

УДК 681.518.3

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.156

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ ТЕНЗОДАТЧИКІВ НА ПЛОЩИННИХ ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОЇ МАШИНИ

Коваль А. О., Рукавишніков Ю. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Приведено методику та результати досліджень взаємного впливу тензоперетворювачів на похибки вимірювань динамічних навантажень у просторово розподілених комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних системах.

*Ключові слова:* аналого-цифровий перетворювач, вимірювальна інформаційна система, динамічне навантаження, тензодатчик, дорожня машина.

### Вступ

Надійність дорожньої машини, напрацювання на відмову елементів її конструкції у значній мірі залежить як від її фактичного стану, так і від оптимального використання під час проведення технологічних операцій.

Під оптимальним використанням у даному випадку розуміється застосування дорожньої машини у відповідності до типу ґрунту та динамічних навантажень. На сьогодні, в залежності від динамічних навантажень, використовуються різні класи дорожніх машин, а саме: для легких ґрунтів – легкі дорожні машини, для середніх – середні, для важких – важкі. Тобто оптимальне застосування дорожньої машини одного класу нині не використовується.

Однією з багатьох причин відсутності системного підходу щодо оптимізації роботи дорожньої машини під час виконання технологічних операцій є неможливість прогнозування деформацій рами дорожньої машини за даними точкових вимірювань динамічних навантажень. Існуючі методики визначення площинних навантажень ґрунтуються на усереднених даних точкових вимірювань. Отримані результати за такими методиками у більшості випадків не відповідають дійсності й не можуть бути використані для прогнозування деформацій рами дорожньої машини.

Для усунення цього недоліку авторами запропоновано методику площинних вимірювань динамічних навантажень з використанням просторово розподіленої вимірювальної інформаційної системи.

### Аналіз публікацій

Технічний стан дорожньої машини у значній мірі визначається станом її конструкції [1]. Деформації конструкції дорожньої ма-

шини, як правило, визначаються у процесі випробувань у статичних та динамічних режимах роботи машини [1–3]. Головним завданням при вимірюваннях деформацій елементів конструкції дорожньої машини є визначення критичних навантажень [3]. При цьому у випадку розміщення тензометричних датчиків не враховується їх взаємний зв'язок через конструкцію машини та напрямки просторової дії навантажень [4].

Для вимірювань напружено-деформованого стану площинних елементів конструкції дорожньої машини, виходячи з економічних міркувань, використовують лише один (два) датчики в одній площині. А при аналізі деформацій конструкції рами дорожньої машини взаємозв'язок тензометричних датчиків між собою зовсім не враховується. Це пояснюється, насамперед, складністю експерименту та неможливістю на реальній дорожній машині відтворити весь спектр просторових дій деформуючих сил [1–4].

У процесі вимірювань динамічних навантажень на елементи конструкції дорожньої машини калібрування вимірювальної системи проводиться за результатами статичних вимірювань [1, 4]. У процесі виконання технологічних операцій дорожньою машиною статистичні характеристики та динамічний діапазон сил динамічних навантажень постійно змінюється. Вхідна дія носить нестационарний характер [3]. Необхідність усунення нестационарності результатів вимірювань напружено-деформованого стану конструкції машини вимагає періодичного самокалібрування вимірювальної системи у процесі досліджень. Періодичність калібрування, значення калібрувальних коефіцієнтів, періодичність вимірювань і тривалість вимірюваль-

ної вибірки залежать як від виду дорожньої машини й технологічної операції, так і від типу ґрунту [1–4]. Головним недоліком існуючих вимірювальних комплексів динамічних навантажень є неможливість оцінювати стан конструкції дорожньої машини у реальному масштабі часу [1–4].

Для вирішення задачі адаптивного достовірного вимірювання просторових деформацій, які діють на дорожню машину в процесі виконання технологічних операцій, необхідно, насамперед, всебічно дослідити ці деформації у статичі та динаміці. Це завдання автори пропонують вирішити за допомогою розробленого ними макета площинного елемента конструкції дорожньої машини та комп'ютеризованої вимірювальної інформаційної системи.

### Мета і постановка завдання

Метою статті є розроблення методики та макета пристрою для вимірювання просторових деформацій площинних елементів конструкції дорожніх машин із урахуванням взаємного впливу тензодатчиків, аналіз результатів експериментальних досліджень та пошук шляхів зменшення похибок та збільшення достовірності динамічних вимірювань.

### Побудова вимірювальної системи

Під час проведення експериментальних досліджень було використано розроблену авторами комп'ютеризовану чотириканальну просторово розподілену вимірювальну інформаційну систему (рис. 1).

