

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ КУЗОВА АВТОБУСА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

Рубан Д. П.¹

¹АТ «Черкаський автобус»

***Анотація.** Розроблено прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору. Прилад - недорогий, доступний, завадостійкий з високою швидкістю. В комплексі з діагностичним обладнанням автобусів на агрегатній базі Psuzi та сучасною комп'ютерною технікою відкривається можливість проведення високоточних досліджень.*

***Ключові слова:** автобус, елементи каркасу кузова, напруження, деформація, тензометр, тензорезистор.*

Вступ

Експлуатація автобусів супроводжується деформацією елементів каркасу кузова. Враховуючи реалії експлуатації автобуси для перевезення громадського транспорту працюють із постійними перевантаженнями. В результаті таких перевантажень виникають циклічні деформації каркасу кузова, що призводять до утворення осередків накопичення втомної міцності. Важливо на стадії проектування та в експлуатаційних умовах враховувати чинники впливу на появу передчасних пошкоджень елементів каркасу кузова. Для виявлення проблемних місць, ще до руйнування елементів каркасу кузова, доцільним буде визначення величини деформацій за допомогою вимірювання деформаційного опору. Враховуючи доцільність багаторазових випробувань на різних автобусах однієї моделі (автобуси на стадії проектування, при періодичних заводських випробуваннях автобусів, випробування автобусів з на реальних маршрутах) вимірювальний прилад повинен бути доступним, простим та мати низьку собівартість.

Розвиток електроніки та мікропроцесорної техніки на сучасному етапі дозволяє впроваджувати нові засоби діагностики та досліджень дорожніх транспортних засобів. Тенденції розвитку електронних засобів спрямовані на розробку універсальних схем, що дозволяють компонувати прилади з різноманітним спектром задач. Таким чином сучасні засоби електроніки дозволяють створити прилади нової мобільної конструкції для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору.

Аналіз публікацій

Існуючі прилади для вимірювання деформацій [1] використовують мостову схему вимірювальних тензорезисторів. Прилади описані в літературі [1] забезпечують виконання вимірювальних операцій, що відповідають вимогам своєї сучасності. Однак на сьогодні це обладнання застаріле і має ряд недоліків: громіздкість, недостатня віброзахищеність, що не підходить для дослідження транспортних засобів, порівняно низька швидкодія, висока маса, а також необхідність у ручному балансуванні вимірювального мосту.

Один із відомих сучасних приладів для вимірювання деформацій [2] позбавлений деяких недоліків приладу [1]. Прилад [2] – компактний з невеликою масою та значно вищою швидкістю. Однак цей прилад [2] має порівняно високу вартість, енергоємність (потребує додаткове джерело живлення 220, або 12 В) та складність системи. Крім того даний прилад уже на сьогоднішньому етапі має досить низьку передачу сигналу (до 20000 Гц), що може не забезпечити належну передачу інформації при дорожніх випробуваннях транспортного засобу з високими швидкостями руху та дорожнього покриття змінного профілю (бруківка, дороги низької якості).

Сучасні блочні засоби електронної техніки дозволяють [3] реалізувати максимальну швидкодію при мінімальному енергоспоживанні. На основі даних блоків реалізовано стаціонарні ваги, з виведенням інформації на монітор персонального комп'ютера (ПК), що складаються з мікроконтролера, підсилювача (коефіцієнт підсилення 32, 64 та 128), анало-

го-цифрового перетворювача (АЦП) без захисного екрану та з тензодатчиком, в якому використовуються тензорезистори номіналом 1 кОм, з'єднані за мостовою схемою. Коефіцієнти підсилення 64 або 128 вибираються підключенням до відповідних входів підсилювача. Коефіцієнт підсилення 32 вибирається шляхом внесення зміни до програми. Дана конструкція має низьку завадостійкість та неузгодженість із тензорезисторами інших номіналів (для тензометрування елементів каркасу кузова застосовуються резистори опором 200 Ом) [1], що не забезпечить нормальну роботу при дорожніх випробуваннях транспортного засобу.

