

TRWAŁE METODY NAPRAWCZE W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

Praca zbiorowa pod redakcją

Tomasza Błaszczyńskiego

Wiesława Buczkowskiego

Józefa Jasiczaka

Mieczysława Kamińskiego



TRWAŁE METODY NAPRAWCZE W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

DURABLE REPAIR METHODS IN BUILDINGS

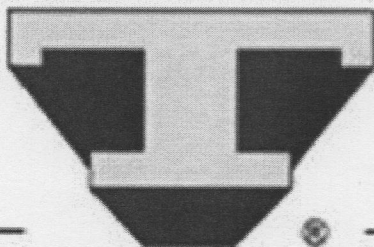
Wojciech Błaszczynski
Krzysztof Buczkowski
Krzysztof Jasieczka
Krzysztof Jasieczka



Dołącz do Wydawnictwa Edukacyjnego

Książka wydana dzięki wsparciu

Torkret



Zaprawy Techniczne

sto

StoCretec

KONBET POZNAŃ

WUPRINŻ

SIPUR



Trwałe zabezpieczenia budowlane

...jakże, która się opłaca!

ELSTAR - BIO GÓRNY[®]
Sp. z o.o.

62-571 STARE MIASTO; ul. Topolowa 27
tel.: 646 63 243 04 89, fax: 646 63 243 04 88
www.elstar-bio.pl sekretariat@elstar-bio.pl



POZBRUK

FABET



TRWAŁE METODY NAPRAWCZE W OBIEKTACH BUDOWANYCH

DURABLE REPAIR METHODS IN BUILDINGS

Praca zbiorowa pod redakcją

Tomasz Błaszczynskiego
Wiesława Buczkowskiego
Józefa Jasiczaka
Mieczysława Kamińskiego



Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne

Opiniodawcy

dr hab. inż. Wiesława Głodkowska prof. PK
prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła
prof. dr hab. inż. Piotr Noakowski
prof. dr inż. Andrzej Nowak
prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz
dr hab. inż. Andrzej Ubysz prof. PWr

Redakcja techniczna i korekta

Tomasz Błaszczyński
Monika Siewczyńska

Skład i łamanie

Monika Siewczyńska

Projekt okładki

Grażyna Błaszczyńska

ISBN 978-83-7125-252-5

© Copyright by authors, 2015

Wydawca:

DOLNOŚLĄSKIE WYDAWNICTWO EDUKACYJNE

53-204 Wrocław, ul. Beyzymy 20b
Tel./fax. +48 71 363 26 85, +48 601 312 869
e-mail: biuro@dwe.wroc.pl
<http://www.dwe.wroc.pl>

PRZEDMOWA

O istniejące obiekty budowlane trzeba dbać zawsze, ponieważ brak tej dbałości może prowadzić do zagrożenia ich bezpieczeństwa oraz bezpieczeństwa ich użytkowników. Ze względu na różną trwałość obiektów budowlanych wiek XXI stał się dla budownictwa w dużej mierze wiekiem napraw i remontów. Wraz z kurczeniem się terenów budowlanych wzrost tego typu działań w stosunku do obiektów istniejących jest nieunikniony. Utrzymujący się światowy kryzys ekonomiczny nadal hamuje wzrost nowych inwestycji. Zarówno naturalnie starzejąca się tkanka budowlana, jak i niestety coraz częściej obiekty nowe obciążone błędami projektowymi czy wykonawczymi, wymagają napraw i remontów. Przeprowadzenie naprawy całego obiektu lub tylko jego części, wymaga zróżnicowanego podejścia w zależności od rodzaju obiektu, rozwiązania konstrukcyjnego, jego wielkości, czy funkcji. Nie bez znaczenia jest tu również oddziałujące środowisko. Z powodu zwiększającej się agresywności środowiska oraz starzenia się obiektów budowlanych, a także niższej ich trwałości, coraz częściej są potrzebne ich naprawy i ochrona konstrukcji. Te zagadnienia szeroko przedstawia przygotowana monografia ze szczególnym uwzględnieniem korozji biologicznej, korozji chlorkowej, czy promieniowania jonizującego. W pracy przedstawiono wiele zagadnień od tak ciekawego, jak podejście do prognozowania stanu technicznego niektórych elementów obiektów budowlanych, jako modelu prognozowania szeregu czasowego, aż to analiz filozoficzno-prawnych, takich jak wpływ utrzymania i remontu obiektu budowlanego na prawa autorskie.

