**I. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН****Артёмов М. П.**

**Харківський
національний
технічний
університет
сільського
господарства
ім. П. Василенка**

Клец Д. М.

**Харківський
національний
автомобільно-
дорожній університет**

УДК 621.867.52**ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ
ДАТЧИКІВ ПРИСКОРЕНЬ НА
ЛАБОРАТОРНОМУ ВІБРОСТЕНДІ**

Досліджена динаміка зміни параметрів у процесі тарування датчиків лінійних прискорень для швидкої перевірки чутливості розробленого мобільного контрольно-вимірювального комплексу систем сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів при виконанні ґрунтообробних операцій.

It has been investigated the change in parameters of linear accelerometers in the process of gauging, for improving sensitivity check speed, the developed mobile control and measuring complex of the system of farm machine-tractor units when performing cultivation operations.

Постановка

Сільськогосподарські машинно-тракторні агрегати (МТА) на сучасному етапі експлуатації потребують постійного контролю для підвищення продуктивності, зменшення енерговитрат та собівартості на виробництво одиниці продукції. Також вони повинні забезпечувати великий ресурс надійності, міцності, довговічності та забезпечувати якісне виконання агротехнічних операцій, незалежно від постійної зміни умов, в яких відбувається їх функціонування. В залежності від призначення МТА можуть працювати в різних режимах під дією змінних навантажень певного закону, інтенсивності, частоти і асиметрії циклу.

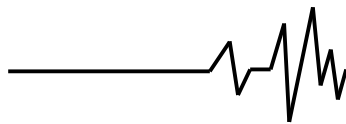
Під час роботи ґрунтообробного машинно-тракторного агрегату ним виконується складний технологічний процес, який ускладнюється нерівностями поверхні поля, які спричиняють коливання у поздовжньо-вертикальній площині і відхилення від прямолінійного руху агрегату, що теж викликає коливання у горизонтальній площині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тягові властивості і швидкість руху в процесі експлуатації можуть змінюватись у великих межах. В процесі дослідження лінійних моделей руху сільськогосподарських агрегатів[1] було встановлено, що їх рух, з деякими обмеженнями, можна представити таким, що складається з двох не пов'язаних рухів: поздовжнього і бокового, при цьому

проблеми.

поздовжній рух визначається коливаннями агрегату у поздовжньо-вертикальній площині, а боковий – у горизонтальній площині[2]. Особливості змінного усталеного руху і навантаження сільськогосподарських агрегатів вивчали П.М. Василенко, А.Б. Лур'є, В.Н. Болтінський, В.Я. Анілович, Л.В. Погорілий, Г.М. Кутьков, В.Т. Надикто, В.І. Кравчук, В.Г. Євтенко, Я.С.Гуков В.Ф. Пащенко та ін. На основі їх досліджень визначено, що швидкість руху яка може бути реалізована через потужність двигуна енергетичного засобу не може бути використана повністю через агротехнічні обмеження.

Джерелами за допомогою яких можливо дослідити динаміку МТА можуть стати акселерометри, які широко використовуються у електронних системах автомобілів для вимірювання прискорення автомобіля у різних напрямках, для вимірювання вібрацій у системах контролю стану шасі, у АБС і системах захисту від перекидання, а також у протиугінних пристроях. Тому особливий інтерес представляє питання динамічного тарування акселерометрів на стаціонарних вібростендах з постійною віброшвидкістю та різними амплітудами. Для підвищення точності вимірювань актуальними є тарування акселерометрів, визначення впливу на їх результати кута нахилу транспортного засобу і температури оточуючого середовища.



Мета дослідження. Для забезпечення якісного процесу дослідження динаміки МТА необхідно розробити методику налаштування датчиків лінійного прискорення для їх використання у якості елементів мобільного бортового вимірювального комплексу для ґрунтообробних агрегатів. Для досягнення вказаної мети необхідно провести тарування датчиків-акселерометрів за допомогою лабораторного вібростенду.

Виклад основного змісту досліджень. При проведенні кваліметричних випробувань колісних машин акселерометри використовуються для оцінки плавності руху, тягово-швидкісних, гальмівних якостей, шуму, вібрацій, надійності, пасивної безпеки, керованості і стійкості та ін.[3,4].

Експериментальні дослідження динамічних властивостей колісних машин базуються на вимірюванні параметрів руху різними інерційними чутливими елементами і системами у реальних умовах руху мобільних машин і агрегатів. Такі дослідження машин, що потребують використання мобільних вимірювальних комплексів, дають змогу забезпечити визначення кінематичних і динамічних параметрів без втручання в їх конструкцію. У таких мобільних комплексах використовують напівпровідникові акселерометри (див. рис.1).

