



АКУСТИКО-ЭМИССИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВ

П. М. КОВАЛЬ, В. Р. СКАЛЬСКИЙ, П. М. СТАШУК, Ю. Л. ЛОТОЦКИЙ, Р. М. ПЛАХТИЙ

Дано теоретическое обоснование методик акустико-эмиссионного обследования технического состояния мостов. Для оценки образования микротрещин в элементах мостовых конструкций применяли критериальный параметр K_{pj} , учитывающий скорость изменения плотности энергии сигналов акустической эмиссии. Экспериментально установлено активность источников акустической эмиссии при статической и динамической нагрузке мостов. На основе полученных данных осуществлен анализ кинетики излучения сигналов акустической эмиссии в мостах различного строения.

In the paper the theoretical grounds of acoustic emission inspection of the technical state of bridges is described. For the estimation of microcrack formation in the elements of bridge constructions the criterion parameter K_{pj} is applied, which takes into account the rate of energy density variation of acoustic emission signals. The activity of acoustic emission sources is experimentally established for static and dynamic loading of bridges. On the basis of the obtained data, the analysis of kinetics of acoustic emission signals radiation in the bridges of different structure is carried out.

Актуальность проблемы. Широкое применение в транспортном строительстве железобетонных конструкций (особенно для сооружения мостов) требует их надлежащего мониторинга методами неразрушающего контроля (НК) как в процессе строительства сооружений, так и во время эксплуатации. Например, детальный анализ случаев аварий железобетонных мостов показывает, что в процессе строительства основной их причиной является несоблюдение правил и технологии выполнения работ, а во время эксплуатации — растрескивание конструкций, в первую очередь под действием продуктов коррозии предвременно напряженной арматуры. Поэтому в последнее время наряду с традиционными методами НК железобетонных изделий все шире используется метод акустической эмиссии (АЭ). Такие АЭ исследования не теряют своей актуальности, о чем свидетельствуют публикации [1–9], поскольку АЭ-контроль мостовых конструкций благодаря высокой чувствительности метода позволяет выявлять зарождение и развитие разрушения на ранних его стадиях, докритический рост усталостных трещин даже в случае их распространения внутри материала без выхода на поверхность конструктивных элементов моста. Метод АЭ, что очень важно для инженерной практики, позволяет осуществлять мониторинг объекта контроля (ОК) дистанционно, в реальном масштабе времени, независимо от формы и размера ОК.

Состояние проблемы. Во время проведения НК средствами АЭ-контроля возникают определенные трудности. В частности, в работе [10] авторы показали, что во время эксплуатации моста под воздействием динамических нагрузок возникают фоновые помехи, которые вносят искажение в частотный спектр сигналов АЭ (САЭ). Там же изложены полученные аналитические зависимости, которые дают возможность получить формулу для расчета максимального размера зоны контроля моста

и методики выбора оптимальной рабочей полосы частот АЭ-аппаратуры, когда искажения спектра САЭ становятся минимальными. В работе приводятся результаты расчетов нормируемых спектров САЭ в трех характерных зонах металлического моста: 1 — с имеющейся усталостной трещиной; 2 — расшатанного клепаного соединения; 3 — неповрежденного элемента конструкции. Спектры отличаются между собой по уровню мощности и по форме, что может служить критериальными признаками распознавания повреждений в мостах. Именно применение спектрального анализа САЭ [11] считается надежным критерием выявления коррозионного растрескивания, контроля развития трещин. Здесь сообщается о методах обработки САЭ на основе применения быстрого преобразования Фурье, приводятся схемы построения автоматизированной системы АЭ-диагностики. Эффективность такого подхода подчеркивается результатами, полученными в работе [12], где осуществляли АЭ-контроль мостовых железобетонных конструкций. Результаты АЭ-обследования 36 железнодорожных мостов приведены также в работе [13], где обсуждаются некоторые подходы к совершенствованию процедуры АЭ-контроля и обработки полученных данных.

В работе [14] рассматривают результаты экспериментальных исследований с целью определения взаимосвязи между параметрами АЭ и образованием трещин в элементах железобетонных мостов под действием нагрузки и продуктов коррозии. Обсуждаются данные экспериментальных работ по проблеме определения уровня шумов и их влияния на результаты АЭ-информации при исследовании железобетонного моста в условиях интенсивного движения электротранспорта. Дается их классификация, рассматриваются физические процессы возникновения и методы выделения из них полезных САЭ. Экспериментальные исследования



проводились с помощью анализаторов АЭ типа АВН-1М и АВН-3.

