням

Figure 10. Stress diagrams of the lower chords of polygonal trusses of the span 1
1 – strain gauge installed on the lower chord of the left truss; 2 – strain gauge installed on the lower chord of the right truss; 940, 942, 944, 948, 955, 956, 964 – average values of the recorded maximum stresses during the passage of freight trains by day

На диаграммах напряжений элементов проезжей части пролетного строения 1 (рисунок 11) наблюдается более существенная разница в количественных величинах полученных напряжений в продольных балках проезжей части для элементов 7-8 и 8-9 (см. рис. 9). Если внутри элемента, как 7-8, так и 8-9, разница незначительна, то при переходе к смежному элементу (от элемента 7-8 к элементу 8-9), практически для всех выборок, происходит резкое увеличение количественных показателей напряженного состояния, что свидетельствует о наличии дефектов в этой части пролетного строения. То есть применение цифровых аппаратно-программных комплексов и систем при измерении напряжений в элементах пролетных строений железнодорожных мостов позволяет выявить локальные области расположения дефектов. Вид и характер дефектов и неисправностей, а также их влияние на дальнейшую возможность эксплуатации сооружения, определяется проведением обязательного детального обследования и расчетами прочности и несущей способности конструкций пролетного строения.

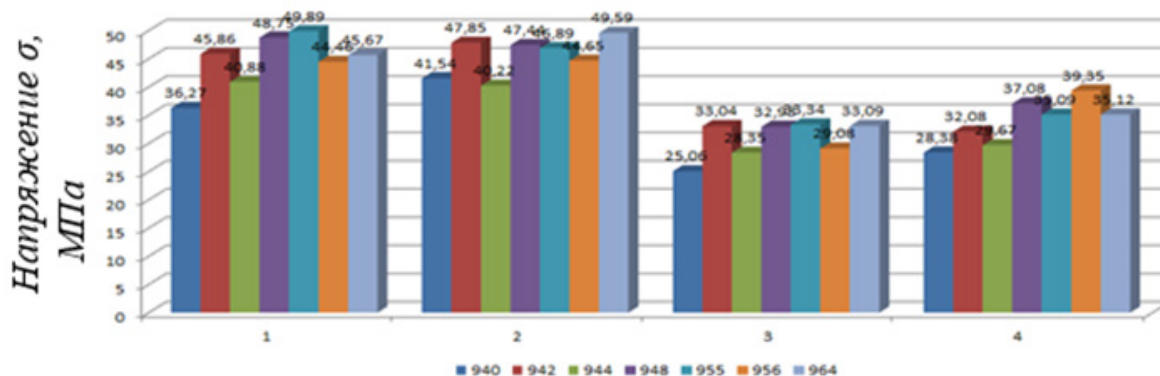


Рисунок 11 – Диаграммы напряжений элементов проезжей части пролетного строения 1
 1 – тензорезистор установленный на правая продольная балка, элемент 8-9; 2 – тензорезистор установленный на левая продольная балка, элемент 8-9; 3 – тензорези тор установленный на правая продольная балка, элемент 7-8; 4 – тензорезистор установленный на левая продольная балка, элемент 7-8; 940, 942, 944, 948, 955, 956, 964 – осредненные значения зафиксированных максимальных напряжений при проходе грузовых составов по дням

Figure 11. Stress diagrams of elements of the roadway of the superstructure 1
 1 – strain gauge installed on the right longitudinal beam, element 8-9; 2 – strain gauge installed on the left longitudinal beam, element 8-9; 3 – strain gauge installed on the right longitudinal beam, element 7-8; 4 – strain gauge installed on the left longitudinal beam, element 7-8; 940, 942, 944, 948, 955, 956, 964 – averaged values of recorded maximum stresses during the passage of freight trains by day

Напряжения в нижних поясах полигональных ферм пролетного строения 5, представленные на рис. 12 отражают их работу под динамической нагрузкой от подвижного состава. Напряжения в нижнем поясе левой фермы практически идентичны напряжениям в нижнем поясе правой фермы. То есть имеет место равномерная загрузка поясов временной подвижной нагрузкой.