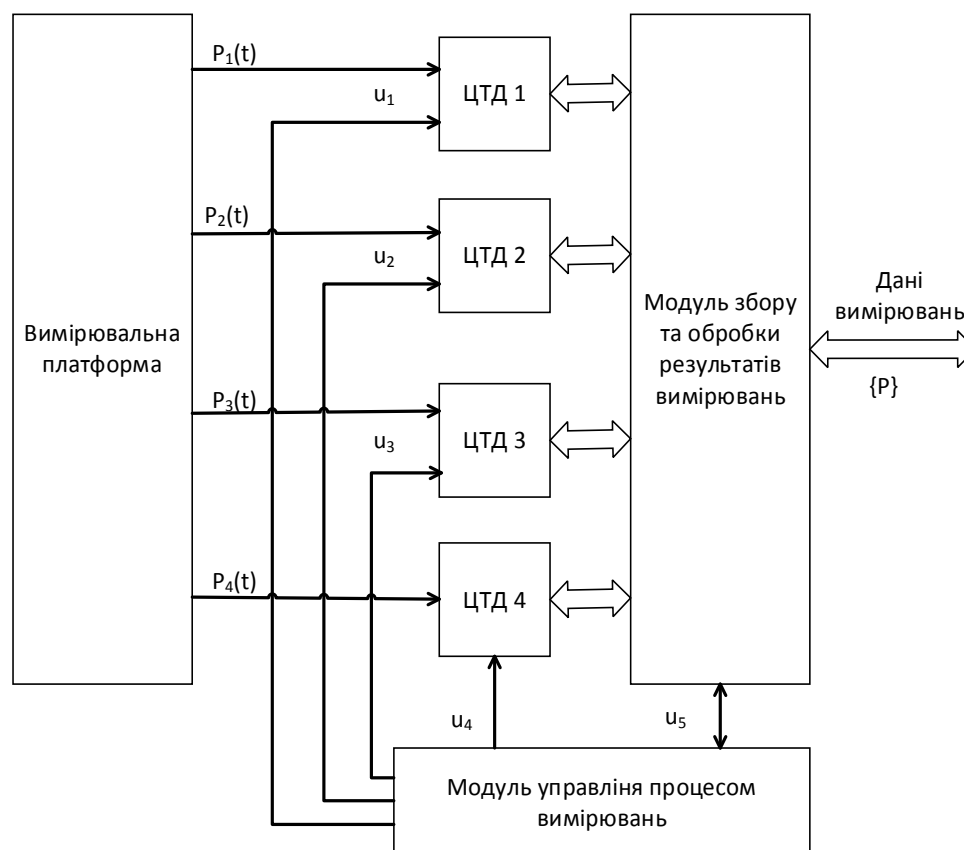


Рис. 1. Структурна схема вимірювального комплексу

Конструкція одного з чотирьох ідентичних вимірювальних каналів приведена на рис. 2.

Датчики нерухомо закріплені на масивній непружній основі. Основа була установлена чітко на 0 градусів за рівнем за допомогою електронного рівнеміра.

Таким чином, було досягнуто однакове положення всіх чотирьох датчиків на одному рівні, ніж було забезпечено однаковий тиск

на всі датчики вимірювального комплексу. Тензодатчики під'єднані до модуля НХ711, який являє собою аналого-цифровий перетворювач (АЦП) із вбудованим програмно керованим тензометричним підсилювачем. Модуль НХ711 на основі АЦП із вбудованим підсилювачем призначений для отримання даних з тензодатчиків. Основа цього модуля – спеціалізована мікросхема НХ711 [5], має

АЦП із розрядністю 24 біти, завдяки якому забезпечується висока точність вимірювань.

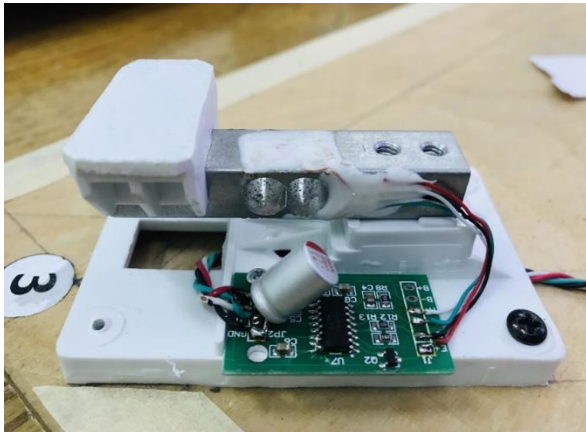


Рис. 2. Зовнішній вигляд вимірювального каналу

Модуль має два канали – А та В, до яких під'єднувались два тензодатчики. Для каналу А коефіцієнт підсилення становив 64, для каналу В коефіцієнт підсилення дорівнював 32. Модуль працює з частотою вимірювання 80 Гц.

Кожний із датчиків було перевірено на калібрування. Встановлено, що всі датчики є побутовими. Різниця показань склала ( $\pm 10$ ) г. Калібрування всього вимірювального комплексу проводилося шляхом визначення калібрувальних коефіцієнтів, окремо для кожного із датчиків.

Калібрування виконувалося з використанням зразкових гирь вагою 1, 2, 3, 5 та 10 кг.

В результаті досліджень було встановлено наступні калібрувальні коефіцієнти:

- $k_1 = -9,3$  г;
- $k_2 = -10,1$  г;
- $k_3 = -9,68$  г;
- $k_4 = -9,4$  г.

Ці калібрувальні коефіцієнти враховувалися у програмі тензометричних вимірювань при обробці даних після модуля НХ711.