С использованием передвижной многоканальной лаборатории АЭ-диагностики проведены обследования Крымского, Большого Каменного, Большого Устинского мостов, а также моста метрополитена в Лужниках [15]. Обследования проводили с целью оценки несущей способности конструкций и их долговечности, выявления потенциально опасных дефектов, равномерности распределения напряжений в несущих узлах и элементах, прогнозирования трещиностойкости материала, а также изучения влияния на динамику перераспределения нагрузок климатических и некоторых других факторов. Анализ динамики развития процессов генерации АЭ в реальном масштабе времени и корреляционный анализ распределения позволили в соответствии с разработанными критериями обнаружить зоны повышенной опасности, локализовать дефектные участки и оценить локальное напряженное состояние в несущих узлах.

В работе [4] проведен АЭ-мониторинг существующих мостов, а также стендовое испытание железобетонной балки пролетного строения в лаборатории. Были выбраны конструкции мостов различных типов: пролетные строения из обычного железобетона, предварительно напряженного железобетона, а также сталежелезобетонное пролетное строение. Мосты были полностью визуально обследованы и диагностировались 12-канальным АЭ-прибором фирмы PAC Mistras system. Для АЭ-мониторинга использовали два типа первичных пьезопреобразователей (ПАЭ) фирмы DECI с резонансными частотами 55 и 150 кГц. Цель исследований — обнаружить зоны расположения дефектов, их типы и состояние, а также сравнить АЭ-данные лабораторных и натурных испытаний. Анализ полученных результатов и периодическое повторение АЭ-мониторинга дает возможность определить динамику развития дефектов и оценить реальное состояние сооружения в текущий момент. Методом АЭ проведены исследования путепровода, пролетные строения которого смонтированы из предварительно напряженного железобетона [5].

Испытания проводили в два этапа: первый — во время обычного движения автотранспорта и второй — при статической нагрузке пролетного строения с фиксацией массы и расположения автомобилей. Во время испытания удалось определить месторасположение накопленных внутренних повреждений. Следует отметить, что наибольшая активность САЭ проявлялась в одной и этой же зоне при нагружении в два этапа. Из бетона были взяты керны с поврежденной и нормальной зоны, проведены лабораторные испытания, которые подтвердили зарождение разрушения в активной зоне излучения САЭ. Авторами рекомендована уменьшить скорость движения на путепроводе, установить фиксированный интервал между автомобилями и провести ремонтные работы по усилению пролетного строения.

Мосты составляют незначительную часть общей длины путей сообщения, но их состояние в значительной степени влияет на эксплуатационные

качества дорог. Это обусловлено тем, что мосты являются концентраторами транспортных потоков и обеспечить надежную и долговечную их работу тяжелее, чем самих дорог, поскольку они являются более сложными инженерными сооружениями и испытывают действия более разнообразных нагрузок и влияний [16, 17]. Кроме действия транспортной нагрузки и собственной массы пролетных строений, мосты испытывают динамические нагрузки от ветрового влияния и от продольного действия во время торможения или ускорения транспортных средств и т. п. Опоры еще и дополнительно испытывают давления льда, ударов различных плавающих предметов, а в сейсмически опасных районах — действия землетрясений.

В Украине функционирует разветвленная сеть автомобильных и железнодорожных дорог. На них насчитывается 16300 автодорожных мостов общей длиной 358 км на государственных дорогах и дорогах местного назначения, 4082 коммунальных мостов общей протяженностью 184,8 км и 8050 железнодорожных мостов общей длиной 210,4 км. Много мостов Украины эксплуатируется с повреждениями и дефектами. По данным натурных обследований состояния мостов, проведенных различными организациями в 1980-х годах [18, 19], несущие конструкции имеют, в основном, такие дефекты: разрушения защитных покрытий и коррозия металла стальных мостов — 41 % обследованных мостов; скалывания, раковины и трещины в бетоне — 65 %; коррозия арматуры — 40 %; карбонизация защитного слоя бетона — 60 %. Фактический срок работы железобетонных конструкций мостов 25...30 лет, после чего необходимо проводить дорогие ремонтные работы [20]. Основными причинами повреждений являются отсутствие водоотлива или разрушение гидроизоляции, что приводит к замоканию пролетных строений и, как следствие, проходит интенсивная коррозия арматуры и бетона.

Конструкции мостов склонны к хрупкому разрушению, т. е. к разрушению через распространение дефектов типа трещин. Процесс разрушения в таких материалах не проходит мгновенно. Поэтому своевременное выявление таких дефектов и оценка стадий субкритического подрастания макротрещины является важной научно-технической задачей. Обнаружение значительной части дефектов в мостах затруднено в силу того, что их металлические элементы покрыты красками, в железобетонных конструкциях арматура находится в бетоне, а трещина зарождается и развивается часто внутри материала. Таким образом, проблема обеспечения надежной и долговечной эксплуатации мостов становится все более актуальной в силу того, что растет срок эксплуатации мостов, увеличивается масса и интенсивность движения транспортных средств и динамические влияния на мостовые конструкции, повышается агрессивность внешней среды. Растущая сложность обеспечения надежной и долговечной эксплуатации мостов требует принципиально новых подходов к их технической диагностике [1, 21].



