

Ефективність використання машин в землеробстві Efficiency of use machines in agriculture



УДК 629.017

Використання сучасних пристроїв для контролю динаміки мобільних сільськогосподарських агрегатів

М.П. Артьомов¹, А.М. Аюбов²¹ Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П.Василенка, (м. Харків, Україна)² Таврійський державний агротехнологічний університет
(м. Мелітополь, Україна)

В даній статті досліджується можливість використання доступних приладів для вимірювання динаміки механічних систем методом визначення прискорень. Такий підхід дозволить створювати вимірювальні модулі, побудовані на основі акселерометрів, порівняно невисокої вартості.

У зв'язку з розвитком МЕМС-технології вартість інерційних датчиків-вимірювачів і, зокрема акселерометрів, стає доступною навіть для невеликих фірм-виробників електронних приладів. У даній статті досліджується можливість використання доступних приладів для вимірювання динаміки механічних систем методом визначення прискорень. Такий підхід дозволить створювати вимірювальні модулі, побудовані на основі акселерометрів, порівняно невисокої вартості.

Метою даної статті є вирішення задачі з використанням вимірювальних систем на основі акселерометрів та визначення динаміки параметрів мобільних сільськогосподарських агрегатів.

Великою проблемою на сучасному етапі експлуатації сільськогосподарських агрегатів є визначення їх динамічних і кваліметричних характеристик у процесі експлуатації.

Сучасний трактор тягової концепції характеризується жорсткою параметричною залежністю між його вагою і потужністю двигуна. Ця залежність зумовлена необхідністю реалізації потужності двигуна тільки через силу тяги і в обмеженому (агротехнічними вимогами) діапазоні швидкостей. На динамічну стабільність виконання агротребований впливають керованість, стійкість руху, зовнішні навантаження, що сприяє зміні якості їх виконання.

Запропонований метод визначення прискорень, з допомогою розробленого вимірювально-реєстраційного комплексу, дозволяє відслідковувати їх зміна і як впливає зміна параметрів мобільного агрегату на його динамічну стабільність в процесі руху. Отримані результати перехідного процесу роботи агрегату можуть бути використані при моделюванні навантажень ґрунтообробних агрегатів різного призначення. Ключові слова: динаміка, механічні системи, акселерометри, кваліметричні характеристики.

Ключові слова: машино-тракторний агрегат, прискорення, прилад, вимірювання, акселерометр, динаміка, трактор, динамічна стабільність.

Постановка проблеми. В сучасних засобах транспорту для вимірювання параметрів руху використовуються, як правило, гіроскопи і акселерометри. Різні схеми таких приладів для вимірювання наведені в [1]. У зв'язку з розвитком МЕМС-технології вартість інерціальних датчиків-вимірників і, зокрема, акселерометрів, стає доступною навіть для невеличких фірм-виробників електронних приладів. У даній статті досліджується можливість використання доступних приладів для вимірювання динаміки механічних систем за рахунок визначення прискорень. Такий підхід дозволить створювати вимірювальні модулі, побудовані на основі акселерометрів, порівняно невисокої вартості.

Мета дослідження. Метою даної статті є розв'язання задачі з використанням вимірювальних систем на основі акселерометрів і визначення динаміки параметрів мобільних сільськогосподарських агрегатів.

Основний матеріал. Ємнісні інерціальні датчики прискорення мають саму високу точність вимірювання і найкращі споживчі характеристики в порівнянні з механічними і п'єзоелектричними аналогами. Сфера їх застосування охоплює промислову електроніку, автомобільну, тракторну електроніку, охоронні системи, медичне обладнання. Визначення експлуатаційних параметрів мобільних машин, в тому числі і сільськогоспо-

дарських краще проводити використовуючи сучасні реєстраційно-вимірювальні комплекси, чутливими елементами яких слугують мікромеханічні інерціальні датчики (акселерометри). Використання акселерометрів фахівцями в процесі проведення випробувань мобільних машин відбувається в багатьох галузях через простоту їх встановлення [2, 3]. Відповідно до викладеного виникає необхідність розробки методів вимірювання і обробки експериментальних досліджень, які отримані за допомогою датчиків лінійних прискорень.

Великою проблемою на сучасному етапі експлуатації сільськогосподарських агрегатів є визначення їх динамічних і кваліметричних характеристик в процесі експлуатації.

Сучасний трактор тягової концепції характеризується жорсткою параметричною залежністю між його вагою й потужністю двигуна. Суворість цієї залежності обумовлена необхідністю реалізації потужності двигуна тільки через силу тяги і в обмеженому (агротехнічними вимогами) діапазоні швидкостей. На динамічну стабільність виконання агропромислових впливають керованість, стійкість руху, зовнішні навантаження, що сприяє зміні якості їх виконання[4].

Таким чином, дослідження з підвищення ефективності експлуатації ґрунтообробних агрегатів та взаємозв'язку динамічних процесів із зниженням енерговитрат є актуальним науково-прикладним напрямком розвитку сільськогосподарського виробництва України.

Динамічні випробування сільськогосподарських агрегатів є одним з найбільш розповсюджених і достовірних способів оцінки їх експлуатаційних властивостей. Під час проведення таких випробувань дослідники стикаються з багатьма труднощами, що обумовлені недосконалістю існуючих методів їх проведення.

На сьогоднішній день актуальним є питання створення мобільних реєстраційно-вимірювальних комплексів для оцінки параметрів руху мобільних машин при динамічних і кваліметричних випробуваннях. Проведення кваліметричних випробувань потребує застосування мобільних обчислювальних комплексів, які дозволяють без втручання в конструкцію здійснювати визначення його кінематичних і динамічних параметрів. Зазначимо, що необхідно забезпечувати більш високий рівень випробувань, використовувати нові пристрої та прилади з широкими функціональними можливостями.