У процесі досліджень на початку кожного експерименту перевірялись калібрувальні коефіцієнти. При цьому значна увага приділялась тому, щоб всі чотири датчики знаходились в одній площині й на одній висоті (в чітко горизонтальній площині).

Збір інформації здійснювався з використанням мікроконтролера Atmega 328 за типовою схемою з'єднання. Обробка даних вимірювань проводилась на комп'ютері з

використанням пакетів LabView та OriginLab.

Для визначення площинних навантажень датчики кріпилися у вершинах прямокутника зі стороною 39 см. На датчики була встановлена прямокутна платформа, представлена на рис. 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд вимірювального стенда

Для дослідження вертикальних динамічних навантажень на платформу й оцінки взаємного впливу датчиків один на одного через вимірювальну платформу на ній була встановлена поворотна вісь із поперечною балкою (рис. 3). Навантаження  $P$  у вигляді вантажів 1, 2 та 3 кг кріпилися до балки спеціальним кронштейном, який міг переміщатися уздовж балки. Відстань вантажу від осі (центру мас)  $L$  визначалась за допомогою мірної лінійки з похибкою  $\Delta_L = (\pm 1)$  мм.

Розподіл навантаження по площині для кожного датчика в разі фіксованого положення вантажу на балці здійснювався в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  в азимутальній площині. За  $0^\circ$  було взято положення вантажу над першим датчиком (рис. 3).

Кутові вимірювання проводилися з дискретністю  $\Delta_\phi = 22,5^\circ$ . Таким чином, було отримано 16 вимірів за один оберт балки. Для забезпечення вимірювань із заданою ймовірністю 0,95 вимірювання виконувалися 10 разів. Дослідження проводилися для ви-

носу вантажу на 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 та 50 см. За результатами вимірювань формувалася матриця розміром  $9 \times 16 \times 10$ . Су-марна кількість вимірів склала 1440, а тривалість експерименту становила 3 місяці.

В кожному з вимірювальних каналів використовувався один тензодатчик на 10 кг. Всі датчики в 4 вимірювальних каналах є ідентичними. Функції перетворення (ФП) тензометричних датчиків були зняті експериментально і приведені на рис. 4.

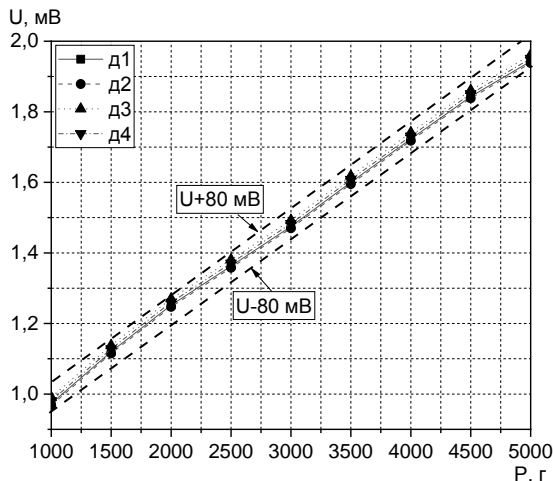


Рис. 4. Функції перетворення тензодатчиків

Експериментальні дані (рис. 4) дозволяють зробити висновок, що функції перетворення всіх 4 тензодатчиків є лінійними й дуже близькими. ФП датчиків знаходяться в межах допуску  $\Delta U = (\pm 80)$  мВ. Таким чином, незначні розходження ФП не є визначальним фактором, який впливає на похибки вимірювань динамічних навантажень. В подальшому досліджувались ФП кожного з вимірювальних каналів динамічних навантажень, які взаємодіють один з одним через вимірювальну платформу. З метою отримання статистично достовірних результатів кожний експеримент повторювався 10 разів із наступним усередненням.

Всі експериментальні дані, отримані від всіх 4 опор, апроксимувались формулою [6]

$$P(L) = P_0 + b_1 \cdot L + b_2 \cdot L^2. \quad (1)$$

На рис. 5 як приклад приведено результат апроксимації даних експерименту для 1 вимірювального каналу (1 опори).

Апроксимаційний вираз експериментальних даних для 1 опори має вид:

$$P(L) = 713,39 + 27,42 \cdot L - 0,056 \cdot L^2. \quad (2)$$

За цією ж методикою були отримані експериментальні ФП та їх аналітичні вирази для 2, 3 та 4 опор. Похибки апроксимації у всьому діапазоні навантажень не перевищили 70 г.

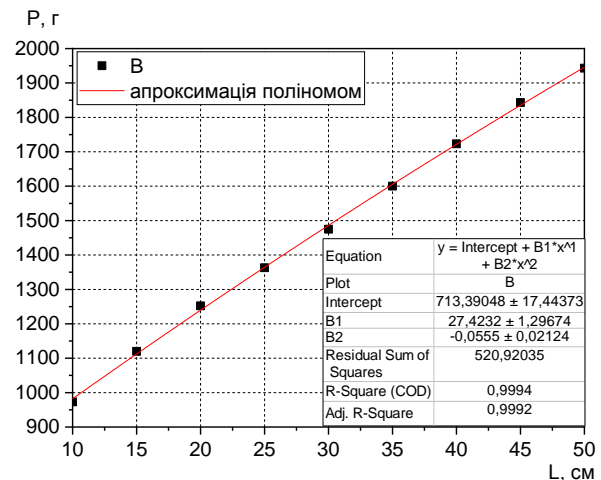


Рис. 5. Результати апроксимації даних експерименту для 1 опори

Таким чином, у результаті досліджень було встановлено:

- функції перетворення всіх чотирьох тензоперетворювачів знаходяться в межах допуску  $\Delta U = \pm 80$  мВ;

- функції перетворення вимірювальних каналів є ідентичними і знаходяться в межах допуску  $\Delta H = \pm 5\%$ .