Książka ta jest kolejną, już 5 pozycją, przygotowaną przez redaktorów w tematyce trwałości napraw obiektów budowlanych, po wydanych już w 2007, 2009 i 2010r. pozycjach. W poprzednich monografiach przedstawiono: *Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych* (2007r.), *Współczesne metody naprawcze w obiektach budowlanych* (2009r.), a także *Trwałe rozwiązania naprawcze w obiektach budowlanych* (2010 r.) oraz *Durability and repair of building structures* (2010r.). Tym razem proponujemy czytelnikowi *Trwałe metody naprawcze w obiektach budowlanych*. Pozycja ta aktualizuje wiedzę o najnowszych krajowych i wybranych zagranicznych osiągnięciach w dziedzinie trwałych rozwiązań naprawczych zastosowanych w obiektach budowlanych. Przedstawia także przykłady negatywne prowadzące nawet do awarii lub katastrof. W celu zachowania czytelności utrzymano wprowadzony już w pierwszej książce podział na dwa główne działy. W pierwszym zawarto podstawy naukowe (*Nauka, badania, technologie*), w drugim przedstawiono zastosowania praktyczne trwałych napraw i wzmocnień elementów obiektów

budowlanych oraz samych obiektów (*Budownictwo ogólne, Konstrukcje metalowe i Konstrukcje murowe*). Treści podzielono na 30 rozdziałów, których autorami są często wysokiej klasy specjaliści od napraw obiektów budowlanych, działający zarówno w kraju jak i za granicą.

Przygotowana monografia jest adresowana do środowisk naukowych i projektowych, producentów materiałów stosowanych w naprawach obiektów budowlanych oraz wykonawców tych robót, a także do studentów kierunków związanych z budownictwem.

Redaktorzy monografii Tomasz Błaszczyński, Wiesław Buczkowski, Józef Jasieczak i Mieczysław Kamiński, chcieliby skierować gorące podziękowania do autorów poszczególnych rozdziałów za trud ich przygotowania, a opiniodawcom za wnikliwe recenzje.

Redaktorzy

Spis treści Contents

1. Nauka, badania, technologie	11
1. Science, research, technologies	
Józef LUCHKO, Vladimir KOVALCHUK, O. WOZNIAK Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature <i>Urządzenie do pomiaru i oceny stanu naprężenie - odkształcenie dla obiektów komunikacyjnych przy zmiennym obciążeniu i zmiennej temperaturze</i>	13
Aldona ŁOWIŃSKA-KLUGE, Daria HORBIK Biological corrosion of selected building materials <i>Korozja biologiczna wybranych materiałów budowlanych</i>	23
Tomasz BŁASZCZYŃSKI, Bogumił KLIMASZEWSKI, Wojciech KUCNER Efektywność iniekcji gruntowych <i>The efficiency of ground injections</i>	38
Aldona ŁOWIŃSKA-KLUGE, Tomasz PIETRASZEWSKI, Miłosz ROGOZIŃSKI, Karolina SOBCZAK, Anna SZYMCZAK Control of selected properties of cement- composites for their use as biological shields in the objects exposed to ionizing radiation <i>Kształtowanie wybranych właściwości kompozytów cementowych pod kątem ich zastosowań jako osłon biologicznych w obiektach narażonych na promieniowanie jonizujące</i>	54
Tomasz Z. BŁASZCZYŃSKI, Maciej R. KRÓL, Mariusz JANUSZEWSKI Wpływ agresji chlorkowej na szczelność betonów stosowanych w oczyszczalniach ścieków <i>Influence of chloride aggression on the tightness of concrete used in sewage treatment plants</i>	73
Agnieszka ŚLOSARCZYK, Teresa KANTEL, Maria RATAJCZAK Procesy starzeniowe wybranych zapraw naprawczych <i>Aging processes of selected repair mortars</i>	85
Michał BABIAK Modyfikator asfaltów nowego typu zwiększający trwałość wyrobów hydroizolacyjnych <i>The asphalt modifier of a new type – the method to increase of the stability of waterproofing materials</i>	94