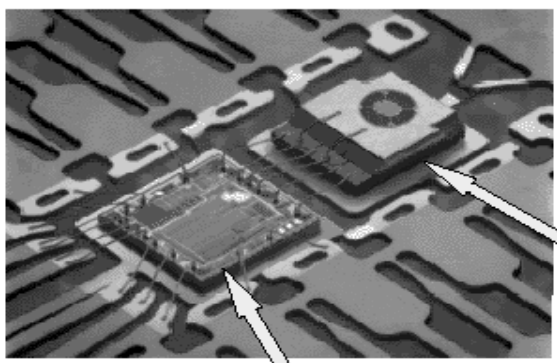


Рис. 1. Напівпровідниковий акселерометр Freescale Semiconductor

Методи градування акселерометрів підрозділяють на три групи, у відповідності з застосуванням до датчиків постійного синусоїдального чи перехідного прискорення.

Для оцінки похибок акселерометрів і перевірки адекватності їх вимірів широко використовується градування за допомогою вібростендів. Вібростендом називають вібраційну випробувальну або калібрувальну машину, до робочої платформи якої прикріплюються вироби для вібраційних

випробувань чи датчиків вібровимірювальної апаратури, яка підлягає калібруванню (таруванню), перевірці. Для впливу на акселерометри вібрацій випадкового, гармонійного характеру, система керування вібростенда забезпечить генерацію керуючого сигналу у відповідності з заданим профілем керуючого сигналу, що відповідає запрограмованому профілю випробувань.

Для проведення градування датчиків ДЛШ №29093114, №29093116, №29069201 і №29069204 (моделі MMA-7260QT) авторами використовувалась вимірювальна апаратура, перелік якої наведений у табл. 1.

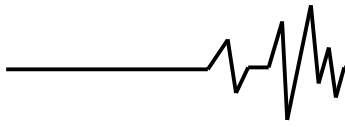
Таблиця 1
Засоби вимірювальної техніки для проведення перевірки акселерометрів ДЛШ MMA-7260QT

№ з/п	Назва контрольно-вимірювальних приладів
1	Мегомметр М4100/3, номінальна напруга 500 В;
2	Еталонна вібраційна установка 2 розряду з діапазоном частот від 5 до 500 Гц, амплітудою вібропереміщення до 1000 мкм; (вібростенд ВЕД-10)
3	Осцилограф типу С1-83 або С1-55.
4	Генератор сигналів спеціальної форми Г6-26
5	Частотомір ЧЗ-33
6	Підсилювач потужності У4.2
7	Джерело живлення ЛІПСІІ-50
8	Вимірювач вібрації ІВПА-07 з датчиком MMA 7160

Для проведення досліджень відповідності акселерометрів тим вимогам, що відповідають державним стандартам та дають змогу проводити випробування з подальшим діагностуванням мобільної техніки необхідно забезпечити певні умови в процесі тарування на еталонному вібростенді[6, 7]. До необхідних умов випробування відносяться: температура оточуючого середовища, його вологість, атмосферний тиск та ін.

В табл. 2 наведено умови у яких було проведено оціночні випробування з подальшим таруванням датчиків-акселерометрів, що використовуються у мобільному вимірювальному комплексі.

На рис. 2 зображено допоміжну апаратуру, яка використовувалась для створення необхідних параметрів випробування датчиків.



Таблиця 2
Умови проведення перевірки датчика-акселерометра ДЛШ (ММА-7260QT)

№	Найменування	
1	Температура оточуючого повітря, °C	20 ⁺⁵ ₋₂
2	Вологість оточуючого середовища, %	30–80
3	Атмосферний тиск, кПа (мм. рт. ст.)	86–106,7 (630–800)
4	Напруга живлення мережі, В	220±4,4
5	Частота мережі живлення, Гц	50,0±0,5
6	Відсутність електричних і магнітних полів, зовнішньої вібрації, коливань, що можуть впливати на результати перевірки	

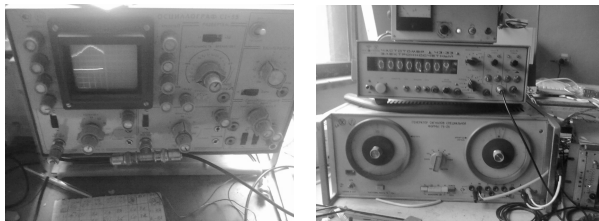


Рис. 2. Допоміжна контрольно-вимірвальна апаратура

Процес визначення метрологічних характеристик акселерометрів, що проходили випробування складався з наступних етапів.