Цель работы — провести АЭ-обследования мостов для определения срока их дальнейшей безаварийной эксплуатации.

Методологические подходы к проведению АЭ-обследований мостов. Для оценки образования микротрещин во время исследования мостовых конструкций методом АЭ использовали подход, предложенный в работе [22]. Он заключается в применении критериальной оценки K_{pj} , что базируется на учете скорости изменения плотности энергии САЭ, которые регистрируются

$$K_{pj} = \lg(E_j/\tau_j^2), \quad (1)$$

где E_j — энергия j -го САЭ; τ_j — его длительность.

Для проведения цифровой обработки САЭ выражение (1) записывали в виде:

$$K_{pj} = \lg[\sum_{i=1}^n (A_{ji})^2 / LE_j^2] + \lg(\Delta U^2 / \Delta t), \quad (2)$$

где t — часовой интервал дискретизации САЭ ($\Delta t = \text{const}$); A_{ji} — число разрядов аналого-цифрового преобразователя для i -го отсчета амплитуды j -го САЭ; n — количество отсчетов амплитуды для j -го САЭ; LE_j — длительность j -го САЭ ($LE_j = n$).

При заданной чувствительности АЭ-аппаратуры U и частоты дискретизации входного сигнала вторая составляющая выражения (2) становится константой B , т. е.

$$K_{pj} = \lg[\sum_{i=1}^n (A_{ji})^2 / LE_j^2] + B. \quad (3)$$

При всех схемах статических и динамических нагрузок САЭ фиксировали с несущих конструкций моста программно-техническим комплексом «АКЕМ», построенном на базе персонального компьютера с использованием технологии «PCLab-Card». Для определения динамических характеристик использовали прибор VIBROPORT 30, оснащенный персональным компьютером производства фирмы «SCHENCK» (ФРГ).

При установке ПАЭ на поверхности металла значения критерия выделения САЭ от трещин K_{pj} принимали равным 3, на бетоне — 6. Обнаруженные источники АЭ за описанной выше аналогией разделяли на четыре класса: I — пассивный источник, II — активный, III — критически активный, IV — катастрофически активный.

Кроме критерия K_{pj} вычисляли активность источников АЭ из выражения:

$$F = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^T \frac{N_{k+1}}{N_k}, \quad (4)$$

где

$$\frac{N_{k+1}}{N_k} = \begin{cases} 1 & \text{при } N_k = 0, N_{k+1} > 0, \\ 0 & \text{при } N_k > 0, N_{k+1} = 0, \end{cases} \quad (5)$$

$k = 1, 2, \dots, K$; N_k — число событий в k -м интервале оценки параметров САЭ; N_{k+i} — число событий

в $k+1$ -м интервале оценки параметров САЭ; k — номер интервала оценки параметров САЭ.

Оценку осуществляли в интервалах $F \ll 1$, $F = 1$, $F > 1$. Относительную мощность J_k источника АЭ на каждом интервале регистрации определяли по формуле

$$J_k = A_K / W \sum_{k=1}^K A_k. \quad (6)$$

Здесь A_k — средняя амплитуда источника на интервале k ; A_K — средняя амплитуда всех источников АЭ, зарегистрированных на ОК, за исключением анализируемого на интервале k ; W — коэффициент, определяемый из эксперимента.

Оценку класса источника также проводили за локально-динамическим критерием в реальном масштабе времени с использованием таких параметров САЭ: N_{i+1} — число выбросов АЭ в событии; N_i — число выбросов в предыдущем событии или E_{i+1} — энергия АЭ-события; E_i — энергия предыдущего АЭ-события. Для каждого события вычисляют величины $W_{i+1} = N_{i+1}/N_i$ или $W_{i+1} = E_{i+1}/E_i$ и получали значение

$$V_{i=1} = \left(1 + \frac{P_{i+1} - P_i}{P_{i+1}} \right)^4 - 1, \quad (7)$$

где P_{i+1} — величина внешнего параметра в момент регистрации события АЭ; P_i — значение внешнего параметра в момент регистрации предыдущего события (если в качестве параметра использовали время, тогда это промежуток времени от начала интервала наблюдения).

Оценку опасности процессов, проходящих в структуре материалов во время нагружения пролетного строения, осуществляли с помощью анализа кинетики развития САЭ с использованием общего анализа данных, полученных на этапах выдержки под нагрузкой. Анализ выполняли с формализацией данных и описанием полученной зависимости выражением:

$$\tilde{A} = a\tilde{P}^b \text{ при } t_i = \text{const}, \quad (8)$$

где $\tilde{A} = A_T/A_{\max}$, $\tilde{P} = P_T/P_{\max}$; A_T , A_{\max} , P_T , P_{\max} — текущие и максимальные значения параметров.

