

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАГРУЗКАХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

И.И. ЛУЧКО, В.В. КОВАЛЬЧУК, О.М. ВОЗНЯК

Днепропетр. нац. ун-т железнодорож. транспорта им. Академика В. Лазаряна. 79052, г. Львов, ул. Иванны Блажкевич, 12, а.
E-mail: kovalchuk.diit@mai.ru

Разработаны научные основы нового устройства для измерения и оценки напряженно-деформированного состояния транспортных сооружений при переменных температурах и нагрузках. Техническая задача, которая решается данной работой, заключается в принятии по результатам мониторинга транспортных сооружений научно обоснованных решений о необходимости в восстановительном ремонте отдельных элементов, контроля постепенного снижения несущей способности этих элементов конструкции, установлении их фактического технического состояния и остаточного ресурса. Библиогр. 29, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: устройство для измерения напряженно-деформированного состояния, нагрузки, несущая способность, транспортные сооружения

Транспортные сооружения и их отдельные элементы во время строительства и в течение срока службы испытывают переменные нагрузки и температурные воздействия. Температурные климатические воздействия учитываются как временные нагрузки, входящие в расчетные соотношения. Одной из возможных причин преждевременного разрушения материалов является отсутствие учета реальных условий работы материалов в составе конструкции.

Напряжения от динамических нагрузок вместе с температурными градиентами, возникающими в сечениях конструкций, способствуют появлению излишних напряжений, которые могут стать причиной преждевременного разрушения материалов [1–5]. Учитывая, что срок надежной эксплуатации, установленный для транспортных сооружений исчерпывается, возникает необходимость в определении остаточного ресурса их надежной эксплуатации и постоянного контроля за изменениями физико-механических характеристик материала во время длительной эксплуатации при изменяющихся температурах [1–7]. Поэтому существует потребность в разработке устройства, которое, с целью мониторинга указанных конструкций, регулярно будет фиксировать деформации, возникающие в них. Данные о деформации материала сооружений можно получить с помощью датчиков – тензорезисторов [8–16]. Практическое применение таких датчиков требует разработки измерительных схем и устройств для работы с ними.

Анализ состояния проблемы. На современном этапе для оценки несущей способности транспортных сооружений и качества дорожного и аэродромного покрытия используют инстру-

ментальные и визуальные методы исследований, в том числе различные методы НК, которые являются более рациональными, что объясняется относительно низкой трудоемкостью таких методов, достаточной точностью получаемых результатов для оценки технического состояния дорожных и аэродромных покрытий [17–24].

К основным методам, которые позволяют контролировать состояние бетонных конструкций, относятся: радиометрический метод, ультразвуковой метод, методы местных разрушений, методы ударного воздействия [25–28]. К недостаткам радиометрических методов относится необходимость работы с радиоактивными материалами, наличие остаточной наведенной радиоактивности. На точность измерения прочности при проведении контроля УЗ методом могут влиять тип цемента, условия твердения, возраст конструкции, влажность и температура поверхности, тип поверхности, что, в общем, можно отнести к недостаткам данного метода. Недостатками методов местных разрушений и ударного воздействия является определение характеристик только в локальных точках конструкции. Основным недостатком рассмотренных методов является то, что они требуют построения индивидуальных градуировочных зависимостей по результатам исследований стандартных образцов-кубов, изготовленных из бетона такого же состава и возраста, что и исследуемая конструкция. Непосредственно при этом измеряется некоторая косвенная физическая характеристика, связанная с прочностью корреляционной зависимости. Для установления этой зависимости, а соответственно, и для установления прочности конструкции предварительно необходимо установить градуировочную характеристику между прочностью и



некоторой косвенной характеристикой. Следует отметить, что трудоемкость, сложность и безопасность работ по сложному инструментальному контролю надфундаментных несущих конструкций в условиях действующего производства будут значительно больше периодических геодезических работ по контролю просадок и деформаций в течение их эксплуатации.

По результатам измерений и расчетов характеристик напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов пролетных строений при переменных температурах можно принимать конструктивные решения и использовать материалы, которые продлят срок службы транспортного сооружения.