1. Збирання і налаштування вимірвального стенда проведено було у відповідності до рис. 4.

2. Встановлення акселерометра, що проходив випробування на вібратор еталонної віброустановки таким чином, щоб його вісь чутливості співпадала з віссю чутливості еталону.

3. Визначення нелінійності амплітудної характеристики і основної приведені похибки акселерометрів ДЛШ (ММА-7260QT) по трьом осям чутливості.

Основну похибку акселерометра визначали на частоті коливань 10 Гц при п'яти значеннях віброшвидкості, рівномірно розподілених у робочому діапазоні. Значення амплітуд віброшвидкості обирались в межах від 2,5 до 20 мм/с. При кожному відтворенні значень віброшвидкості у протокол випробувань записувались показання акселерометра, що проходив випробування і еталонного датчика. По осцилографу на ноутбучі контролювалась форма вихідного сигналу акселерометра. Процес знімання показників з датчиків, що проходили випробування і віброустановки наведено на рис. 3.

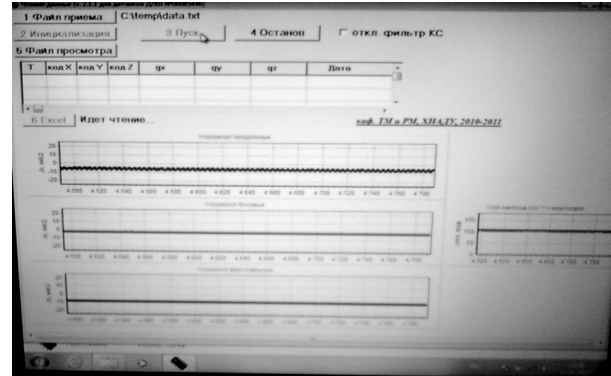


Рис. 3. Знімання показників з датчиків ДЛШ (ММА-7260QT) і віброустановки на електронному осцилографі

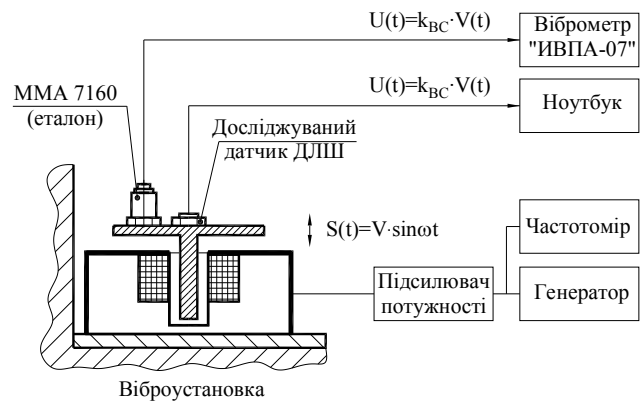


Рис. 4. Схема стенда для проведення випробувань

Основна похибка у відсотках, визначалась за формулою

$$\gamma_n = \frac{V_n - V_x}{V_n} \times 100, \quad (1)$$

де V_n – задана середньоквадратична величина віброшвидкості, мм/с (контролювалось еталонним датчиком);

V_x – середньоквадратична величина віброшвидкості з акселерометра ДЛШ (ММА-7260QT) на ноутбучі, мм/с.

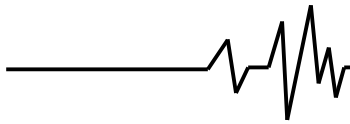
Величина γ_n , у відсотках, не повинна перевищувати межу дозволених величин, визначених за наступною залежністю

$$\gamma \leq \pm 5[1 + 0,01(V_N / V_n - 1)], \quad (2)$$

де V_N – нормована величина верхньої межі робочого діапазону середньоквадратичної величини віброшвидкості, мм/с.

Основну приведену похибку γ_{nN} , у відсотках, визначали по наступній залежності

$$\gamma_{nN} = \frac{V_n - V_x}{V_N} \times 100. \quad (3)$$



Амплітудні характеристики акселерометрів на частоті 10 Гц і показання еталонного однокомпонентного датчика ММА 7160 наведені в табл. 3. На рис. 5–9 відображені показання датчиків, що проходили тестування (на прикладі ДЛШ 29093116, вісь Z) у процесі роботи вібростенда при різних величинах віброшвидкості і прискорень.