Тензометричні датчики для проведення експериментів обиралися таким чином, щоб необхідний діапазон вимірювань знаходився на лінійній ділянці ФП. Оскільки всі чотири датчики закріплені на основі й на них встановлена суцільна вимірювальна платформа, то вони мають зв'язок один з одним через цю платформу. Внаслідок цього взаємозв'язку робоча точка кожного датчика буде зміщуватися залежно від кута прикладеного зусилля та виносу джерела навантажень [7, 8].

За малих та середніх навантажень робочий діапазон завжди буде знаходитися в межах лінійної ділянки ФП. У випадку великих навантажень взаємний зв'язок датчиків через вимірювальну платформу приводить до того, що робоча точка буде зміщуватися на нелінійну ділянку ФП, а це, насамперед, приведе до додаткової похибки. Для вивчення цієї гіпотези було проведено дослідження взаємного зв'язку датчиків через вимірювальну платформу за статичних та динамічних навантажень.

Дослідження проводились при фіксації балки над датчиком. Були отримані результати експериментальних при виносі вантажів

1, 2 та 3 кг по балці на  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м. Вимірювання виконувались після закінчення всіх перехідних процесів (коливань вантажу). Отримані дані приведені на рис. 6–9.

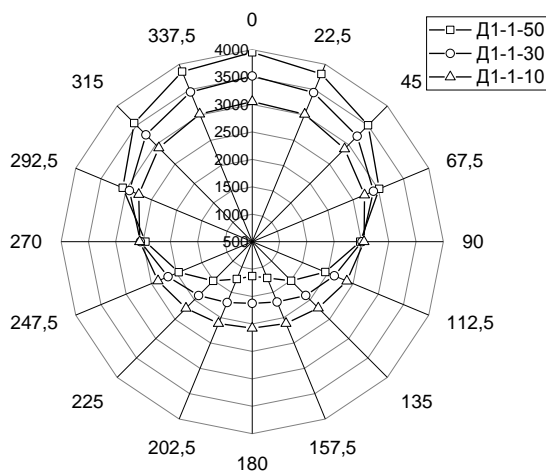


Рис. 6. Діаграма навантажень в 1-й опорі моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м

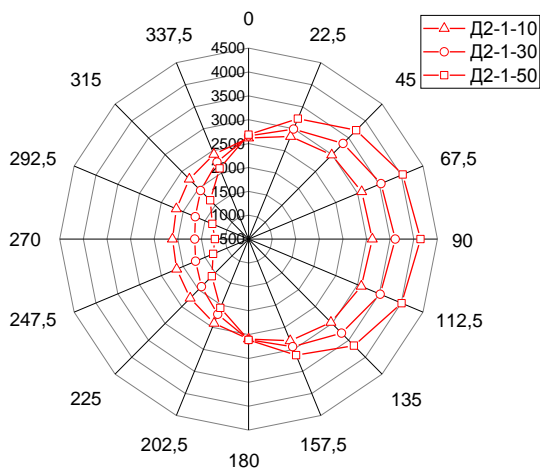


Рис. 7. Діаграма навантажень в 2-й опорі моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м

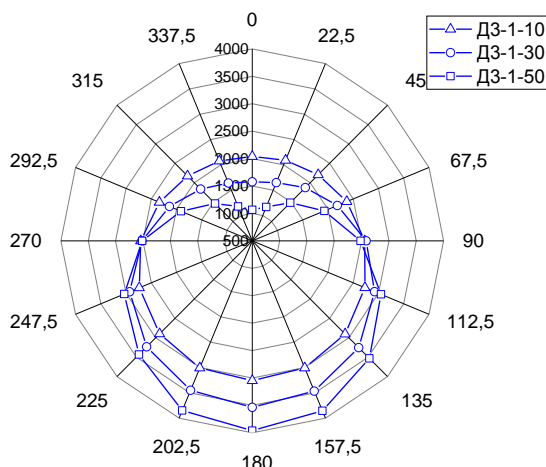


Рис. 8. Діаграма навантажень в 3-й опорі моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м