Исходя из приведенных утверждений можно констатировать, что определение НДС является важной и актуальной задачей, поэтому существует потребность в разработке новых способов и методов определения НДС как металлических, так и железобетонных сооружений.

Методика исследований. Для оценки НДС транспортных сооружений разработано устройство НК таких сооружений [см. 11, 12, 16]. С его помощью измерения проводятся по следующей схеме (рис. 1): сигнал от тензометра 1 поступает на вход аналогового-цифрового преобразователя (АЦП) 2, где определяются параметры измеренного сигнала и средствами программного обеспечения 5 выводятся на табло 3. Данные для дальнейшего использования и обработки накапливаются в памяти 4. Для обеспечения работы измерительной схемы и АЦП используется блок питания 6.

Реальная схема проведения измерений приведена на рис. 2. Данная схема состоит из персонального компьютера 1 (ПК), который питает АЦП 2 и тензометр 3. Информация с тензометра 3 передается на АЦП 2, а из него на ПК 1, который в этом случае выполняет функции информационного табло 3, накопителя информации 4 и программного обеспечения 5 (см. рис. 1).

К компьютеру, который используется при проведении измерений, специальных требований не предъявляется. Одной из его особенностей является наличие в нем жесткого диска с объемом памяти, который будет достаточным для сохранения значительного количества изме-

ренных значений. Желательно, чтобы компьютер был переносным.

Программное обеспечение компьютера должно гарантировать сохранение и резервирование полученных данных, возможность их обработки и визуального воспроизведения.

Рассмотрим особенности схем, используемых в тензометрии, а также приведем методику расчета параметров таких схем при работе с тензодатчиками.

В тензометрии используются две схемы процесса измерений: мостовая и полумостовая (потенциметрическая) [7, 14, 29].

Условие равновесия мостовой схемы определяется соотношением:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (1)$$

$$\text{или } R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2)$$

Зависимость выходного напряжения от значений сопротивлений схемы имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_0 \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (3)$$

где $U_0 = E_0 - IR_{\text{ВН}}$ – напряжение питания моста.

В зависимости от способа включения датчиков в плечи мостовой схемы различают мостовые схемы с включением датчиков в одно, два и четыре плеча мостовой схемы [13, 29]. При измерении малых деформаций, вызванных температурными воздействиями, целесообразно применять мостовую схему с включением датчиков в четыре плеча моста (рис. 3).

Такая схема включения целесообразна еще и с той точки зрения, что толщина балки является значительной по сравнению с деформацией и ее противоположные стороны находятся в разных температурных условиях.

Далее рассмотрим принцип определения НДС элементов мостовых конструкций при переменных нагрузках и температурах, который заключается в одновременном измерении деформации объекта и его температуры (с компенсацией темпе-

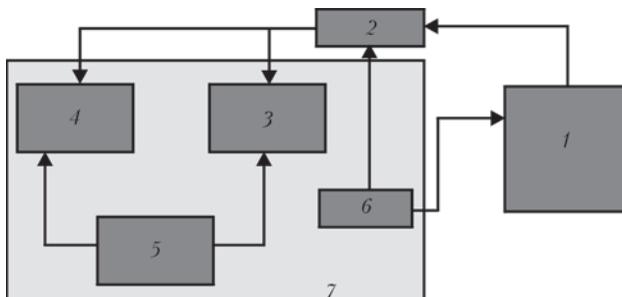


Рис. 1. Обобщенная структурная схема проведения измерений (обозн. см. в тексте)