2. Budownictwo ogólne	107
2. Building construction	
Piotr NOAKOWSKI, Andreas HARLING, Ella BRYLLA Prefabrykowane ściany hali przemysłowej w Wuppertalu. Aspekty ponownego montażu poawaryjnego <i>The protection connections between facade panels and columns</i>	110
Bohdan NAZAREWICZ, Wiktoria NAZAREWICZ, Jurij WATAŻYSZYN Renowacja zabytkowego kościoła Parafii Rzymskokatolickiej pw. św. Stanisława Bpa w Busku, woj. Lwowskie <i>Renovation of historical church roman-catholic parish - st. Stanislav church in Busko, Lviv province</i>	122
Zbigniew BROMBEREK Naprawy i "naprawy": utrzymanie i remont budynku a prawa autorskie <i>Repairs and "repairs": building maintenance and renovations, and copyright issues</i>	131
Jurij VYBRANETS Hight calculation of a changeable structure <i>Propozycje obliczania składowych konstrukcji tymczasowych</i>	153
Krzysztof KAMIŃSKI Efektywność napraw gotyckiego kościoła farnego w Płocku <i>The efficiency of the walls repair of the Gothic church in Plock</i>	159
Marek DOHOJDA, Jarosław SZULC Stan techniczny stropu wielopoziomowego garażu zewnętrznego a sposób jego naprawy <i>Technical of state RC floors in external multilevel garages a the method of their repair</i>	170
Aleksy ŁODO, M. CHODÓR Naprawa pokrycia dachu z folii PVC zniszczonego gradem <i>The repair of PVC roofing destroyed by hail</i>	181
Jacek MĄDRAWSKI, Wojciech KOSTRZEWSKI Badanie skuteczności uszczelniania czaszy zbiorników retencyjnych bentomata <i>Study of the effectiveness of the canopy seal reservoirs by bentonite mats</i>	189
Tomasz GORZELAŃCZYK, Krzysztof SCHABOWICZ Zastosowanie płyt włókno-cementowych do naprawy okładzin wewnętrznych <i>Application of fibre-cement panels in repairs of interior panelling</i>	195
Piotr KNYZIAK Wpływ wykonawstwa i sposobu eksploatacji na trwałość prefabrykowanych budynków mieszkalnych <i>Influence of proper construction and maintenance on durability of the precast residential buildings</i>	206

Barbara KSIT, Bartłomiej MONCZYŃSKI Praktyczne zastosowanie tynków regulujących zawilgocenie na przykładzie dawnego Kolegium Jezuickiego we Wschowie <i>Practical usage of moisture regulating mortar system on the basis of the old Jesuit College in Wschowa example</i>	217
Dariusz JANISZEWSKI, Zuzanna JANISZEWSKA, Marlena KUCZ Propozycja renowacji dachu oraz wieży Kościoła pw. Św. Wawrzyńca w Nakle <i>Proposal of renovation of the roof and the tower of St. Warzyńiec Church in Nakło</i>	227
Grzegorz WYSOCKI, Barbara KSIT Technical state diagnosis of an inventory building and a proposal of optimization of the rafter framing renovation <i>Rozpoznanie stanu technicznego budynku inwentarskiego – z optymalizacją renowacji więźby dachowej</i>	239
Michał BABIAK Trwałość współczesnych materiałów hydroizolacyjnych <i>Durability of modern waterproofing materials</i>	247
3. Konstrukcje metalowe	259
3. Metal structures	
Krzysztof G. WASZCZUK, Andrzej S. NOWAK Statistical parameters for fatigue strengths categories of steel <i>Parametry statystyczne kategorii wytrzymałości zmęczeniowej stali</i>	261
Maciej SZUMIGAŁA, Marcin CHYBIŃSKI, Łukasz POLUS Problem eksploatacyjny wiązarów kratowych wykonanych z przekrojów zamkniętych w dachach bezpłatwiowych <i>The problem with the steel trusses which have chords of hollow sections in the roofs without purlins</i>	271
Katarzyna RZESZUT Analiza przyczyn korozji kanałów wentylacyjnych wykonanych ze stali nierdzewnej zamontowanych w pływalni krytej <i>Corrosion of ventilation ducts made of stainless steel in indoor swimming-pool</i>	278
Maciej SZUMIGAŁA, Zbigniew KURZAWA, Marcin CHYBIŃSKI, Ewa SZUMIGAŁA Odbudowa konstrukcji wsporczej wanny pieca szklarskiego po awarii <i>Rebuilding of supporting structure of the glass furnace after failure</i>	290
Katarzyna RZESZUT Analiza przyczyn awarii hal namiotowych o konstrukcji aluminiowej <i>Analysis of failure of the tent halls made of aluminum structure</i>	307