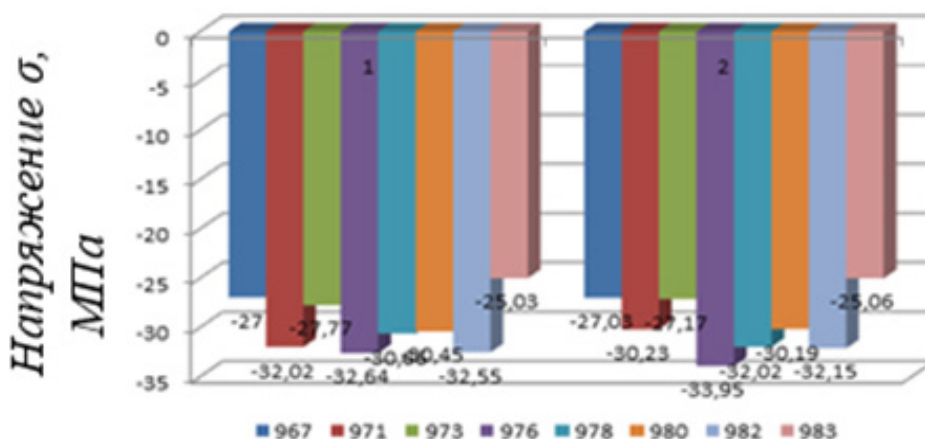


Рисунок 12 – Диаграммы напряжений нижних поясов полигональных ферм пролетного строения 5
 11 – тензорезистор установленный на нижний пояс левой фермы; 2 – тензорезистор установленный на нижний пояс правой фермы; 967, 971, 973, 976, 978, 980, 982, 983 – осредненные значения зафиксированных максимальных напряжений при проходе грузовых составов по дням

Figure 12. Stress diagrams of the lower chords of polygonal trusses of the span 5
 1 – strain gauge installed on the lower chord of the left truss; 2 – strain gauge installed on the lower chord of the right truss; 967, 971, 973, 976, 978, 980, 982, 983 – averaged values of recorded maximum stresses during the passage of freight trains by day

Однако напряжения правой и левой продольных балок проезжей части (рис. 13), по количественным характеристикам в пределах элемента 8-9 отличаются на 12,8% (выборка за день №982). При переходе к смежному элементу (от элемента 8-9 к элементу 7-8), для той же выборки, на правой продольной балке регистрируется увеличение напряжений на 19%, а на левой продольной балке на 16%. Это является показателем наличия дефектов в продольных балках проезжей части пролетного строения 5.

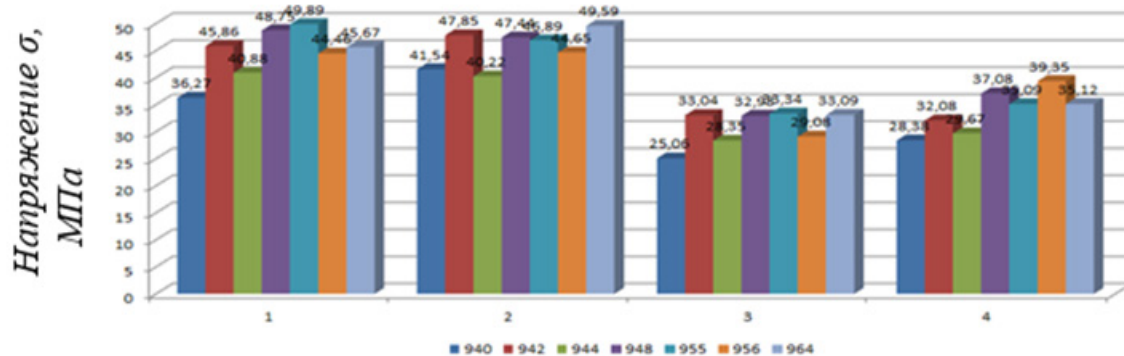


Рисунок 13 – Диаграммы напряжений элементов проезжей части пролетного строения 5

1 – тензорезистор установленный на правая продольная балка, элемент 8-9; 2 – тензорезистор установленный на левая продольная балка, элемент 8-9; 3 – тензорезистор установленный на правая продольная балка, элемент 7-8; 4 – тензорезистор установленный на левая продольная балка, элемент 7-8; 967, 971, 973, 976, 978, 980, 982, 983 – осредненные значения зафиксированных максимальных напряжений при проходе грузовых составов по дням