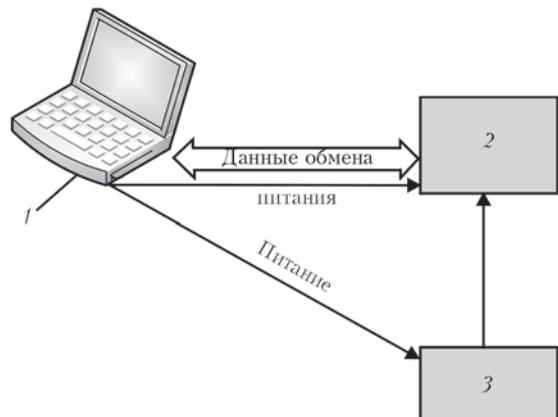


Рис. 2. Реальная схема проведения измерений

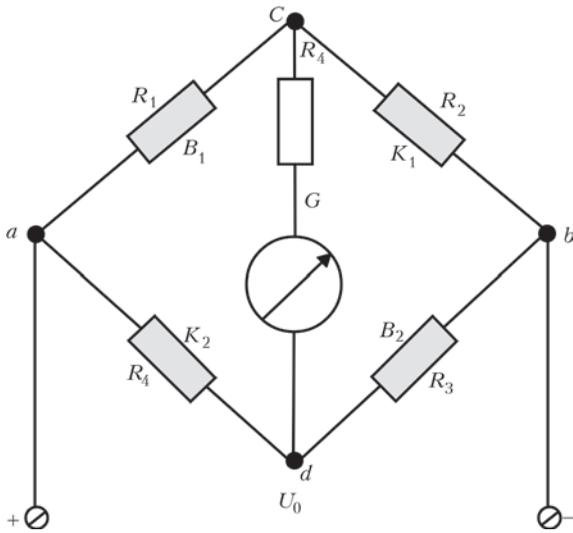


Рис. 3. Мостовая схема включения тензодатчиков в четыре плеча

ратурного воздействия на тензорезисторы). Разработанный подход позволяет определить НДС в достаточно малой окрестности любой точки на поверхности объекта. Он базируется на зависимости сопротивления тензорезисторов (датчиков) от температуры и деформации.

Принцип и способ определения НДС конструкции моста и компенсации температурного воздействия на тензодатчики. Как известно [4, 29], изменение сопротивления чувствительного элемента (ЧЭ) является основным информативным параметром, по которому можно узнать о величине измеренной деформации. Электрическое сопротивление ЧЭ меняется при его деформации. При постоянной температуре T_0 относительное изменение сопротивления тензорезистора $\Delta R/R$ пропорционально линейной деформации ε :

$$\xi = \left. \frac{\Delta R}{R} \right|_{T=T_0} = k\varepsilon, \quad (4)$$

где k – коэффициент тензочувствительности тензорезистора при температуре T ; ΔR – прирост сопротивления ЧЭ, вызванный его деформацией.

Деформация ε ЧЭ при температуре T определяется изменением размеров базы относительно начального значения:

$$\varepsilon = \frac{l - l_\varepsilon}{l} = \frac{\Delta l}{l}, \quad (5)$$

где l – длина базы ЧЭ при температуре T и отсутствии деформации; l_ε – длина базы ЧЭ при температуре T_0 под действием деформации ε .

Поскольку ЧЭ жестко установлен на поверхности объекта, он деформируется вместе с ним и его деформация ε совпадает с линейной деформацией поверхности объекта в направлении оси ЧЭ в месте его установки.

В случае, когда объект находится в одноосном однородном напряженном состоянии, а ось

тензорезистора ориентирована вдоль направления действия напряжений, деформация ЧЭ равна продольной деформации объекта ε , обусловленной напряжением σ . Поэтому, измеряя сопротивление R тензорезистора при действии напряжений на объект, можно вычислить его относительное изменение:

$$\xi = \frac{R_\varepsilon - R}{R}. \quad (6)$$

Из формулы (4) находим продольную деформацию объекта:

$$\varepsilon = \frac{\xi}{k}, \quad (7)$$

при этом напряжение σ определяется как

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{\xi}{k}, \quad (8)$$

где E – модуль Юнга материала объекта.

Рассмотрим электрическую схему измерения прироста сопротивления тензорезистора при его деформации с использованием базовой мостовой схемы.

Напряжение на выходной диагонали cd (см. рис. 3) такого моста при питании моста от источника постоянного напряжения определяется по формуле (3), а при питании схемы от источника постоянного тока напряжение на выходе моста определяется соотношением

$$U_{\text{вых.}} = I \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}, \quad (9)$$

где I – ток питания моста.