Абсолютное значение показателя степени $b < 3$ свидетельствует о том, что дефекты, развивающиеся в структуре материала, не являются опасными.

Результаты АЭ-контроля и их интерпретация. АЭ-обследование моста через реку Захидный Буг. Объектом исследования был автодорожный мост возле с. Ягодын Волынской области, построенный в 1953–1954 гг. из металлических конструкций разобранного моста построения 30-х годов XX ст. Мост разрезной трехпролетный, в сечении состоит из двух ферм по схеме 3×62 м. Габариты проезжей части $\Gamma - 7,0 + 2 \times 1,55$ м. Металлические фермы клепаные с параллельными поясами с проездом понизу и треугольной решеткой. Расстояние между осями ферм 8,65 м. Верхние и нижние пояса —

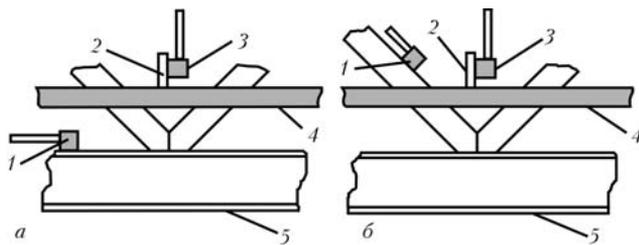


Рис. 1. Расположение ПАЭ во время нагружения пролета 0-1 (а) и пролетов 1-2 и 2-3 (б): 1 – ПАЭ № 1; 2 – волновод; 3 – ПАЭ № 2; 4 – железобетонная плита проезжей части; 5 – нижний пояс фермы

Н-образного сечения. Раскосы составные, двутаврового профиля, сквозные, решетчатые. Составные опорные стойки также коробчатого сечения. В плоскости верхних и нижних поясов расположены горизонтальные перекрестные связки. Плита проезжей части моста монолитная железобетонная, встроенная по металлическим профилям – «ветеренах», установлена на балочную клетку из поперечных составных балок переменного сечения, закрепленных к узлам ферм, и продольных балок двутаврового профиля, закрепленных к стойкам поперечных балок. Покрытие проезжей части моста асфальтобетонное, на тротуарах покрытие отсутствует. Опоры моста – массивные бетонные на железобетонных висячих сваях. Неподвижные опорные части – металлические с верхним и нижним балансирами и цилиндрическим шарниром между ними, подвижные – металлические катковые.

Пролетные строения моста подвергали статическим и динамическим нагрузкам. Для этого загружали поочередно все три пролета тягачами с прицепами массой от 20 до 38 т каждый. Статические нагрузки осуществляли последовательными заездами на проезжую часть каждой прогонки моста тягачей с прицепами. Масса грузовиков составляла 20...38 т. Максимальное количество их на проезжей части пролета – 8. После заезда и остановки каждого грузовика проводили регистрацию и обработку САЭ. Одновременно прогибомерами измеряли прогибы ферм в середине пролета, а электромеханическими тензодатчиками – относительные деформации наиболее напряженных элементов ферм.

АЭ-информацию регистрировали на протяжении 45...120 с. ПАЭ устанавливали в зоне максимальных растягивающих напряжений (средняя часть пролета, рис. 1). Пролеты моста нумеровали со стороны территории Украины. Перед установлением ПАЭ на несущую балку и ребро жесткости выполняли очистку последних от краски и ржи. Диаметр зачищенной зоны поверхности составлял примерно 20 мм. После нанесения акустопрозрачного контактного слоя ПАЭ прижимали к поверхности металла с помощью струбцин.

ПАЭ № 3 во время испытаний всех пролетов располагали на волноводе, непосредственно установленном в бетоне плиты проезжей части. Волновод изготавливали из арматурного стержня диаметром 8 мм и длиной 150 мм. На одном из краев волновода параллельно его оси делали лыску глубиной 3...4 мм, на которой располагали ПАЭ. Вол-

новод устанавливали в бетоне, где высверливали отверстие диаметром 7 мм, глубиной 10...15 мм и с натяжением фиксировали волновод с ПАЭ. Регистрацию и обработку САЭ осуществляли по двум каналам одновременно.

Применяли испытания двух видов. Первый заключался в проезде через каждый пролет моста одного тягача с прицепом фиксированной массы с постоянной скоростью, которую изменяли в диапазоне значений 5, 10, 20 и 40 км/ч. Регистрацию и обработку САЭ проводили начиная с момента заезда тягача с прицепом на пролет и заканчивали с выездом его с пролета моста. Второй вид динамических испытаний заключался в переезде тягача с прицепом фиксированной массы с постоянной скоростью через порог, установленный в центральной части пролета моста. Скорость движения была такой же, как и в первом варианте. В качестве порога использовали деревянный брус толщиной 10 см.