Maciej SZUMIGAŁA, Zbigniew KURZAWA, Łukasz POLUS	320
Brak przejeźdźności suwnicy podwieszanej do konstrukcji stalowej hangaru	
<i>The problem with the ride of the suspension crane suspended to the steel air shed</i>	

4. Konstrukcje murowe **329**

3. Masonry structures

Beata NOWOGOŃSKA	331
Prognoza stanu technicznego ścian murowanych jako model prognozowania szeregu czasowego	
<i>Predicting the certainty in exploiting a building</i>	

Adelajda GOETZKE-PALA	340
Badania wilgotności murów ceglanych nieniszczącą metodą dielektryczną	
<i>Tests of moisture content in brick walls by non-destructive dielectric method</i>	

Monika SIEWCZYŃSKA	349
Analiza nośności konstrukcji murowych projektowanych w ciągu ostatnich sześćdziesięciu lat	
<i>Analysis of load capacity of masonry structures designed in the last sixty years</i>	

Indeks autorów	362
<i>Author index</i>	

Device for measuring and evaluating stress-strain state transport facilities at variable load intensity in conditions

Igor Luchko^a, Vladimir Kovalchuk^a, O. Wozniak^b

^aDepartment of Designing and National University of Highway Transport named after Akademik V. Lashko, Ukraine

In this work the scientific principles of a new device for the measurement and evaluation of the stress-strain state of transport facilities under changing temperature and loads. The technical problem solved was to create a device for measuring and evaluating the stress-strain state of transport facilities under changing temperature and loads. The device is designed to measure and evaluate the stress-strain state of transport facilities under changing temperature and loads. The device is designed to measure and evaluate the stress-strain state of transport facilities under changing temperature and loads.

As the basis of the new device is measuring strain using analog-digital converter (ADC) and analog-to-digital converter (DAC). The advantage of the proposed device is that the accuracy of measurements made with the help of the device is not dependent on the length of the measuring element and supply voltage. The device is designed to measure and evaluate the stress-strain state of transport facilities under changing temperature and loads.

^bFaculty of Mechanical Engineering, University of Applied Sciences, Poland

1. Introduction

When we talk about the term of reliable operation, which is set for transport facilities, is confined, there is a need to establish remaining resource of reliable operation and continuous monitoring of changes in physical and mechanical characteristics of the material during long-term operation at variable temperatures [1-3]. Therefore, there is a need to develop a device for the purpose to monitor these structures and regularly record deformations that they may have. Data about material deformation structures can be obtained using sensors - resistive strain sensors [4]. Practical application of

1. Nauka, badania, technologie

1. Science, research, technologies

measured signals are processed by a microcontroller (MCU) and stored in memory 4 for the operation of the measuring system and ADC using power supply 5.

Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature

Józef Luchko^a, Vladimir Kovalchuk^a, O. Wozniak^a

^aLviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan

In this work the scientific principles of a new device for the measurement and evaluation of the stress-strain state of transportation facilities under changing temperatures and loads. The technical problem which is solved by this work is to adopt the monitored transport facilities evidence-based decisions about the need for renewal of an element, controlling gradual reduction of the bearing capacity of the structural elements, establishing their actual technical condition and residual life.