Функціональність сучасних блочних схем розширюється при програмуванні мікроконтролерів під конкретні задачі в сучасному програмному середовищі Java, C++ тощо [4, 5].

Мета і постановка завдання

Враховуючи різноманіття блочних універсальних схем, на базі яких можливе створення практично будь-яких електронних приладів, виникли передумови для розробки комплексу для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах. При цьому слід створити такий комплекс, в основі якого буде прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору. Прилад повинен бути доступним, мати низьку собівартість, високу швидкість передачі та обробки сигналу. Враховуючи те, що автобус є підвищеним джерелом радіоперешкод та вібрацій, створюваний прилад повинен мати високу вібро- та завадостійкість.

Таким чином **метою роботи** є розробка вимірювального комплексу, в основі якого повинен бути високоефективний прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору в експлуатаційних умовах.

Діагностичний комплекс для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах

Прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса було розроблено на основі плати мікроконтролера Arduino Mega 2560 та АЦП з підсилювачем на мікросхемі HX711 із захисним завадопоглинаючим металевим екраном. Коефіцієнти

підсилення даного підсилювача складають 32, 64 та 128. Ці значення встановлюються програмним шляхом та подачею сигналу з тензорезисторів на потрібний вхід. Для коректної роботи, експериментальним шляхом підібрано коефіцієнт підсилення 32.

Схема розробленого приладу для вимірювання деформації показана на рис. 1.

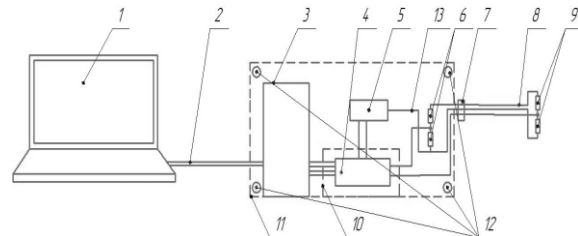


Рис. 1. Схема приладу для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах

Прилад для вимірювання деформації містить ПК типу Notebook 1, з'єднувальний USB кабель 2, плату мікроконтролера Arduino Mega 2560 3, АЦП з мікросхемою HX711 4, стабілізатор напруги на 3,3 В на базі мікросхеми AMS1117 5, компенсаційні резистори мостової вимірювальної схеми 6, вологовіброзахисний роз'єм 7, екрановані з'єднувальні провідники 8, вимірювальні тензорезистори мостової схеми 9, додатковий захисний екран 10 для підвищення завадостійкості АЦП з підсилювачем, екранований корпус 11, віброопори 12, з'єднувальні провідники 13. Для роботи приладу розроблено програмне забезпечення в середовищі C++ та запрограмовано плату мікроконтролера.

На рис. 2 зображено основний блок приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова без верхньої кришки.



Рис. 2. Основний блок приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору

Всі елементи розробленого пристрою поміщено в корпус із екранованого матеріалу, що виготовлений із пластику з двостороннім алюмінієвим покриттям. Всі мінусові складові блоків заземлені на корпус і з'єднані між собою та екраном з'єднувальних провідників. Перед проведенням випробувань корпус приладу обов'язково підлягає заземленню (корпус необхідно з'єднати з масою автобуса).

Робота приладу для вимірювання деформації відбувається наступним чином. При запуску системи вимірювання, в автоматизованому режимі проводиться балансування вимірювального мосту, із затримкою 2000 мс (значення встановлене перепрограмуванням мікроконтролера) для прогріву тензорезисторів. Вимірювання деформацій проводиться у одиницях відносної деформації (овд).

Перед початком випробування наклеюються тензодатчики у місцях, що підлягають дослідженню, припаюються до з'єднувальних провідників, ізолюються, герметизуються та дається витримка часу для повного висихання. Тензорезистори наклеюються клеєм з мінімальним значенням повзучості [1] (наприклад Loctite 4208). Вимірювальний прилад підключається до ПК 1 через кабель 2. Екранований провідник 8 з'єднується з роз'ємом 7. Корпус приладу з'єднується з масою автобуса. Потім включається графічний інтерфейс системи контролю деформації та проводиться встановлення «нуля» вимірювання в автоматичному режимі. Тільки після встановлення системи в «нуль» потрібно завантажити баласт в автобус (величина баласту вибирається залежно від методики дослідження). Живлення приладу здійснюється через порт USB ПК 1 та не потребує додаткового джерела.