Обработку критериальной оценки выявления САЭ от трещин проводили по ее определению в соответствии с коэффициентом K_{pj} . Например, на первой, второй и третьей ступенях нагрузки пролета 0-1 соответственно одним, двумя и тремя грузовиками развитие трещин не фиксировали. САЭ от трещин зафиксированы только на четвертой ступени загрузки (4 грузовика). Анализ зарегистрированных параметров САЭ (амплитуда, энергия, длительность) показал, что они имеют низкие числовые значения, что свидетельствует о стабилизации развития микропроцессов в структуре материала.

Последующие испытания моста, проведенные с использованием метода АЭ, показали, что при эксплуатационных нагрузках в нем не возникают дефекты, развитие которых является опасным для конструкций пролетных строений [21].

АЭ-обследование автодорожного моста через р. Пивденный Буг [23]. Мост расположен возле с. Луполово автодороги Одесса–Киев. Пролетное строение моста – сталежелезобетонное, неразрезное, по схеме (32,9 + 43,3 + 43,3 + 32,9 м). В поперечном сечении оно состоит из шести главных металлических балок, объединенных монолитной железобетонной плитой проезжей части и связками. Габарит по ширине моста включает: трехметровую отдельную полосу, двухполосную проезжую часть шириной 7,5 м, полосы безопасности шириной 2 м и тротуар шириной 0,78 м. Полная ширина моста – 14,14 м, длина – 153,3 м, строительная высота по фасаду – 2,1 м. Промежуточные опоры – железобетонные стоечные.

Пролетное строение моста испытывали статической и динамической нагрузками. Как испытательную нагрузку использовали грузовые автомобили массой 25 т каждый. Целью исследования моста было выявление источников АЭ, которые свидетельствуют о дефектах, проявляющих критическую активность во время статической и динамической нагрузок мостовых конструкций, выявления закономерностей процесса излучения АЭ.

По первой схеме нагрузки был создан максимальный изгибный момент в пролете 3-4. ПАЭ

разместили на ребре крайней двутавровой металлической балки. Две следующие схемы предусматривали создание максимальных усилий в железобетонной консоли плиты проездной части, а ПАЭ устанавливали на бетон. Перед установлением ПАЭ на металле поверхность его очищали от краски. После нанесения слоя акустически прозрачного заполнителя «Рамзай» ПАЭ прижимали к поверхности с помощью струбцины. Прижимали ПАЭ к бетону с помощью магнита, что одним концом фиксировал ПАЭ, а другим прикреплялся к металлу верхней полки двутавровой балки (рис. 2).

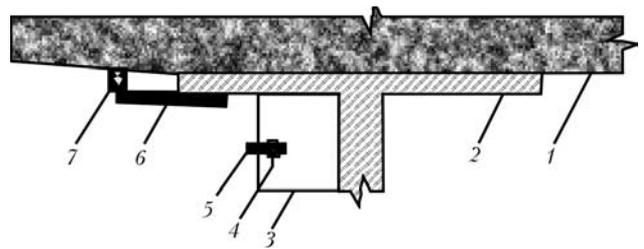


Рис. 2. Схемы расположения ПАЭ во время испытания моста: 1 – железобетонная плита проезжей части; 2 – металлическая балка; 3 – ребро жесткости металлической балки; 4 – ПАЭ размещен на металле; 5 – прижимающая струбцина; 6 – магнит; 7 – ПАЭ размещен на бетоне (схема № 2 и 3)

Регистрацию и анализ САЭ во время статических испытаний проводили с момента остановки автомобилей в местах, определенных схемами испытаний. Информация регистрировалась на протяжении 40...60 с, а во время динамических испытаний – от момента заезда автомобиля на мост и к моменту выезда с него. Расположение ПАЭ было аналогично расположению их во время статических испытаний.

Во время статических испытаний пролетного строения моста по схеме № 1 фиксировали САЭ от дефектов в материале металлической балки. На это указывают соответствующие значения параметра K_{pj} . Анализ опасности развития дефектов, появляющихся в структуре материалов при нагрузке пролета, показал следующее. Начиная с 12-й секунды проявляется зависимость между уровнем нагрузки и накопленной энергией САЭ. При этом значение коэффициентов в аппроксимирующем выражении равны: $a = 0,0878$; $b = -1,76897$; $\sigma^2 = 0,02824$. Абсолютное значение показателя степени $b < 3$, т. е. во время нагрузки пролетного строения моста по схеме загрузки № 1 развивающиеся дефекты в структуре материала не являются опасными.