At the heart of the new device is measuring strain using analog-to-digital converter (ADC) and analog measuring bridge-tensometer. The advantage of the proposed device is that the accuracy of measurements made with the help does not depend on the length of the connecting conductors and supply voltage. He can help you evaluate and consider the deformation caused by too, and temperature effects on transport facilities.

Keywords: *technical state, transducer (converter) analog-to-digital, transport facilities*

1. Introduction

Whereas the term of reliable operation, which is set for transport facilities, is confined, there is a need to establish remaining resource of reliable operation and continuous monitoring of changes in physical and mechanical characteristics of the material during long-term operation at variable temperatures [1-5]. Therefore, there is a need to develop a device for the purpose to monitor these structures and regularly record deformations that they may have. Data about material deformation structures can be obtained using sensors - resistive-strain sensors [6]. Practical application of which requires the development of measuring circuits and devices to work with them.

Generalized block diagram of the proposed device is shown in Fig. 1 When measured signal from tensometer 1 to the input of the ADC 2, where the measured signal parameters are determined by means of software and displayed on the display 5 and 3, for further use and processing, accumulated in memory 4 for the operation of the measuring system and ADC using power supply 6.

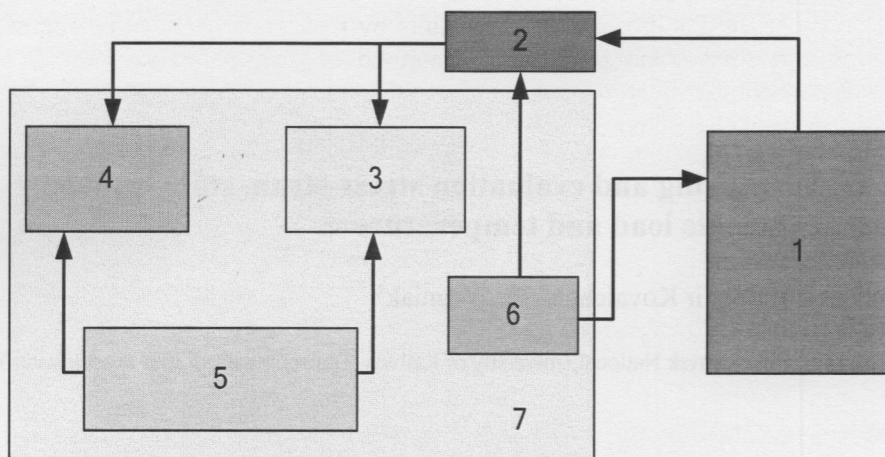


Figure 1. Generalized block diagram of measurements

A real circuit measurement (Figure 2) consists of a personal computer 7 which feeds the ADC 2 and 1 tensometer. Information tensometer 1 is transmitted to the ADC 2, and from there on PC 7, which in this case performs the functions of an information board 3, storage media 4 and software 5.

No special requires for PC used for measurement needed. One of its features is the presence of a hard drive with a storage capacity that is sufficient to store a large number of measured values. It is desirable the computer to be portable.

The software that will run on your computer must guarantee the safety and redundancy of the data, the possibility of processing and visual reproduction.