В процесі вимірювання деформації з вимірювального мосту надходить напруга до підсилювача та АЦП 4, а далі цифровий сигнал надходить до цифрових входів плати 3. З плати мікроконтролера 3 сигнал передається через кабель 2 на порт USB ПК 1.

Після проведення вимірювання інтерфейс закривається та відключається вимірювальний прилад від ПК.

Розроблений прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса, забезпечує швидкодію передачі сигналу з частотою до 15 МГц (за рахунок застосування прогресивної мікросхеми, що використовується в платі Arduino Mega 2560), високу

завадостійкість (за рахунок використання завадостійкої плати АЦП та підсилювача, додаткового їх екранування, застосування екранованого корпусу приладу та з'єднання маси всіх елементів між собою) та вібростійкість (прилад має гумові віброопори), низьке енергоспоживання (живлення приладу здійснюється через USB-порт) та собівартість.

Тарування приладу проводиться з використанням спеціальної установки з гвинтовим пресом (рис. 3).



Рис. 3. Установка для тарування приладу

Тензорезистори наклеюються на спеціально виготовлену пружну балку, з розмірами 500x40x10 мм. Матеріал балки – Сталь 65Г. Виводи тензорезисторів з'єднуються за мостовою схемою у відповідності до резисторів розміщених в корпусі основного блока приладу за допомогою екранованих провідників. Тарувальна балка встановлюється на двох опорах по центру під гвинтом пресу (рис. 3). До балки, навпроти наклеєних тензорезисторів, притискається механічний тензометр Гугенбергера за допомогою спеціальної струбцини. База тензометра рівна базі наклеєних тензорезисторів і дорівнює 20 мм. Тому тензометр встановлюється таким чином, щоб база тензометра і тензорезисторів чітко співпадали. Похибка механічного тензометра складає 15 овд.

Зміна ступеню деформації здійснюється із чергуванням через кожні 50 овд, від 0 до 3000 овд. Отримані під час тарування покази тензометра Гугенбергера та покази на моніторі вносяться до таблиці. На основі табличних даних отримано тарувальні коефіцієнти та внесені до програми, що записана в мікроконтролер.

Потім для перевірки працездатності приладу для вимірювання деформацій труб каркасу кузова автобуса, взято зразки тих самих

труб, з яких виготовляється каркас кузова на АТ «Черкаський автобус» розмірами: 40x40 мм, 60x40 та 140x60 мм. На ці труби приклеєні тензорезистори відповідно до тарування та випробувань деформацій кузова – по одному тензорезистору на протилежних сторонах профілю труби навпроти один одного.

Деформація зразків труб проводилась на гідравлічному пресі 2ПГ-125 [6] (рис. 4), що знаходиться в лабораторії «Опору матеріалів» в Черкаському державному технологічному університеті. Максимально можливе навантаження даного пресу складає 125 т.



Рис. 4. Лабораторні випробування на працездатність розробленого приладу

Деформація зразків проводилась до появи текучості матеріалу, за межами якої вже не буде справедливий закон Гука. В результаті лабораторних випробувань, встановлено, що в межах дії закону Гука покази механічного тензометра відповідають значенням, що виводяться на монітор ПК. Таким чином точність вимірювання розробленого приладу лежить в межах похибки механічного тензометра та максимальне відхилення не перевищує 15 оvd.