Сопротивление тензорезисторов при фиксированной температуре представляют в виде (1). Значения сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 в мостовой схеме обычно выбирают такими, чтобы при $\varepsilon = 0$ мост был уравновешен. Тогда при питании моста от источника постоянного напряжения получаем

$$R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0. \quad (10)$$

С целью уменьшения погрешности измерений целесообразно определять напряжения, действующие в объекте, которые пропорциональны выходному напряжению, поэтому

при питании от источника напряжения:

$$U_{\text{вых.}} = U \frac{R_2 \Delta R}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}, \quad (11)$$

или при питании от источника тока:

$$U_{\text{вых.}} = I \frac{R_2 \Delta R}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}. \quad (12)$$

Если выбрать $R_1 = R_2 = R_3 = R$ и принять во внимание, что $\Delta R \ll R_0$, то получим соответственно:

при питании от источника напряжения:



$$U_{\text{вых.}} = U \frac{\Delta R}{4R} = \frac{U}{4} \xi, \quad (13)$$

при питании от источника постоянного тока:

$$U_{\text{вых.}} = I \frac{\Delta R}{4} = \frac{U}{4} \xi. \quad (14)$$

В первом случае выходное напряжение измерительного моста пропорционально относительному изменению сопротивления тензорезистора, а во втором – абсолютному изменению сопротивления.

Если выбрать $R_1 = R$ и $R_2 = R_3$ и принять дополнительно $R_2 \ll R_0$, то получим

$$U_{\text{вых.}} = U \frac{\Delta R}{R} = U \xi \quad (15)$$

при питании от источника постоянного напряжения, а

$$U_{\text{вых.}} = U \frac{\Delta R}{2} = \frac{I}{2} R \xi \quad (16)$$

при питании мостовой схемы от источника постоянного тока.

Из формулы (15) вытекает, что

$$\varepsilon = \frac{U}{U_{\text{вых.}}} \quad (17)$$

при питании от источника постоянного напряжения, а

$$\varepsilon = \frac{U}{2U_{\text{вых.}}}$$

при питании мостовой схемы от источника постоянного тока (из формулы (16)).

Подставляя полученное значение из формулы (17) в соотношения (6)–(7), получаем формулы для определения одноосного НДС на основе измерений с использованием мостовой схемы:

$$\varepsilon_1 = \frac{U}{kU_{\text{вых.1}}}, \quad \sigma = E \frac{U}{kU_{\text{вых.1}}}; \quad (18)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{U}{kU_{\text{вых.2}}}, \quad \sigma = -E \frac{U}{kU_{\text{вых.2}}}; \quad (19)$$

$$\sigma = \frac{EU}{2k} \left(\frac{1}{U_{\text{вых.1}}} - \frac{1}{U_{\text{вых.2}}} \right). \quad (20)$$

При изменяющихся температурах нужно учитывать зависимость сопротивления ЧЕ как от деформации, так и от температуры:

$$R = R(\varepsilon, T). \quad (21)$$

Учитывая, что электрическое сопротивление современных тензорезисторов практически линейно зависит от деформации, представляем зависимость (21) в следующем виде:

$$R(\varepsilon, T) = R(T) + R(T)k(T)\varepsilon; \quad (22)$$

$$k(T) = \left. \frac{\partial R(\varepsilon, T)}{\partial \varepsilon} \right|_{\varepsilon=0}. \quad (23)$$

Когда температура фиксирована $T = T_0$, формула (22) эквивалентна формуле (1), в которой $k = k(T_0)$, $R_0 = R(T_0)$.

$R(T)$ в виде:

$$R(T) = R + \Delta R(T), \quad (24)$$

где R_0 – сопротивление тензорезистора при $\varepsilon = 0$ и фиксированной температуре T_0 ; $\Delta R(T)$ – изменение сопротивления, обусловленное изменением температуры.