Figure 13. Stress diagrams of elements of the roadway of the span 5

1 – strain gauge installed on the right longitudinal beam, element 8-9; 2 – strain gauge installed on the left longitudinal beam, element 8-9; 3 – strain gauge installed on the right longitudinal beam, element 7-8; 4 – strain gauge installed on the left longitudinal beam, element 7-8; 967, 971, 973, 976, 978, 980, 982, 983 – averaged values of recorded maximum stresses during the passage of freight trains by day

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из диаграмм, представленных на рисунке 10, видно, что напряжения в нижних поясах левой и правой ферм пролетного строения 1 отличаются незначительно. Наибольшая разница составила 7,4% (выборка за день №944). То есть нижние пояса ферм пролетного строения 1 под подвижной нагрузкой работают практически одинаково. Разница в 7,4% находится в пределах допустимой погрешности для исследований подобного рода.

На диаграммах напряжений элементов проезжей части пролетного строения 1 (рисунок 11) наблюдается более существенная разница в количественных величинах полученных напряжений в продольных балках проезжей части для элементов 7-8 и 8-9 (см. рисунок 9). Если внутри элемента, как 7-8, так и 8-9, разница незначительна, то при переходе к смежному элементу (от элемента 7-8 к элементу 8-9), практически для всех выборок, происходит резкое увеличение количественных показателей напряженного состояния, что свидетельствует о наличии дефектов в этой части пролетного строения. То есть применение цифровых аппаратно-программных комплексов и систем при измерении напряжений в элементах пролетных строений железнодорожных мостов позволяет выявить локальные области расположения дефектов. Вид и характер дефектов и неисправностей, а также их влияние на дальнейшую возможность эксплуатации сооружения, определяется проведением обязательного детального обследования и расчетами прочности и несущей способности конструкций пролетного строения.

Напряжения в нижних поясах полигональных ферм пролетного строения 5, представленные на рис. 12 отражают их работу под динамической нагрузкой от подвижного состава. Напряжения в нижнем поясе левой фермы практически идентичны напряжениям в нижнем поясе правой фермы. То есть имеет место равномерная загруженность поясов временной подвижной нагрузкой.

Однако напряжения правой и левой продольных балок проезжей части (рисунок 13), по количественным характеристикам в пределах элемента 8-9 отличаются на 12,8% (выборка за день №982). При переходе к смежному элементу (от элемента 8-9 к элементу 7-8), для той же выборки, на правой продольной балке регистрируется увеличение напряжений на 19%, а на левой продольной балке на 16%. Это является показателем наличия дефектов в продольных балках проезжей части пролетного строения 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных измерений на пролетном строении $L_p = 109,2$ м свидетельствуют о накоплении усталостных повреждений в элементах проезжей части ферм от воздействия поездов. Данные накопленные усталостные повреждения приводят к усталостному разрушению заклепок, прикрепляющих продольные балки к поперечным, и образованию выколов в верхних поясах продольных балок.

Несущая способность элементов главных ферм пролетного строения $L_p = 109,2$ м обеспечивает обращение поездов с вагонами, имеющими погонную нагрузку до 105 кН/м пути при нагрузке от оси локомотивов и вагонов на рельсы до 265 кН.

Допускается пропуск транспортеров грузоподъемностью до 300 т со скоростью не более 40 км/ч и со скоростью не более 25 км/ч при их грузоподъемности 301-500 т.

Учитывая состояние и срок эксплуатации мостового сооружения, отсутствия возможности длительного вывода моста в ремонт, необходимо провести технико-экономический анализ вариантов усиления или замены русловых пролетных строений № 1...№ 5 с целью выбора оптимального решения данной задачи в ближайшей перспективе. При этом необходимо учесть при разработке проекта реконструкции

или ремонта работы по замене верхнего строения пути, исправления положения опорных частей, проектирование устройства коммуникационных конструкций, эксплуатационных обустройств и т.д.