Під час дослідження деформацій в елементах каркасу кузова автобуса важливо також вимірювати швидкість автобуса із заданою точністю, що не можна отримати при фіксації показів штатного спідометра. При цьому також важливо отримувати діаграми: розгону, сповільнення, екстреного гальмування та паралельно записувати величину деформацій. Фіксація показів спідометра за допомогою відеокамери, при неналежній точності, ще і ускладнює обробку отриманої інформації. Для вимірювання швидкості руху автобуса, запису інформації в комплексі з розробленим приладом, ефективно буде працювати спеціальний діагностичний прилад G-IDSS [7] із ліцензійним програмним забезпе-

ченням для діагностики автобусів на агрегатній базі Isuzu (рис. 5).



Рис. 5. Діагностичний прилад G-IDSS під час діагностики

Діагностичний прилад G-IDSS збирає дані з чотирьох датчиків системи ABS та показує швидкість на кожному колесі автобуса. Для контролю швидкості автобуса автоматично обчислюється середнє значення за результатами фіксації віх чотирьох датчиків. Розраховані значення у вигляді числових значень та часових діаграм виводиться на монітор ПК. Програмне забезпечення G-IDSS дозволяє записувати в реальному часі будь-які діагностичні параметри, в тому числі й швидкість руху автобуса.

Таким чином одночасний запис величини деформації досліджуваних елементів каркасу кузова автобуса за допомогою розробленого приладу та запис швидкості автобуса стандартним діагностичним приладом G-IDSS дозволяють коректно та достовірно отримувати результати дослідження.

Висновки

Вимірювальний комплекс, що складається з розробленого приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору та діагностичного приладу G-IDSS, дозволяє проводити дослідження та виконувати синхронний запис отриманих результатів.

Основними перевагами розробленого приладу є: доступність, компактність, віб्रो-стійкість, завадостійкість, простота налаштування, автоматичне балансування вимірювального мосту, низьке енергоспоживання та відсутність потреби у додатковому джерелі живлення, що і підтверджує доцільність даної розробки.

Враховуючи ряд переваг, вимірювальний комплекс дозволяє проводити випробування автобуса на реальному маршруті при постійному русі пасажиропотоку. Отримані таким чином результати досліджень, при фіксації швидкісних режимів із одночасною фіксацією деформацій елементів каркасу кузова автобуса, можуть бути використані для отримання статистичних даних та імовірності виникнення навантажень різних величин. На основі цих досліджень можна адекватно розрахувати довговічність каркасу кузова автобуса до заданих умов експлуатації.

За необхідності, розроблений прилад дозволяє підключити декілька пар тензодатчиків, шляхом встановлення додаткових комплектів АЦП та корекцією програми управління (таку можливість вже передбачено при створенні програми в середовищі C++).

При зміні тензорезисторів на інші [8] (навіть при використанні таких самих номіналів, але з іншої партії), а також інших чинників (використання іншого клею, з'єднувальних провідників іншого перерізу тощо), що можуть вплинути на зміну параметрів вимірювання, потрібно обов'язково провести тарування приладу за представленою методикою.

Подальший розвиток конструкції приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору буде при використанні можливості підключення до мобільних приладів з системою Android (наприклад через Wi-Fi, чи Bluetooth з'єднання) та розробкою мобільних додатків.

Література

1. Макаров Р.А., Ренский А.Б., Боркунский Г.Х. и др. Тензометрия в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1975. 288 с.
2. Каталог испытательного и измерительного оборудования Zetlab: Федеральный информационный фонд отечественных иностранных каталогов на промышленную продукцию, 2012. 91 с.
3. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
4. Харви Дейтел, Пол Дейтел. (2000) Как программировать на C. Москва: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2000. 1008 с.
5. Bjarne Stroustrup. A Tour of C++ (C++ In-Depth Series) 2nd Edition, 2018. 256 p.
6. Веретільник Т.І., Дифучін Ю.М., Мисник Л.Д., Смоляр А.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Опір матеріалів» для студентів інженерно-

технічних спеціальностей усіх форм навчання. Черкаси: ЧДТУ, 2012. 61 с.

7. G-IDSS. Global Isuzu Diagnostic System. Tokyo: Isuzu, 2016. 47 p.
8. Karl Hofhans. An introduction to measurements Strain Gages. 2015. 357 p.