При этом, принимая во внимание, что $\varepsilon \ll 1$, $\Delta R(T) \ll R_0$, получаем

$$R(\varepsilon, T) = R + \Delta R(T) + R(k)(T)\varepsilon, \quad (25)$$

откуда вытекает, что

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R(T)}{R} + K(T)\varepsilon. \quad (26)$$

Подставив это соотношение в формулу (17), получим

$$\varepsilon = \frac{1}{k(T)} \left(\frac{U_{\text{вых.}}}{U} - \frac{\Delta R(T)}{R} \right); \quad (27)$$

$$\Delta = \frac{1}{k(T)} \frac{\Delta R(T)}{R} + \frac{U_{\text{вых.}}}{U} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k(T)} \right). \quad (28)$$

Откуда вытекает, что при изменении T погрешность измерения зависит от начального сопротивления тензорезистора, а также от изменения его коэффициента тензочувствительности с температурой. Отметим, что когда температура фиксирована $T = T_0$, то $k = k(T)$, $\Delta R(T) = 0$, в результате чего $\Delta = 0$.

Если коэффициент тензочувствительности мало изменяется при изменении температуры $k(T) \approx k$, то формула (28) приобретает вид:

$$\Delta = \frac{1}{k} \frac{\Delta R(T)}{R_\varepsilon}. \quad (29)$$

Погрешность в таком случае определяется только температурным коэффициентом первоначального сопротивления тензорезистора.

Рассмотрим устранение погрешности, обусловленной изменениями температуры. С этой целью рассмотрим тензорезистор с базой, которая вдвое длиннее базы обычного тензорезистора (рис. 4) (или используем другой аналогичный тензорезистор, который находится в тех же температурных условиях и не подклеен или подклеен частично). Его особенность заключается в том, что он установлен на поверхности объекта путем приклеивания только одной половины длины его базы. Приклеенная часть деформируется совместно с объектом и меняет свое сопротивление с изменением температуры:

$$R_\varepsilon = R(\varepsilon, T), \quad (30)$$

а сопротивление R_n неподклеенной части (либо другого, неподклеенного тензорезистора) зависит только от температуры:

$$R_n = R(T). \quad (31)$$

При подключении подклеенной и неподклеенной частей тензорезистора в смежные части мостовой схемы выходное напряжение будет определяться, как и в предыдущем случае, по формулами (11)–(12). Примем дополнительно, что длины подклеенной и неподклеенной частей равны между собой, поэтому и начальные сопротивления этих частей одинаковы. Сопротивление подклеенной части резистора будет изменяться согласно формуле (26), а сопротивление неподклеенной части запишем в виде:

$$R_n = R + \Delta R(T). \quad (32)$$

Подставив соотношения (26) и (32) в формулу (12), получим:

$$U_{\text{вых.}} = U \frac{Rk(T)\varepsilon}{(R_1 + R_2)(R_\varepsilon + R_3)}. \quad (33)$$

При выполнении условий $R_3 = R_2 \ll R$

$$U_{\text{вых.}} = Uk(T)\varepsilon. \quad (34)$$

Отсюда вытекает, что выходной сигнал не содержит составляющей, которая обусловлена изменением первоначального сопротивления тензорезистора при изменении температуры окружающей среды.

В нашем случае $R_1 = R_3 = R$, а $R_2 = R_4 = R + \Delta R$. Учитывая, что $\Delta R \ll R_0$, получим соответственно: при питании от источника напряжения:

$$U_{\text{вых.}} = U \frac{\Delta R}{2R} = \frac{U}{2} \xi, \quad (35)$$

при питании от источника тока:

$$U_{\text{вых.}} = I \frac{\Delta R}{2} = \frac{U}{2} \xi. \quad (36)$$

При проведении измерений используем мостовую схему с включением тензодатчиков в четыре плеча (см. рис. 3), в которой при использовании четырех датчиков два тензорезистора будут измерительными (R_2 и R_4) и два компенсирующими (R_1 и R_3).