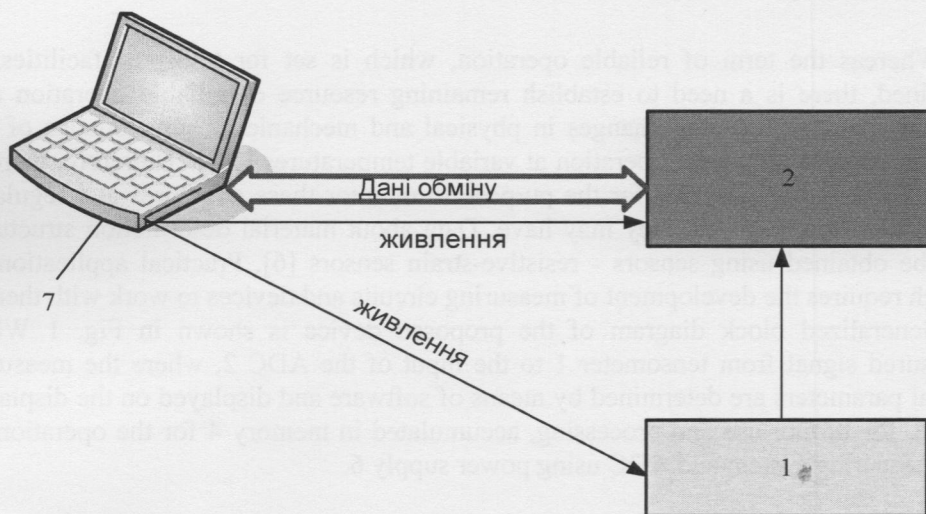


Figure 2. The real measurement scheme

Next, consider the features of bridge circuits by resistance changes in one of the bridge arms and shed some light on the method of calculation parameters such schemes when dealing with strain sensors.

Thus, in view of the statements above, the challenge is the rational scheme of the bridge and its calculation. In tensometers used two schemes of measurements are used: bridge and half-bridge (potentiometer) [7-8].

The equilibrium condition is given by bridge circuit

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

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad (2)$$

Dependence of output voltage from parameters of resistance schemes is

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

Where $U_0 = E_0 - IR_{\text{int}}$ - stress feeding bridge.

Depending on the mode switch on the sensor bridge circuitare are distinguished switching on sensors in one, two and four arm bridge circuit [7, 9, 10]. When measuring small deformations caused by thermal effects appropriate to apply the bridge circuit switching on sensors in four arm bridge (Figure 3). This circuit switched feasible even with the view that the thickness of the beam is large compared with the deformation and its opposite sides are in different temperature conditions.

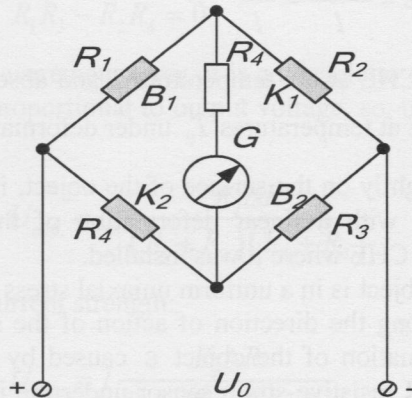


Figure. 3 - Switched bridge circuit of strain sensors in four arm bridges

Next, consider the principle of determining the VAT elements of bridge structures under variable loads and temperatures, which is in the simultaneous measurement of

the object's deformation and temperature (and the compensation temperature effects on resistive-strain sensors). The developed approach allows determining the VAT in sufficiently small neighbourhood of any point on the object. It is based on the dependence of the resistance resistive-strain sensors (sensors) on temperature and deformation.

2. The principle and method of determining the deflected mode of the bridge design and compensation of temperature effects on resistive-strain sensors

It is known [5], the change in resistance of the sensitive element (SE) is the main informative parameter by which you can learn about the value of the measured deformation. The electrical resistance varies with SE deformation. At constant temperature T_0 relative change in resistance $\Delta R / R$ of the resistive-strain sensor is proportional to the linear deformation ε :

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

where k - coefficient of tensosensitivity of resistive-strain sensor for temperature T ; ΔR - increase resistance CHE caused by its deformation.

Deformation ε CHE at the temperature T is determined by the change of measurements base relative to the initial value:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5)$$

where: l - length of base CHE at the temperature T and absence of deformation, l_0 - the length of the base CHE at temperatures T_0 under deformation ε .

Since CHE installed tightly on the surface of the object, it deforms with it, and its deformation ε coincides with a linear deformation of the object surface in the direction of the axis of the CHE where it was installed.

In the case where the object is in a uniform uniaxial stress state, and resistive-strain sensor axis is oriented along the direction of action of the stress, deformation CHE equals longitudinal deformation of the object ε caused by stress σ . Therefore, by measuring the resistance R resistive-strain sensor under the influence of stress on the object it is possible to calculate it's the relative change:

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

From the formula 4 we can find longitudinal object deformation

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

Herewith stress σ is determined as

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

where E - Young modulus of object's material.

Consider the electrical circuit measurement of the growth of resistance resistive-strain sensor in its deformation. For this purpose, the basic bridge circuit is used.