References

1. Makarov R.A. (1975) Tensometrija v maschinostroenii. [Measuring of deformations is in an engineer] Moskva: Maschinostroenie, [in Russian].
2. Katalog ispitatel'nogo i izmeritel'nogo oborudovanija Zetlab: Federalnij informacionnij fond otechestvennich inostrannich katalogov na promichlennuyu produkciju (2012) [Catalogue of proof-of concept and measuring equipment of Zetlab : the Federal informative fund of home foreign catalogues on industrial products]. [in Russian].
3. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
4. Harvi Deitel, Pol Deitel. (2000) Kak programmirovat na C. [How to program in C] Moskva: ZAO «Izdatel'stvo BINOM». 1008 p. [in Russian].
5. Bjarne Stroustrup. A Tour of C++ (C++ In-Depth Series) 2nd Edition, 2018. 256 p.
6. Veretilnik T.I., Difuchin Yu.M., Misnik L.D., Smoljar A.M. (2012) Metodichni vcasivki do viconannja laboratornich robit z discipliny «Opir materialiv» dlja studentiv ingenerno-technichnic spezialnostej usich form navchannja. [Methodical instructions for carrying out laboratory work in the discipline «Mathematical Resistance» for students of engineering and technical specialties of all forms of study] Cherkasy: CSTU. 61 p. [in Ukrainian].
7. G-IDSS. Global Isuzu Diagnostic System. Tokyo: Isuzu, 2016. 47 p.
8. Karl Hofhans. An introduction to measurements Strain Gages. 2015. 357 p.

Рубан Дмитро Петрович¹, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net
¹АТ „Черкаський автобус”, вул. Різдва, 292, Черкаси, 18036, Україна.

Измерительный комплекс деформаций элементов каркаса кузова автобуса в эксплуатационных условиях

Аннотация. Разработан прибор для измерения деформации элементов каркаса кузова автобуса с помощью изменения деформационного сопротивления. Прибор - недорогой, доступный, помехостойкий с высоким быстродействием. В комплексе с диагностическим оборудованием автобусов на агрегатной базе Isuzu и современной компьютерной техникой открывается возможность проведения высокоточных исследований.

Ключевые слова: автобус, элементы каркаса кузова, напряжения, деформация, тензометр, тензорезистор.

Рубан Дмитрий Петрович¹, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net
¹АО „Черкасский автобус”, ул. Рождественская, 292, Черкассы, 18036, Украина.

Measuring complex of deformation of a bus body frame elements in operating conditions

Abstract. Problem. The development of electronics and microprocessor technology at the present stage allows for the introduction of new means of diagnostics and research of road vehicles. Trends in the development of electronic tools are aimed at the development of universal circuits that allow you to build devices with a diverse range of tasks. Thus, modern electronic means allow to create devices of a new mobile structure for measuring deformation of elements of a frame of a bus body by means of changing deformation resistance. **Goal.** Thus, the purpose of the work is to develop a measuring complex, which must be based on an instrument for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by changing the deformation resistance in operating conditions. **Methodology.** It is necessary to create such a complex, which will be based on the device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame changing the deformation resistance.

The device must be affordable, have low cost, high speed signal transmission and processing.

Results. The device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by means of changing the deformation resistance was developed. The appliance is inexpensive, affordable, high-speed. In conjunction with Isuzu-based bus diagnostic equipment and state-of-the-art computer technology, high-precision research is possible. **Originality.** A new device for diagnostics and determination of deformation of bus body frame elements has been developed and manufactured. A new program has been created and the device's microcontroller has been programmed for the tasks. **Practical value.** Measuring complex consisting of the developed device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by changing the deformation resistance and the G-IDSS diagnostic device, allows to carry out research and to perform synchronous recording of the obtained results.

Key words: bus, elements of the body frame, stress, deformation, strain gauge, strain gauge resistor.

Ruban Dmytro Petrowich¹, Cand. tech Sciences, Associate Professor, +38 097-189-77-57, ruban_dimon@ukr.net

¹JSC «Cherkasy bus», 18036, Ukraine, Cherkasy, 292, Rizdwanja.