При статических испытаниях пролетного строения моста по схемам № 2 и 3 фиксируются САЭ от микротрещинообразования в материале железобетонной плиты проезжей части. На это указывают соответствующие значения параметра K_{pZ} , что не превышают значения шесть. Анализ опасности развития этих дефектов показал следующее. Согласно схеме загрузки № 2, начиная с 20-й секунды, существует зависимость между накопленной энергией САЭ и нагрузкой на пролет. Анализ полученной зависимости с формализацией данных показывает, что она описывается выражением с параметрами аппроксимации: $a = 0,26273$; $b = 0,05307$; $\sigma^2 = 0,36816$. По схеме загрузки № 3 зависимость между накопленной энергией САЭ и нагрузкой на пролет появляется после 7 с. После 11 с: $a = 1,08086$; $b = 1,61458$; $\sigma^2 = 0,04489$. Абсолютное значение показателя степени $b < 3$, т. е. во время испытаний пролетного строения моста по схемам загрузки № 2 и 3, дефекты, которые развиваются в структуре материала, не являются опасными.

Таким образом, при испытании моста с использованием метода АЭ, установлено, что мост не имеет дефектов структуры материалов, которые препятствовали бы надежной и безопасной эксплуатации конструкций пролетных строений и име-

ли бы тенденцию к развитию. Для оценки состояния конструкций пролетного строения моста и для создания системы его мониторинга целесообразно через некоторое время проводить аналогичные испытания. Это позволило бы сформировать базу данных для установления зависимости с целью оценки долговечности моста за параметрами САЭ.

АЭ-обследование моста через реку Прут в г. Черновцы. Мост расположен на магистральной автомобильной дороге третьей технической категории М20 Житомир–Черновцы–Тереблече [24]. Он металлический, шестипролетный и построенный по схеме: $38,60 + (39,14 + 2538,90 + 39,14) + 38,60$. Общая длина моста составляет 247,18 м.

Мостовой переход с металлическими пролетными строениями на бутобетонных опорах построен в 1927–1931 гг. и пересекает р. Прут под прямым углом. Дважды во время Второй мировой войны мост был разрушен и дважды был восстановлен. Фундамент второй опоры не был разрушен и на нем построена бутобетонная опора в первичном виде на высоту 5,0 м. Выше устроена временная рама, замурованная основанием в бутобетон опоры; на металлическую раму через шпальные клетки были оперты фермы. В 1961 г. деревянная проезжая часть моста была заменена на железобетонную.

Пролетные строения состоят из двух сквозных металлических ферм с параллельными поясами и проезжей частью понизу. Фермы открытые и не имеют ветровых связей верхнего пояса. Заполнение выполнено в виде треугольной решетки с дополнительными стойками.

Береговые пролеты 0-1 и 5-6 перекрыты разрезными фермами. Русловые пролеты 1-2...4-5 перекрыты неразрезной четырехпролетной фермой. В каждом пролете фермы разбиты на 10 панелей длиной 3,8...3,87 м. В поперечном разрезе расстояние между фермами в осях составляет 6,51 м, а их расчетная высота – 4,04 м.

Сечения элементов ферм выполнены с прокатных швеллеров и уголков, усиленных в верхнем и нижнем поясах металлическими листами в средних панелях и опорных зонах неразрезных ферм. В поперечном направлении жесткость пролетных строений обеспечивают горизонтальные диагональные вязи из двойных прокатных уголков размером 90×90×10 мм, расположенных в нижнем поясе.

Береговые опоры – бутобетонные, монолитные с обратными стенками. Стойки состоят из двух



частей, каждая из которых заканчивается карнизом. Нижняя часть утолщенная и имеет высоту около 5,0 м, верхняя — около 1,5 м. Железобетонная обратная стенка выполнена в монолите с тротуарными консолями на длину примерно 7,0 м. Снизу тротуарных консолей с верховой и низовой сторон устроены две бетонные диафрагмы.

Промежуточные опоры бутобетонные, пустотелые, оштукатурены с расшивкой швов и выполнены, как и стояки, с двух частей. Боковые грани нижних частей промежуточных опор имеют наклон с соотношением 15:1. Верховая сторона выполнена в виде удлиненного эллипса и выполняет функцию ледореза, низовая часть — полукруглая. По данным опроса старожилов установлено, что фундаменты всех опор — кессоны с закладкой на глубину 20,35 м. Фермы установлены на подвижные опорные части (катковые, валковые) и неподвижного типа (балансирные).

Железобетонная плита проезжей части является сборной конструкцией и имеет толщину 11 см. В поперечном сечении она выполнена в форме корыта, состоящего из двух Г-образных блоков. Продольный шов расположен по оси проезжей части. Длина блока равна длине панели, поперечные швы расположены над поперечными балками. Плита уложена на балочную клетку, состоящую из продольных и поперечных балок.

Поперечные балки составные, клепаные с уголков и листов двутавра высотой 0,74 м, расчетной длиной 6,15 м, установленные в каждом узле нижнего пояса. Они жестко связаны со стойкой главных ферм, образуя полураму. К вертикальным ребрам для обеспечения местной стойкости с двух сторон приклепаны ребра жесткости с уголков 90×90×10 мм.