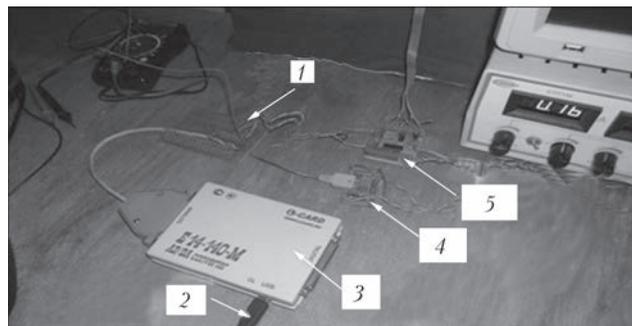


Рис. 4. Устройство для сбора и передачи данных сигнала тензометрических и температурных датчиков: 1 – плата сбора данных; 2 – USB-разъем к компьютеру; 3 – АЦП; 4 – мост термпары; 5 – плата согласования

Измеренную деформацию переводим в напряжение по формуле

$$\sigma_{\varepsilon} = \varepsilon \frac{\nu E + (1 - 2\nu) E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}.$$

Таким образом, получены значения деформаций и напряжений при конкретной температуре и нагрузке.

Результаты исследований и их анализ. Измерение температурных деформаций осуществлялось на металлической двутавровой балке профиля № 14, длина балки 2,25 м. Измерение деформаций проводилось с помощью мостовой тензометрической схемы (рис. 4), а измерение температуры – с помощью датчика температуры, который также включался по мостовой схеме.

Оба аналоговых сигнала поступают на входы каналов АЦП, где они преобразуются в цифровой код и далее передаются на компьютер.

Компьютер накапливает полученную информацию в форме баз данных. Эту базу данных в дальнейшем обрабатываем и анализируем.

Ход проведения измерений

1. После наклеивания тензодатчиков, монтажа схемы и оборудования устанавливаем показания микрометра на нуль. Далее фиксируем напряжение на выходе тензометрического моста, которое составляет 0,0027 В.

2. С помощью пирометра измеряем температуру балки, которая составляет 16,5 °С. Фиксируем напряжение на выходе моста с датчиком температуры, которая составляет 0,250 В.

3. С целью калибровки датчиков нагреваем балку до температуры 40 °С, контролируя ее с помощью пирометра. Фиксируем напряжения на выходах мостов, составляющие на выходе тензометрического моста – 0,0112 В, а на выходе моста с датчиком температуры – 0,300 В (напряжения контролируются с помощью программного обеспечения L-Graph 2 и осциллографа). Фиксируем деформацию балки с помощью микрометра, которая составляет 0,065 мм.

4. Даем балке остыть до начальной температуры.

5. Постепенно нагревая балку, постоянно снимаем показания с измерительных мостов. Полученные значения деформации и температуры отображаются в виде графиков на экране монитора и сохраняются на жестком диске с целью дальнейшей обработки.

На рис. 5 в качестве примера приведены снимки экрана для неоткалиброванных значений температуры 10 и 40 °С соответственно. Как видно, происходит постепенный рост температуры (нижняя линия на графиках) и деформаций (верхняя). По оси абсцисс на графиках (рис. 5) отложены отметки времени, а по оси ординат – амплитуда сигнала на входе преобразователя.

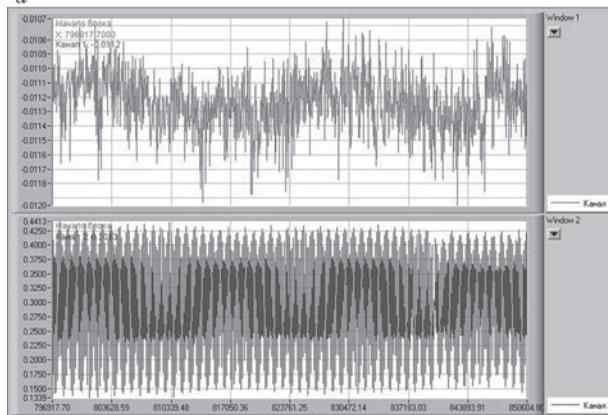
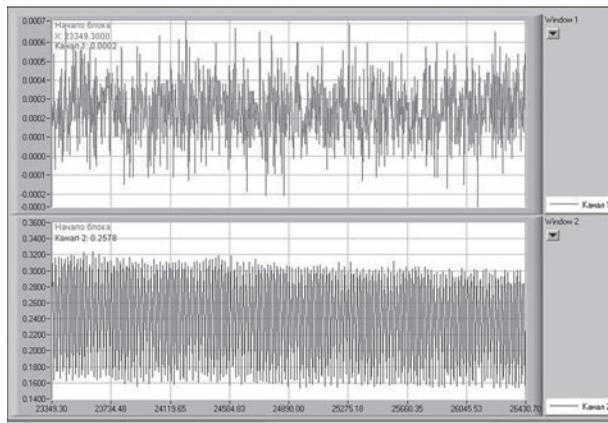