Output voltage at the diagonal cd of the bridge at the power of the bridge voltage source is given by formula (3), and the power circuit of the DC power supply output voltage of the bridge is given by

$$U_{\Delta\partial\partial.} = I \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (9)$$

where I - bridge supply voltage

Resistive-strain sensor resistance at the fixed temperature is served in the form (1). The resistance values R_1, R_2, R_3, R_4 in the bridge circuit are usually chosen such that when $\varepsilon = 0$ the bridge was balanced. Then at the power of the bridge from the direct voltage source we obtain

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

In order to reduce measurement error, it is advisable to determine the stress acting in the facility, which is proportional to output voltage, so, the power from the voltage source:

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

The power from the current strength:

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

If you choose $R_1 = R_2 = R_3 = R$, and take into consideration that $\Delta R \ll R_0$ we'll have:

The power from the voltage source

$$U_{\partial\partial\partial} = U \frac{\Delta R}{4R} = \frac{U}{4} \xi \quad (13)$$

The power from the direct current strength

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

That is, in the first case the output voltage of the measuring bridge is proportional to the relative change in resistance of the resistive-strain sensor, and the second - the absolute resistance change.

If you choose $R_1 = R$ i $R_2 = R_3$, taking additionally $R_2 \ll R$ get

$$U_{\partial\partial\partial} = U \frac{\Delta R}{R} = U \xi \quad (15)$$

The power from the direct voltage source

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

The power of the bridge circuit from the direct current strength source
From formula (15) follows

$$\varepsilon = \frac{U}{U_{\partial\partial\partial}} \quad (17)$$

The power from the direct voltage source

$$\varepsilon = \frac{U}{2U_{\partial\partial\partial}}$$

The power of the bridge circuit from the direct current strength source (from formula (16)).

Substituting the value obtained from equation (17) into (6) - (7), we obtain the formula for determining the uniaxial deflected mode based on measurements using bridge circuit:

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

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

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

It is necessary to consider dependence of resistance CHE with variable temperature from deformation and temperature. (21)

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

Taking into consideration that the electrical resistance of modern semiconductor resistive-strain sensors is almost linearly dependent on the deformation, give the relation (21) in the following form:

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

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

When the temperature is fixed $T = T_0$ formula (22) is equivalent formula (1), where $k = k(T_0)$, $R_0 = R(T_0)$.

Present $R(T)$ in the form

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

where R_0 - resistive-strain sensor resistance $\varepsilon = 0$ at a fixed temperature; T_0 ; $\Delta R(T)$ - resistance change, caused by temperature changes.

Thus, taking into account that, $\varepsilon \ll 1$, $\Delta R(T) \ll R_0$ we obtain

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

Therefore it follows

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

Setting this correlation into formula (17) we get

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

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

It follows that with the change of T measurement error depends on the initial resistance resistive-strain sensor, as well as change its tensosensitivity factor with temperature. Note that when the temperature is fixed $T = T_0$, $k = k(T)$, $\Delta R(T) = 0$ then, as a result $\Delta = 0$.

If the tensosensitivity factor varies little with temperature change, the formula (28) takes the following form

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

That error in this case is only the initial temperature coefficient of resistive-strain sensor resistance.

Consider eliminating errors due to changes in temperature. To this aim, consider the resistive-strain sensor with the base, which is twice longer than the base of conventional resistive-strain sensor (Fig. 4) (or use another similar device, which is in the same conditions of temperature and or connected in such a way so that is not deformed). Its peculiarity lies in the fact that it is installed on the surface of an object by gluing only one half the length of its base. Stuck deformed part is compatible with the object and changes its resistance with temperature change:

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

Resistance R_l not gluing part (or second, not gluing resistive-strain sensor) depends only on temperature:

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

When connecting gluing and not gluing crystal parts to adjacent parts of the bridge circuit output voltage is defined similarly as in the previous case by the formulas (11-12). Assume further that the length of glued and not glued parts is equal, so the initial resistance of those parts of the crystal are the same. Resistance of glued part will vary according to formula (26), and the resistance of glued section gives a view

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

Setting this correlation (26) and (27) into formula (12) we get

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

Under fulfilment of conditions $R_3 = R_2 \ll R$, get

$$U_{\partial\partial\partial} = Uk(T)\varepsilon \quad (34)$$

Hence, the output signal doesn't contain a component that is due to the change of initial resistance of resistive-strain sensor at change in ambient temperature.