Таблиця 3
Оцінка похибок вимірювань датчиків ДЛШ (ММА-7260QT)

Назва величин	Величини вимірювань				
	вимір 1	вимір 2	вимір 3	вимір 4	вимір 5
Вібростенд, еталонні величини					
Віброшвидкість, мм/с	2,5	5	10	15	20
Прискорення, м/с ²	±0,22	±0,44	±0,88	±1,33	±1,77
Акселерометр ДЛШ (ММА-7260QT), який тарується					
Максимальне прискорення, м/с ²	0,26	0,46	0,87	1,25	1,5
Мінімальне прискорення, м/с ²	-0,25	-0,52	-1,02	-1,39	-1,85
Величини статистичної обробки					
Середня величина прискорення	0,003	-0,003	0,004	-0,008	0,001
Медіана	-0,01	-0,02	0,083	0,163	0,23
Мода	-0,17	0,34	0,75	1,13	-1,77
Середньоквадратичне відхилення	0,15	0,3	0,59	0,89	1,16
Розкид величин прискорення	0,51	0,99	1,89	2,64	3,35

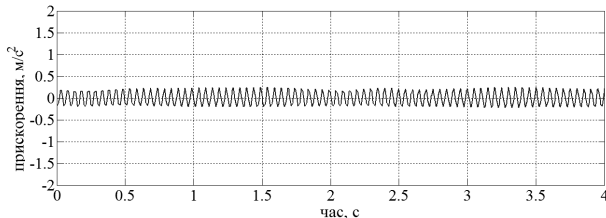


Рис. 5. Показання датчика ДЛШ (ММА-7260QT) у процесі роботи вібростенда (віброшвидкість = 2,5 мм/с, прискорення = ±0,22 м/с²)

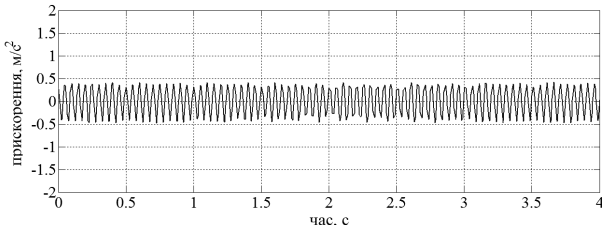


Рис. 6. Показання датчика ДЛШ (ММА-7260QT) у процесі роботи вібростенда (віброшвидкість = 5 мм/с, прискорення = ±0,44 м/с²)

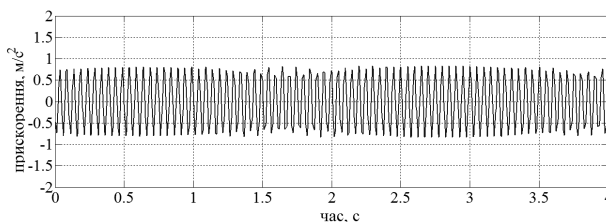


Рис. 7. Показання датчика ДЛШ (ММА-7260QT) у процесі роботи вібростенда (віброшвидкість = 10 мм/с, прискорення = ±0,88 м/с²)

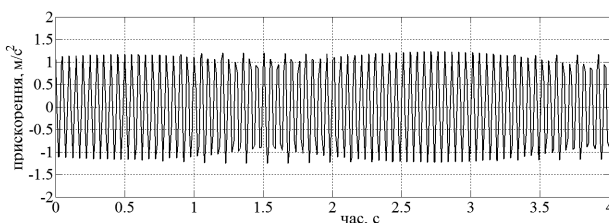


Рис. 8. Показання датчика ДЛШ (ММА-7260QT) у процесі роботи вібростенда (віброшвидкість = 15 мм/с, прискорення = ±1,33 м/с²)

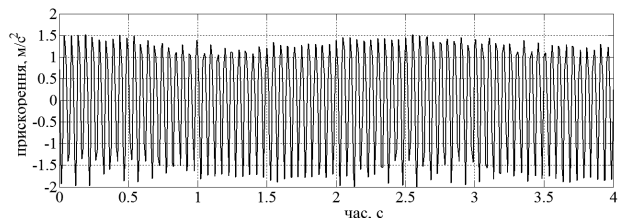
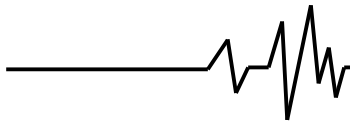


Рис. 9. Показання датчика ДЛШ (ММА-7260QT) у процесі роботи вібростенда (віброшвидкість = 20 мм/с, прискорення = ±1,77 м/с²)

Для знімання даних з акселерометрів, що проходили випробування і тарування використовувалось авторське програмне забезпечення – комп'ютерна програма «Vehicle



dynamics v. 3.2». Загальний вид робочого вікна вказаної програми наведено на рис. 10 [8]. Програмне забезпечення, що використовувалось під час випробувань і тарування датчиків дозволяє в режимі реального часу проводити знімання і обробку даних з акселерометрів ДЛШ (ММА-7260QT) та порівнювати отриманий результат з еталонним.