Рис. 5. Окна программы в процессе измерений при температуре 10 (а) и 40 °С (б)

Результаты экспериментальных измерений температурных деформаций металлической двугавровой балки

Номер п/п	Температура t , °С	Эксперимент ϵ , мм
1	15	0,030
2	20	0,034
3	25	0,039
4	30	0,049
5	35	0,052
6	40	0,065

6. Дальнейшую обработку информации проводили для точек с температурами: 15, 20, 25, 30, 35, 40 °С. При этом учитывались данные, полученные при калибровке.

Результаты измерений температурных деформаций приведены в таблице.

Выводы

Разработанное устройство по измерению характеристик НДС транспортных сооружений при переменных температурах и нагрузках можно применять для непрерывного НК их технического состояния.

Для создания системы мониторинга НДС этих конструкций целесообразно использовать тензодатчики в качестве измерительных преобразователей деформации. По результатам такого мониторинга можно прогнозировать деформации элементов транспортных сооружений при различ-

ных температурных условиях, которые необходимо учитывать на этапе их проектирования.

1. Ковальчук В.В. Стан та проблеми забезпечення довговічності прогонових будов мостів // 36. наук. праць ДонІЗТ. – 2012. – № 32. – С. 226–235.
2. Коваль П.М., Балабух Я.А. Проблеми забезпечення довговічності сталезалізобетонних мостів // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – Львів: Каменяр, 2012. – Вип. 9. – С. 426–443.
3. Лучко Й.Й., Ковальчук В.В. Вимірювання напружено-деформованого стану конструкцій мостів при змінних температурах і навантаженнях. – Львів: Каменяр, 2012. – 235 с.
4. Zeit по темі «Розробити рекомендації із вимірювання характеристик напружено-деформованого стану елементів мостів при змінних температурах». – Київ: ДерждорНДІ, 2007. – 62 с.
5. Лучко Й.Й., Ковальчук В.В. Деякі аспекти діагностики довговічності та надійності залізобетонних мостових споруд // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. – 2012. – Вип. 9. – С. 451–456.
6. Кваща В.Г. Обстеження та випробування автомобільних мостів. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2002. – 104 с.
7. Лучко Й.Й. Методика вимірювання напружено-деформованого стану елементів конструкцій під час змінних температур і навантажень // Сб. научн. тр. Днепропетр. ПГА-СА: Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2008. – Вып. 47. – С. 382–387.
8. Kester Walt. Practical desing techniques for sensor signal conditioning. – Canada, 1999. – 366 p.
9. Ковальчук В.В., Лучко Й.Й. Багатофункціональні датчики / Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 39. – С. 72–82.
10. Лучко Й.Й. Принцип роботи давачів та схеми вимірювання напружено-деформованого стану в елементах мостових конструкцій під час змінних температур / Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди. – 2008. – Вип. 17. – С. 347–358.
11. Пат. № 93604 МПК G 01 B 5/30, E04B 1/00. Пристрій для вимірювання та оцінки напружено-деформованого стану транспортних споруд при змінних температурах і статичних та динамічних навантаженнях / В.В. Ковальчук; Заявник В.В. Ковальчук. – № u2014 04271; Заяв. 22. 04. 2014 р.; Опубл. 10.10.2014; Бюл. № 19.
12. Пат. № 94540 МПК G 01 B 5/30. Спосіб визначення напружень у мостових конструкціях та металевих гофрованих трубах, які виникають внаслідок дії змінних температур та навантажень / Й.Й. Лучко, О.М. Возняк, В.В. Ковальчук; № u2014 01808; Заяв. 24. 02. 2014 р.; Опубл. 25.11.14; Бюл. № 22.
13. Hoffmann K. An Introduction to Measurements sing Strain Gages. – Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989. – 273 p.
14. Немец И. Практическое применение тензорезисторов. – М.: Энергия, 1970. – 144 с.
15. Ковальчук В.В. Пристрої для досліджень давачів вимірювання деформацій / Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2011. – Вип. 21. – С. 232–237.
16. Пат. 87550 МПК G 01 B 5/30. Пристрій для вимірювання та оцінки напружено-деформованого стану мостових конструкцій при змінних температурах і навантаженнях (ВНДСМК) / Й.Й. Лучко, О.М. Возняк, В.В. Ковальчук; № u2013 10779; Заяв. 09.09.2013 р.; Опубл. 10.02.14; Бюл. № 3.
17. Дмитрієв М.М. Неруйнівний контроль стану аеродромних покриттів тепловими методами // Вісник Нац. трансп. ун-ту України. – 2002. – № 6. – С. 171–181.
18. Дмитрієв Н.Н. Основы контроля и диагностики аэродромных покрытий. – Киев: УТУ, 1998. – 240 с.
19. Стороженко В.А., Вавилов В.П., Волчек А.Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. – Киев: Техніка, 1988. – 125 с.