Продольные балки выполнены с двутавра № 30 и жестко связаны в одном уровне (с помощью опорного столика) с поперечными балками. В поперечном сечении установлено шесть продольных балок с расстоянием в осях 1,0 м и расчетной длиной 3,7... 3,75 м. Опирается плита на балочную клетку с помощью железобетонных брусьев сечением 13,5×12,5 см, омоноличенных с верхним поясом продольной балки. Длина брусьев равняется длине панели.

Во время статических испытаний моста были реализованы 13 схем загрузки поочередно всех пролетов. В качестве испытательной нагрузки использовали загруженные балластом два самосвала автомобилями «КрАЗ» массой по 27 т каждый. Делали замеры: прогибов (вертикальных перемещений) — в середине пролетов 0-1, 1-2 и 5-6 барабанно-шестеренчатыми прогибомерами с проволоочной связью системы Аистова ПАО-6; напряжений (относительных деформаций) — в середине пролетов 0-1, 1-2, 5-6 в верхних и нижних полках главных балок электромеханическими тензотрами и микроиндикаторами с базой 200 мм.

Динамические нагрузки на мост создавали проездом загруженных балластом самосвалов марки «КрАЗ» с разными скоростями по проезжей части моста и с проездом через порожек — деревянный брус сечением 10×10 см, который лежал непод-

вижно поперек пролета на его середине. Были реализованы такие нагрузки: проезды одного автомобиля «КрАЗ» со скоростями 10, 20, 30 км/ч в направлении от опоры 6; проезд одного автомобиля «КрАЗ» через порожек 10×10 см со скоростью 20 км/ч.

Вибропреобразователь закрепляли к верхнему поясу фермы посередине пролета, который исследовался (0-1, 1-2 и 5-6) [24].

Регистрацию и анализ САЭ во время статических испытаний проводили с момента остановки автомобилей в местах, определенных схемами испытаний. Информацию регистрировали в течение 40... 60 с. Также проводили обработку критериальной оценки выявления САЭ от трещин, как и в упомянутых выше исследованиях, по коэффициенту K_p .

В результате статических и динамических испытаний моста через р. Прут на автодороге Житомир—Черновцы установлено, что конструкции моста не имеют дефектов и повреждений, которые снижали бы несущую способность. Испытания моста показали, что конструкции усиления элементов нижнего пояса в пролетах 1-2, 2-3 и 5-6 включены в работу. Для обеспечения долговечности моста необходимо завершить работы по защите его металлических конструкций от коррозии с использованием современных технологий и материалов, а также выполнить работы по ремонту опор моста, устроив защитные железобетонные рубашки. Рекомендовано установить ограничение грузоподъемности с пропуском временной нагрузки максимальной общей массой до 30 т на одном пролете.

Выводы

Проведение АЭ-обследований таких технически сложных сооружений, как мосты требует тщательной подготовки, которая заключается в расчете режимов работы сооружения, разработке методологических оснований проведения НК, научно-обоснованной интерпретации полученных данных и т. п.

Метод АЭ позволяет получить необходимые диагностические данные для оценки технического состояния мостовых сооружений. Особенно эффективно использовать АЭ-данные для выявления зарождения и развития макротрещин.

По результатам периодических АЭ-обследований моста можно оценить остаточный ресурс сооружения.

1. Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: Сполом, 2005. — 396 с.
2. Скальський В. Р., Демчина Б. Г., Карпунін І. І. Руйнування бетонів і акустична емісія (Огляд). Повідомлення 2. Корозія залізобетону. Апаратурні засоби. АЕ-контроль та діагностика будівельних споруд // Техн. діагностика й неабрушу. контроль. — 2000. — № 2. — С. 9–27.
3. Акустико-эмиссионная диагностика мостовых и строительных конструкций / А. И. Манохин, Б. А. Лифшиц, Л. И. Маслов и др. // Сб. докл. I Всесоюз. конф. «Акустическая эмиссия материалов и конструкций». — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1989. — Ч. 11. — С. 8–13.
4. Golaski L., Gebski P., Ono K. Diagnostics of reinforced concrete bridges by acoustic emission // J. of Acoustic Emission. — 2002. — 20. — P. 83–98.