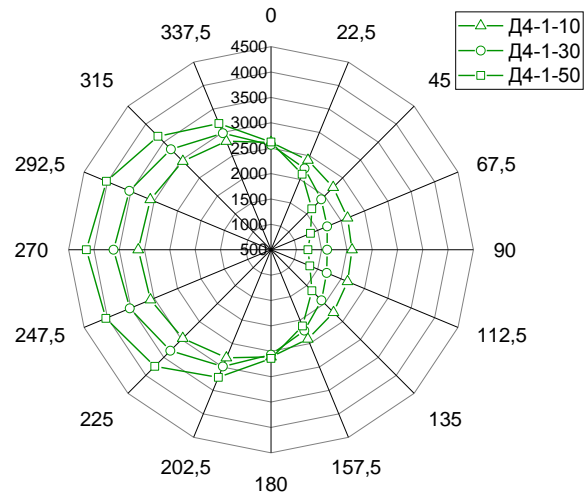


Рис. 9. Діаграма навантажень в 4-й опорі моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м

Проведений аналіз результатів експериментів показав, що, незважаючи на автоматичне калібрування вимірювальних каналів під час проведення вимірювань статичних навантажень, в різних опорах за однакових вантажів і однакового плеча дії вантажу (однакового виносу вантажу на балці) результати вимірювань різняться. Встановлено також, що виміряні значення навантаження залежать і від напрямку дії навантаження на опору (від кута повороту балки на осі). Ця різниця може сягати до 350 г при вантажі в 3 кг.

Для оцінки взаємного зв'язку вимірювальних каналів через вимірювальну платформу був введений приведений коефіцієнт взаємного зв'язку:

$$K = \frac{P_{\Theta}}{P_0}, \quad (3)$$

де  $P_{\Theta}$  – поточне значення навантаження в межах кутів від  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ ;  $P_0$  – значення навантаження при куті дії навантаження  $\Theta = 0^{\circ}$  (балка з вантажем знаходиться точно над датчиком).

Експериментально отриманий коефіцієнт взаємного зв'язку  $K$  зображений на рис. 10 і має нелінійну залежність.

Дослідження взаємного зв'язку тензодатчиків у процесі динамічних вимірювань площинних навантажень на елементи конструкції дорожньої машини проводились при обертанні балки з вантажем навколо осі зі швидкістю 1 оберт за 2 секунди.

Були отримані результати експериментів при виносі вантажів 1, 2 та 3 кг по балці на  $L=0,1$  м;  $0,3$  м;  $0,5$  м.

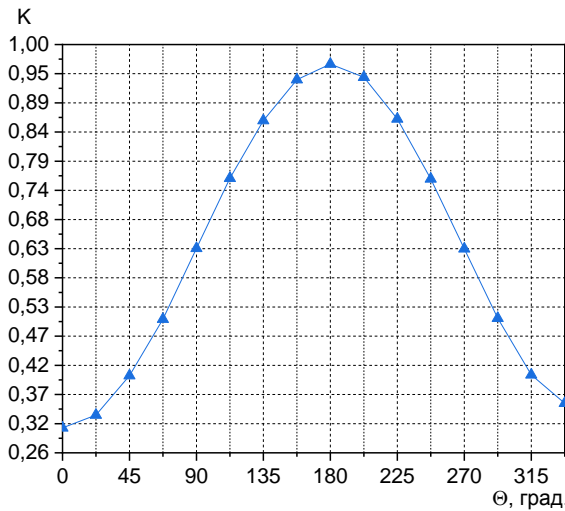


Рис. 10. Коефіцієнт взаємного зв'язку вимірювальних каналів

Вимірювання проводились безперервно під час обертання балки в моменти, коли балка перетинала реперні азимутальні напрямки від  $0^0$  до  $360^0$  з дискретністю в  $22,5^0$ . Отримані сигнали фільтрувались низькочастотним фільтром із частотою зрізу 2 Гц для усунення коливань, викликаних розкачуваннями вантажу. Отримані дані приведені на рис. 11, 12.

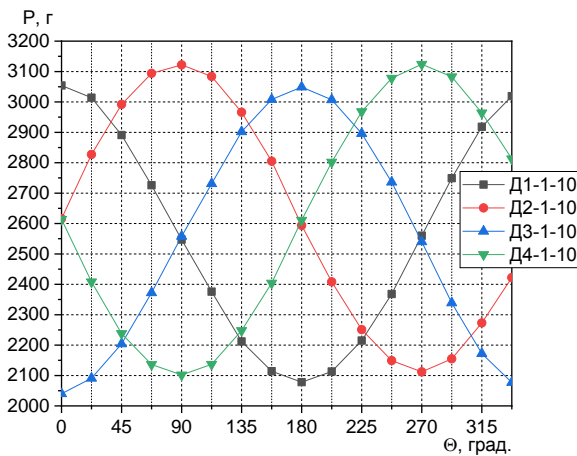


Рис. 11. Навантаження в 4 опорах моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м (прямокутні координати)

Отримані експериментальні дані динамічних навантажень показують, що за динамічних навантажень взаємозв'язок датчиків через вимірювальну платформу проявляється в більшій мірі. Це пояснюється наступним. Тензометричні мости розміщені на балці з отворами. Під дією навантажень ця балка деформується (прогинається). Оскільки всі чотири тензометричні балки (які є первинними перетворювачами тензодатчиків) навантажені однією вимірювальною площадкою з

віссю, на якій обертається балка з вантажем, то вони будуть взаємопов'язані через цю площадку.