20. Олійник А.П., Незамай Б.С., Кучер О.Р. Моделирование процессу деформування в задачах контролю технічного стану промислових споруд // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – № 27. – С. 1–5.
21. Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 376 с.
22. Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356с.
23. Михелев Д.Ш., Рунов И.В., Голубцов А.И. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
24. СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986 – 36с.
25. Макаров Р.А., Басин Я.Н. Радиоизотопные методы измерений в строительстве. Обзор методов и приборов, основанных на использовании гамма-излучения. – М.: Машиностроение, 1963. – 180 с.
26. Клюев В.В. Неразрушающий контроль. – Т. 3.: Справочник. В 7 кн. / Под ред. В.В. Клюева. – М. Машиностроение, 2004. – 511с.
27. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций. – М.: Издво Ассоциации строительных вузов, 2001. – 176 с.
28. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. – Л.: Стройиздат, 1975. – 334 с.
29. Кравцов А.В., Рыбинский Ю.В. Электрические измерения. – М.: Колос, 1979. – 351 с.

Scientific bases for a new device for measurement and evaluation of stress-strain state of transport facilities at variables temperatures and loads have been developed. Technical problem, which is solved by this work, consists in taking scientifically-grounded decisions by the results of transport facilities monitoring, on the need to conduct reconditioning repair, monitoring the gradual lowering of load-carrying capacity of structural elements, determining their actual technical condition and residual life. 29 References, 1 Table, 5 Figures.

Keywords : device for stress-strain state measurement, loads, transport facilities, load-carrying capacity

Поступила в редакцию
12.10.2015

Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины
Международная Ассоциация «Сварка»

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ

13–15 июня 2016 г., Киев

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины

Тематика конференции

- Электронно-лучевая сварка;
- Лазерная сварка;
- Гибридные процессы сварки;
- STIR;
- Контактно-стыковая сварка высокопрочных сталей;
- Сварка дугой, вращающейся в магнитном поле;
- 3D аддитивные технологии, базирующиеся на сварочных процессах;
- Методы НК и диагностики сварных конструкций.



Выставка

Во время работы конференции в корпусе №4 ИЭС будет работать выставка «Сварка и родственные технологии». Время работы выставки – 14.06.2016 г. с 9.00 до 17.00, 15.06.2016 г. – с 9.00 до 16.00.

Секретариат конференции

Зельниченко Александр Тимофеевич
тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.pwi-scientists.com/rus/modernweld2016