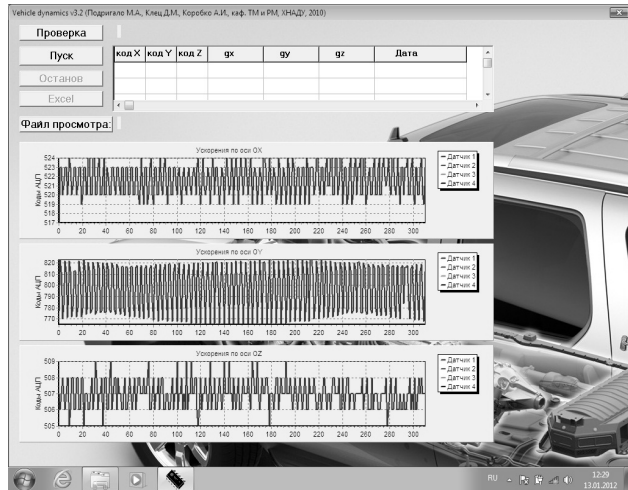


Рис. 10. Програма для знімання даних з датчиків ДЛШ (ММА-7260QT)

Для наочного відображення результатів тестування на еталонному вібростенді в лабораторних умовах було зроблено порівняння показань датчиків-акселерометрів і вібростенда, що приведено на рис. 11.

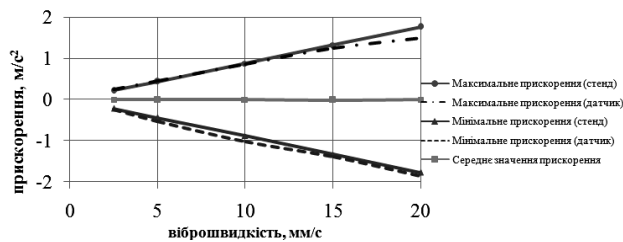


Рис. 11. Порівняння показань датчиків і вібростенда

Як видно з табл. 3 і рис. 11, показання трьохкомпонентних акселерометрів уздовж відповідних осей співпадають в межах похибки з показаннями однокомпонентного датчика ММА 7160 (еталону), який отримав сертифікат у інституті метрології.

Результати випробувань показали, що вплив на складові по неконтрольованим осям, знаходяться в межах похибки на встановлення датчика по осі, яка контролюється (до 1% по паспорту акселерометрів).

Висновки. Отримані результати динамічних випробувань датчиків-акселерометрів лінійних прискорень для швидкої перевірки чутливості розробленого мобільного контрольно-вимірювального комплексу підтвердили можливість використання вимірювального комплексу для контролювання систем сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів при виконанні ґрунтообробних операцій і їх динамічних показників.

Література

1. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье 2-е изд., перераб. – М.: Колос, 1981. – 382с.
2. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов М., Машиностроение, 1971. – 416с.
3. Болдовский В.Н., Клец Д.М. Разработка системы контроля ускорений тягово-транспортных средств / В.Н. Болдовский, Д. М. Клец // Вісник КІПУ. – Вип. 18. – 2009. – С. 42-44.
4. Клец Д.М. Определение угла продольного наклона автомобиля при проведении динамических испытаний // Транспортне машинобудування: збірник наукових праць / Д.М. Клец. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 18 – с. 24-29.
5. Шабельник Б.П., Артьомов М.П. До методики розрахунку шляху машинно-тракторного агрегату при криволінійному русі порівняно з прямолінійним / Б.П.Шабельник, М.П.Артьомов // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні Вісник ХДТУСГ. – Харків, ХДТУСГ. 2004. Випуск 24 С. 314 – 319.
6. ДСТУ 3215–95. Метрологическая аттестация средств измерительной техники.
7. ГОСТ 30296–95. Аппаратура общего назначения для определения основных параметров вибрационных процессов. Общие технические условия.
8. Артьомов М.П., Подригало М.А., Клец Д.М. Дослідження динаміки сільськогосподарських агрегатів / М.П. Артьомов, М.А. Подригало, Д.М. Клец // Український міжвідомчий науково-технічний збірник Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні Львів.: Видавництво Львівської політехніки. 2011. Випуск 45 С. 435 – 439.