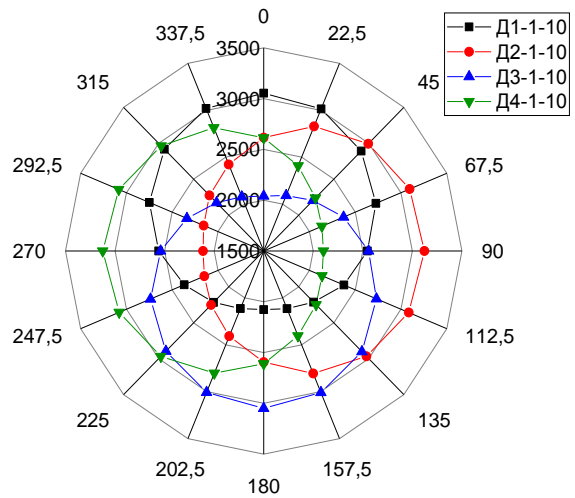


Рис. 12. Навантаження в 4 опорах моделі  $G=1$  кг,  $L=0,1$  м (полярні координати)

На відміну від статичних вимірювань, під час динамічних вимірювань площинних навантажень необхідно враховувати швидкість обертання балки з вантажем, рівномірність її руху та винос вантажу по балці. Внаслідок дії сил інерції та доцентрового прискорення взаємодія між датчиками проявляється в більшій мірі, про що свідчать дані експериментів (рис. 11, 12).

В загальному випадку вимірювальну тензометричну балку можна представити у вигляді радіотехнічної моделі, яка складається з 4 коливальних контурів з індуктивним зв'язком. Характерною відмінністю такої моделі є те, що індуктивні зв'язки між контурами змінюються в часі. Сам вимірювальний комплекс: чотири датчики, вимірювальну платформу та балку з вантажем є аналогом очікувального генератора сигналів. Його вихідний сигнал визначається характером та величиною коефіцієнтів взаємного зв'язку контурів (датчиків) між собою. Отримані експериментальні дані дозволяють у подальшому розробити радіотехнічну модель вимірювального комплексу [9, 10].

Для забезпечення повторюваності результатів експериментів вони були апроксимовані аналітичними виразами. Загальний вигляд апроксимаційної кривої приведений на рис. 13.

Дослідження явища взаємного впливу тензодатчиків під час динамічних вимірювань площинних навантажень дозволило також встановити причину зростання похибок вимірювань.

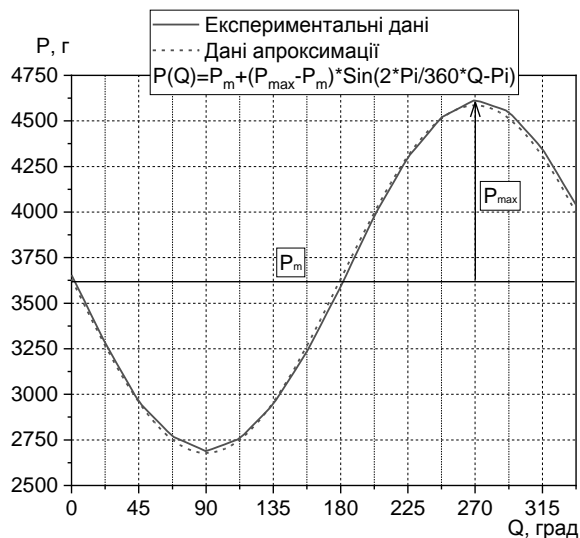


Рис. 13. Функція апроксимації динамічних навантажень

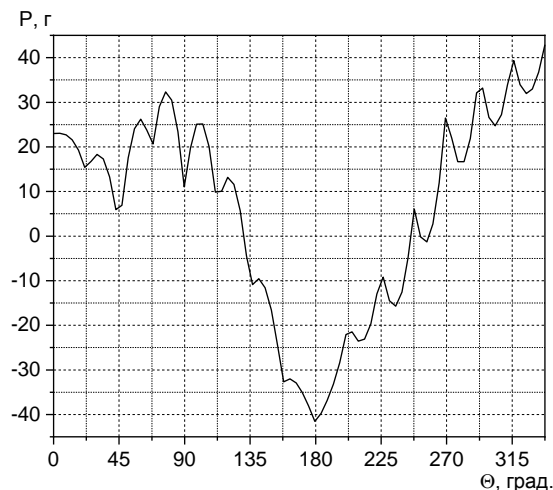
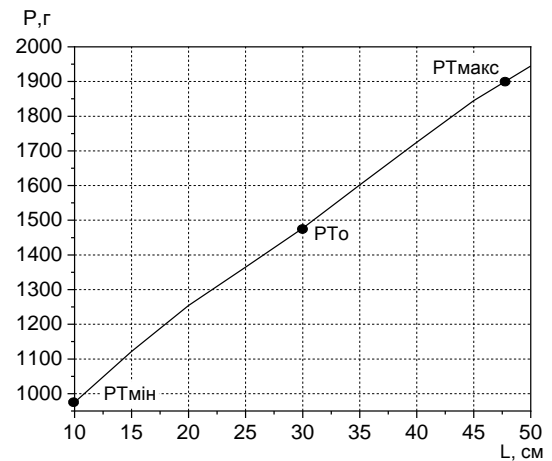


Рис. 14. Похибки апроксимації динамічних навантажень

У процесі вимірювань вимірювальний комплекс самокалібрувався.