5. *Swit G.* Diagnostics of a viaduct built of prestressed concrete beams by acoustic emission // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій // Під заг. ред. В. В. Панасюка. — Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2004. — С. 847–854.
6. *Fatigue testing of specimens from the Mason Creek Bridge / DNL Infrastructure Technologies Inc. // A Preliminary Summary Report. — 1998. — 7 p.*
7. *Schechinger B. Vogel T.* A deeper understanding of acoustic emission wave propagation in reinforced concrete // Proc. International symposium: Non-destructive testing in civil engineering, Berlin, September 16–19, 2003. — Berlin, 2003. — 6 p.
8. *Holford K. M., Pullin R., Lark R. J.* Acoustic emission monitoring of concrete hinge joint models // Proc. 26th European conference on acoustic emission testing, Berlin, September 15–17, 2004. — Berlin, 2004. — P. 211–218.
9. *Damage assessment in railway sub-structures deteriorated using AE technique / Tomoki Shiotani, Yasuhiro Nakanishi, Xiu Lou and Hiroshi Naya // Ibid. — P. 225–232.*
10. *Ону М.* Акустико-емісійний контроль бетонних конструкцій // Конкуріто когаку. — 1988. — 25. — № 12. — С. 5–11.
11. *Акустико-эмиссионное обследование железнодорожных мостов / А. П. Брагинский, Д. Г. Евсеев, Б. М. Медведев, Б. Г. Иванов / Сб. тез. докл. I Всесоюзн. конф. «Акустическая эмиссия материалов и конструкций», Ростов-на-Дону, 11–13 сент. 1984 г. — Ч. 1. — С. 28–29.*
12. *Акустико-емісійний контроль мостових залізобетонних конструкцій / Т. Сакуда, Я. Гаші, К. Маеда, Я. Канікава // Хіхакай кенса. — 1988. — 37, № 9. — С. 965–866.*
13. *Gong Z., Nybor E. G., Oommen G.* Acoustic emission monitoring of steel railroad bridges // Mater. Eval. — 1992. — 50, № 7. — P. 883–887.
14. *Муравин Г.Б., Ерминсон А. Л.* Использование акустической эмиссии для контроля состояния железобетонных мостов / Сб. докл. I Всесоюзн. конф. «Акустическая эмиссия материалов и конструкций». — Ростов-на-Дону: Изд-во Ростов. ун-та, 1989. — Ч. 11. — С. 3–8.
15. *Использование метода акустической эмиссии для экспресс-контроля разрушения бетонов с добавками пластификаторов / Н. Г. Чаусов, С. А. Недосека, И. О. Богинич, Н. Д. Гах // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1998. — № 3. — С. 12–16.*
16. *Лантух-Лященко А. Г.* Проблема створення національної системи експлуатації мостів // 36. доп. Укр. міжгалуз. наук.-практ. сем. «Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення». — Київ, 1998. — С. 138–145.
17. *Бондарь Н. Г.* Как работают мосты. — Киев: Наук. думка, 1986. — 120 с.
18. *Виноградский Д. Ю., Руденко Ю. Д., Шкуратовский А. А.* Эксплуатация и долговечность мостов. — Киев: Будівельник, 1985. — 104 с.
19. *Страхов Н. С.* Эксплуатация та реконструкция мостів: Навч. посібник. — Киев: НМК ВО, 1992. — 88 с.
20. *Васильев А. И., Польвеко В. П.* Долговечность железобетонных мостов и меры по увеличению срока их службы // Автомобильные дороги. — 1995. — № 9. — С. 30–32.
21. *Коваль П. М.* Використання методу акустичної емісії при дослідженні мостів // Автошляховик України. — 2003. — № 1. — С. 34–37.
22. *Филоненко С. Ф.* Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. — Киев: КНУЦА, 1999. — 304 с.
23. *Коваль П. М., Сташук П. М., Фаль А. Є.* Дослідження прогнаної будови нового сталезалізобетонного автодорожного моста з використанням методу акустичної емісії // 36. наук. праць ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ «Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій». — 2003. — Вип. 5. — С. 85–93.
24. *Виведення з аварійного стану металевого моста через р. Прут в м. Чернівці / П. М. Коваль, А. Г. Походенко, И. И. Лучко, П. М. Харлашко // Там же. — С. 72–84.*

Гос. дор. науч.-исслед. ин-т им. Шульгина, Киев
Физ.-мех. ин-т им Г. В. Карпенко НАН Украины, Львов

Поступила в редакцию
22.07.2005



Украинский информационный Центр «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ»

02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47

☎: 02094, г. Киев, а/я 41

Тел./факс: +38 (044) 573 30 40 с 8.00 до 14.00, моб.067 708 93 95

E-mail: office@conference.kiev.ua, www.conference.kiev.ua

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас принять участие в работе ежегодных научно-практических конференций, семинаров, круглых столов, выставок, организуемых Украинским информационным Центром «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ».

Четырнадцатая ежегодная международная конференция и выставка «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»

16–20 октября 2006 г.

г. Ялта

Тематика конференции:

- Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД)
- Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов
- Техническая диагностика и мониторинг состояния производственных объектов
- Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений
- Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса
- НК и ТД в нефтегазовой отрасли
- Контроль строительных конструкций
- Вибрационные методы диагностики
- Вопросы обучения, подготовки, аттестации и сертификации специалистов, разделений НК и ТД
- Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД
- Метрологическое обеспечение средств НК
- Состояние и развитие НК и ТД в Украине
- Заседание Правления УО НКТД