С целью поддержания существующей несущей способности (грузоподъемности) русловых пролетных строений до проведения ремонтных работ необходимо организовать и произвести следующие работы:

- существующие ослабленные заклепки в узлах прикрепления продольных балок к поперечным заменить на высокопрочные болты;
- трещины в «рыбках» проезжей части перекрыть металлическими накладками, или заменить дефектные «рыбки»;
- выполнить очистку металлоконструкций от

наслоений краски и произвести антикоррозийное покрытие всех металлических частей моста.

В перспективе, применение современных средств и новейших цифровых информационных технологий при измерении и анализе напряжений в элементах пролетных строений мостов от воздействия различного подвижного состава позволит выявлять наиболее дефектные пролетные строения.

Полученные результаты, могут быть рекомендованы для использования на сети железных дорог при проведении мониторинга технического состояния с применением систем автоматизированного непрерывного мониторинга на вновь строящихся или реконструируемых уникальных и технически сложных объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта.

ВЫВОДЫ

Для наиболее эффективной оценки надежности конструкций мостов и установления соответствия между расчетной схемой и действительной работой сооружений, на автомобильных дорогах и магистральных линиях АО «НК «ҚТЖ», необходимо осуществлять периодический мониторинг напряженно-деформированного состояния сооружений под эксплуатационными нагрузками. Применение методов вибродиагностики искусственных сооружений повысит информативность и достоверность диагностики земляного полотна высоких насыпей и насыпей на слабых основаниях, а также переходных участков подходов насыпей к мостам [10-14].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. М.: Транспорт, 1987.
2. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов. М.: Транспорт, 1989.
3. Руководство по определению грузоподъемности опор железнодорожных мостов. М.: Транспорт, 1995.
4. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожным мостам. М.: Транспорт, 1993.
5. СНиП 3.06.07-86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний/Госстрой СССР. М.: Транспорт, 1987.
6. Квашнин М.Я., Буромбаев С.А. Диагностика и мониторинг искусственных сооружений магистральных линий АО «НК «ҚТЖ» // Вестник КазАТК №3 (98), 2016. с. 38-57.
7. СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы/Госстрой СССР. - М.: Транспорт, 1991.
8. Н.Г. Бондарь, Ю.Г. Козьмин, З.Г. Ройтбурд, В.П. Тарасенко, Г.Н. Яковлев. Под ред. Н.Г. Бондаря. Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом. - М.: Транспорт, 1984. - 272с.
9. Kosenko, Sergey & Bondar, Ivan & Kvashnin, Mikhail & Vorobyev, Alexander & Pokrovskaya, Oksana. (2022). Experimental Assessment of the Railway Bridges' Metal Spans Bearing Elements Stress State. // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles, pp. 347-355 https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_33.
10. S. A. Kosenko, I. S. Bondar, M. Ya. Kvashnin, G. I. Chekmareva. Ensuring the Passage of Freight Trains with Increased Axle Loads on Railway Bridges // XII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability Transportation Research Procedia 61 (2022) 627-635. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.101>
11. Kosenko, S.A., Bondar I.S., Kvashnin M.Ya., Revyakin A. Stress State Assessment of the Rails Switches Under the Influence of Truck with the Axial Load 245 kN // Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, 403 LNNS, pp. 538-546.
12. Bondar I.S., Aldekeyeva D.T., Ospanova Z.K. Stress-strain state of reinforced concrete spans of a railway overpass using a spatial finite element model // Vibrotechnical works. 54, pp. 320-326, April 2024, <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24086>.
13. Bondar I.S., Karibaeva G.B., Kurbenova A.K. Vibration diagnostics Construction of structures on railways // Vibrotechnical works. 54, pp. 109-115, April 2024, <https://doi.org/10.21595/vp.2024.24093>.
14. I. S. Bondar, M. Ya. Kvashnin, D. T. Aldekeyeva, S.E. Bekzhanova, A. Izbaïrova, A. Akbayeva. Influence of the deformed state of a road bridge on operational safety. Influence of the deformed state of a road bridge on operational safety. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (116)), 29-34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255275>