Шкала вимірювань формувалась із використанням адаптивного алгоритму самокалібрування, який визначав динамічний діапазон та стаціонарний відрізок часової вимірювальної вибірки.

У процесі динамічних вимірювань при обертанні балки з вантажем на датчики діяли як позитивні навантаження (ділянка площадки тиснула на датчик), так і негативні (площадка піднімалась вгору від положення, при якому проводилось калібрування). Внаслідок цього робоча точка зміщувалась вгору по ФП (РТ<sub>макс</sub>) – в разі позитивного навантаження, або вниз (РТ<sub>мін</sub>) – за негативного навантаження (рис. 15).



Величина зміщення, за незмінної швидкості обертання балки, залежала як від величини вантажу, так і від його виносу по балці.

Рис. 15. Зміна положення робочої точки на лінійній ділянці функції перетворення тензодатчика

Внаслідок цього вимірювання при азимутальних напрямках  $0^0$  та  $180^0$  проводились відповідно на початку та на кінці лінійної ділянки функції перетворення. Тобто на тих ділянках, де має місце нелінійність ФП.

Використовуючи методи комплексного підходу та системного аналізу результатів експериментальних досліджень, було знайдено експериментальні залежності похибок вимірювань динамічних навантажень від кута дії та виносу вантажу. На рис. 16 приведено функцію похибок вимірювань динамічних навантажень першого вимірювального каналу для вантажу в 5 кг та виносу в 35 см.

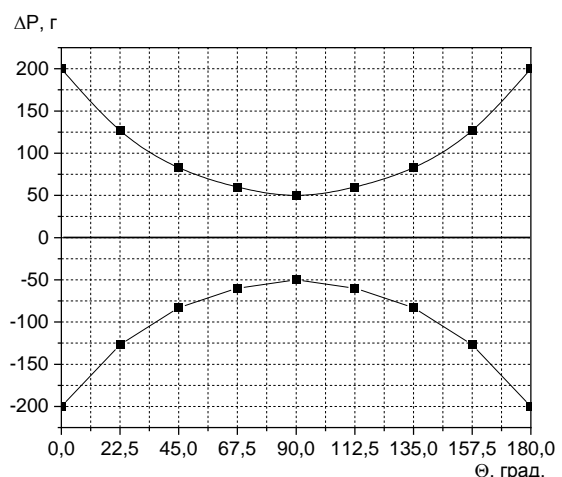


Рис. 16. Залежність похибки вимірювань динамічних навантажень від кута їх дії

Для інших каналів залежність має такий же вид. Розбіжність отриманої функції похибок між каналами, за наведених вище умов,

склала 3 %. Отримані результати свідчать про те, що, незважаючи на попереднє калібрування датчиків, внаслідок їхнього взаємного зв'язку через площадку максимальна похибка вимірювань склала ( $\pm 200$ ) г за максимального навантаження в 5 кг. Цю похибку необхідно враховувати при аналізі площинних динамічних навантажень.

### Висновки

За результатами експериментальних досліджень просторового впливу динамічних навантажень на площинний елемент конструкції дорожньої машини встановлено:

1. В найбільшій мірі на похибки вимірювань динамічних навантажень у просторово розподілених комп'ютеризованих вимірювальних системах впливає не ідентичність функцій перетворення тензоперетворювачів, а неідентичність функцій перетворення вимірювальних каналів площинних динамічних навантажень.

2. Експериментально отриманий коефіцієнт взаємного зв'язку  $K$  тензодатчиків має нелінійну залежність. Результати досліджень показали, що в найбільшій мірі взаємопов'язані датчики, які розташовані у протилежному напрямку ( $\Theta = 180^\circ$ ) дії навантаження –  $K = 0,97$ . Сусідні датчики ( $\Theta = 90^\circ$ ) також взаємопов'язані, але в меншій мірі:  $K = 0,63$ .

Отримані дані експериментальних досліджень доцільно використовувати у процесі наукових досліджень конструкції дорожньої машини та в навчальному процесі.

### Література

1. Холодов А.М., Ничке В.В., Назаров Л.В. Землеройно-транспортные машины: справочник. Харьков: Высш. шк. 1982. 192 с.
2. Раннев А.В., Корелин В.Ф., Жаворонков А.В. Строительные машины: справочник: Москва: 1991. 496 с.
3. Волков Д.П., Алешин Н.И., Крикун В.Я., Рынсков О. Е. Строительные машины: учеб. для вузов. Москва: 1998. 319 с.
4. Про метрологію та метрологічну діяльність URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 05.9.2021).
5. Коваль А. О., Єфіменко Н. М. Обґрунтування необхідності інтелектуалізації інформаційно-вимірювальної системи дорожніх машин. *Проблеми інформатики и моделирования*: сб. науч. тр. 10-й Межд. конф., НТУ "ХПИ". 2010. С. 98–105.