In this case $R_1 = R_3 = R$, a $R_2 = R_4 = R + \Delta R$. Taking into account, that $\Delta R \ll R_0$, we get:

The power from the voltage source

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

The power from the current strength source

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

When measuring use bridge circuit with switching on resistive-strain sensor in four arm bridges (see. Fig. 3) in which, using four sensors, two resistive-strain sensors are measuring (R_2 and R_4) and two compensating (R_1 and R_3).

Measured deformation convert into tension by the formula

$$\sigma_{T^0} = \varepsilon \frac{\nu E + (1 - 2\nu)E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

The result is the value of deformations and stresses in particular temperature and load.

3. Conclusions

The device of measurement the deflected mode of transport facilities under varying temperatures and loads can be used for continuous monitoring of their technical condition.

To create a system for monitoring the deflected mode of these structures should be used resistive-strain sensors as transducers measuring deformation. Based on the results of such monitoring can predict the deformation elements of transportation facilities under different temperature conditions that must be considered during their design.

References

1. Luchko J. J., *Some aspects of diagnostic reliability and durability of reinforced concrete bridges*, Mechanics and Physics of destruction of building materials and structures, Vol. 9, Lviv, Mason, 2012, 451 - 456.
2. Kester W., *Practical desing techniques for sensor signal conditioning*, Walt Kester, Canada, 1999.
3. Kovalchuk V.V., *Multifunctional sensors*, Journal of Kiev. nat. Univ room. transp. them. Ac. B. Lazaryana., Dnepropetrovsk (DNUZT), Vol. 39, 2011, 72 - 82.
4. Luchko J. J., *The principle of the sensor and measuring circuit of the deflected mode in the elements of bridge structures during variable temperature*, Resursoekonomni materials, structures, buildings and structures, Exactly: NUWMNRU, Vol. 17, 2008, 347 - 358.
5. Report on: *Develop recommendations for the deflected mode measurement of bridges elements under variable temperatures*, Derzhdor NDI, 2007.
6. Luchko J.J., *Deflected mode measurement of the structural elements at variable temperatures and loads*, Monograph ed. J.J. Luchko, V. V. Kovalchuk., Lviv, Mason, 2012.
7. Luchko J.J., *Methods of measuring deflected mode of the structural elements at variable temperatures and loads*, Sat. Scientific. Labor, Dnepropetr. PHASA, Mashinostroenie, Vol. 47, 2008, 382 - 387.
8. Hoffmann K., *An Introduction to Measurements sing Strain Gages*, Darmstadt, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 1989.
9. Kravtsov A.V., *Electrical measurements*, M.: Kolos, 1979.
10. Nemets I., *Practical application of tensometry*, I. Nemets, M. Energy.

Urządzenie do pomiaru i oceny stanu naprężenie - odkształcenie dla obiektów komunikacyjnych przy zmiennym obciążeniu i zmiennej temperaturze

W pracy przedstawiono zasady dotyczące zastosowania nowego urządzenia do pomiaru i oceny stanu naprężeń oraz odkształceń dla obiektów komunikacyjnych, uwzględniając zmienną temperaturę i obciążenia.

W referacie rozwiązano problem monitorowania obiektów komunikacyjnych oraz renowacji ich elementów, kontrolowania stopniowej redukcji nośności elementów konstrukcyjnych, ustalenia ich aktualnego stanu technicznego oraz żywotności (okresu użytkowania).

Nowe urządzenie służy do pomiaru odkształcenia za pomocą analogowo-cyfrowego konwertera (przetwornika) (ADC) i analogowego tensometrycznego mostu pomiarowego. Zaletą urządzenia jest dokładność wykonanych pomiarów, która nie zależy od długości przewodów i napięcia zasilającego

Słowa kluczowe: stan techniczny, przetwornik (konwerter) analogowo-cyfrowy, obiekty komunikacyjne