6. Electronic Components Datasheet Search. URL: <http://www.alldatasheet.com/view/jsp&Searchword>.
7. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. CITAC Guide CG – 2012. URL: <http://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012P1.pdf>.
8. Аппроксимация опытных данных состояний насыщенного пара. URL: <http://www.agroproj.ru/articles/engene.html>.
9. Чалый В. П. Неопределенность и погрешность, их сходство, различие и употребление в разных метрологических процедурах. *Збірник наукових праць ХПИ. Системи обробки інформації. Невизначеність вимірювання: наукові, нормативні та прикладні аспекти*. Харків, 2006. №7. С. 82–86.
10. Коваль А. О., Коваль О. А. Просторово розподілені інтелектуальні вимірювальні інформаційні системи: монографія. Харків : Лідер, 2017. 146 с.

### References

1. Kholodov A.M., Niche V. V., Nazarov L. V. Earth-moving and transport machines: handbook. Kharkiv: Higher School. Kharkiv, 1982, 192 p.
2. Rannev A.V., Korelin V. F., Zhavoronkov A.V. Construction machines: handbook: Moscow: 1991. 496 p.
3. Volkov DP, Aleshin NI, Krikun V.Ya., Rynskov OE Construction machines: textbook. for universities: Moscow: 1998. 319 p.
4. About Metrology and metrological activity URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-%D0%B2%D1%80> (accessed: 05.9.2021).
5. Koval A. O., Yifimenko N.M. Justification of the need to intellectualize the information-measuring system of road machines. *Problems of information and modeling*: Sat. 2015, Tr. 10th Mezhd. Conf., NTU «KHPI». 2010. p. 98–105.
6. Electronic Components Datasheet Search. URL: <http://www.alldatasheet.com/view/jsp&Searchword>.
7. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. CITAC Guide CG – 2012. URL: <http://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012P1.pdf>.
8. Approximation of experimental data saturated steam states. URL: <http://www.agroproj.ru/articles/engene.html>.
9. Chaly V. P. Uncertainty and error, their similarity, difference and use in different metrological procedures. Collection of Science Practitioners KhPI. Information processing systems. Uncertainty of vimiryuvannya: sciences, normative and applied aspects. Kharkiv, 2006. No. 7. P. 82–86.
10. Koval A. O., Koval O. A. Spatially distributed intellectual measuring information systems: monograph. Kharkiv: Leader, 2017. 146 p.



**Коваль А. О.**, к.т.н., доцент,  
Харківський національний автомобільно-дорож-  
ний університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,  
61002, м. Харків, тел. +380686062068,  
[koval\\_andrey79@ukr.net](mailto:koval_andrey79@ukr.net).

**Рукавишніков Ю. В.**,  
Харківський національний автомобільно-дорож-  
ний університет, вул. Ярослава Мудрого, 25,  
61002, м. Харків, тел. +380673045787,  
[1962brat@gmail.com](mailto:1962brat@gmail.com)

### **Results of experimental studies of the mutual influence of tenometric sensors on the plane elements of the road machine design**

**Abstract.** Analysis of the use of road vehicles in recent years shows an increasing trend continuous mode of their operation. In these circumstances, it is important to know the current technical status condition of the road machine. To a large extent, this is determined by the reliability of the measurement information about dynamic loads on the structural elements of a road machine. In order to increase the accuracy and reliability of dynamic measurements of loads, the authors conducted a number of experimental studies. Experimental studies of the mutual influence of strain gauges on the errors of dynamic load measurements on the structure of the road machine were carried out using a model of the planar element of the structure of the road machine. A computerized four-channel spatially distributed measurement information system was used in the experimental studies. Research results are presented mutual influence of strain gauges under various static and dynamic loads. It is established that due to the action of inertia forces and acceleration, the interaction between the sensors is manifested to a greater extent. Using the methods of comparison, comparison and complex analysis of the results of

experimental studies, the dependences of the errors of dynamic load measurements on the angle of action and load removal were established. According to the results of research, the functions of dependence of dynamic loads on the direction and force of action on each of the 4 strain gauges, taking into account their mutual location, are obtained. It is shown that the experimentally obtained coefficient of the interconnection of strain gauges depends on both the mutual location of the sensors and the spatial direction of the force and has a nonlinear dependence. The experimentally determined error function between the four strain gauges was 3%. The reason for the increase in measurement errors of dynamic planar loads is the displacement of the operating point upwards by the transformation function at positive load, or downwards at negative load. The magnitude of the displacement depends on both the magnitude of the load and its removal. The results obtained will allow optimizing the placement and number of strain gauges on board Measuring Information System on the structure of the road machine. As a result, the accuracy and reliability of measuring the parameters of the dynamic loads of the road machine will significantly increase.

**Key words:** analog-digital converter, measuring information system, dynamic load, strainer, road machine.

**Andrii Koval**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380686062068,  
[koval\\_andrey79@ukr.net](mailto:koval_andrey79@ukr.net)

**Jurii Rukavyshnikov**, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380673045787,  
[1962brat@gmail.com](mailto:1962brat@gmail.com)

---