Представлені раніше дослідниками засоби експериментальних досліджень руху мобільних машин дозволяли отримати інформацію з використанням великих витрат як на установку обладнання так і на обробку даних. За допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу

на базі акселерометрів є можливість значно зменшити трудовитрати та кількість приладів при проведенні досліджень в умовах експлуатації. На рис. 1 показані результати вимірювання прискорень сільськогосподарського агрегату.

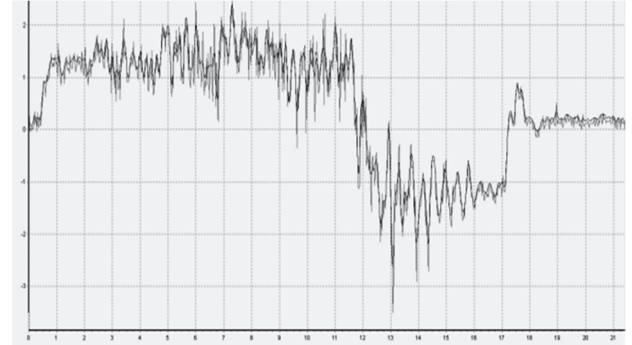


Рис. 1. Графік зміни прискорень в роботі сільськогосподарського агрегату

Після отримання даних від датчиків прискорень проводиться фільтрація сигналу і обробка за допомогою програмного пакету «Статистика». Приклад контролю обробки сигналу наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати статистичної обробки сигналу акселерометра

Параметр розподілу	Невідфільтрований сигнал	Відфільтрований сигнал
Мінімальне значення	-3,502	-2,65
Максимальне значення	2,562	2,395
Середнє значення	0,4252	0,4354
Мода	0,1299	-2,65
Медіана	0,6668	0,8828
Середнє квадратичне відхилення	1,102	1,08
Діапазон розсіювання	6,064	5,046

В основу алгоритму роботи даного програмного забезпечення (рис. 2.) покладено дискретне перетворення Фур'є, яке широко використовується в статистиці під час аналізу часових рядів.

Для того щоб визначити параметри плоскопаралельного руху агрегату необхідна установка двох трьохкоординатних датчиків прискорень. Алгоритм роботи датчиків-акселерометрів у складі вимірювально-реєстраційного комплексу вказує послідовність обробки сигналу цих приладів. Похибка таких вимірювань складається лише з похибки прямих вимірювань, тобто вимірю-

вання лінійних прискорень (для акселерометрів MMA7260QT – 1%) і координат розташування акселерометрів щодо поздовжньої осі сільськогосподарського агрегату [3].

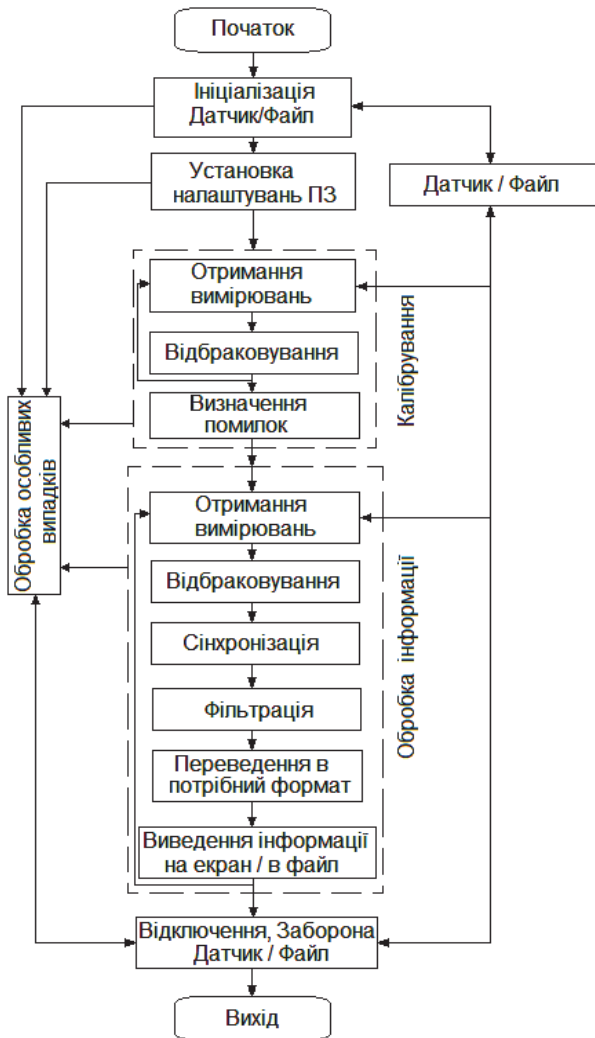


Рис. 2. Алгоритм роботи вимірювально-реєстраційного комплексу

Можливості сучасної електронно-обчислювальної техніки дозволяють вирішувати складні задачі землеробської механіки, які в більшості випадків відповідають реальним механічним системам і умовам їх використання.

Для вимірювання прискорень використовувались датчики-акселерометри, (рис. 3.) що входять до вимірювально-реєстраційного комплексу.

За допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу було проведено визначення прискорень з якими рухався агрегат рис. 1.

Як показано в [6] пласкопаралельний рух двохмасової динамічної системи з чотирма ступенями свободи може бути описано наступною системою нелінійних диференціальних рівнянь

$$(m_1 + m_2)\ddot{\xi} - m_1 b_1 \ddot{\psi}_1 \sin \psi_1 - m_1 b_1 \dot{\psi}_1^2 \cos \psi_1 - m_2 b_2 \ddot{\psi}_2 \sin \psi_2 - m_2 b_2 \dot{\psi}_2^2 \cos \psi_2 = \cos \psi_1 \bar{F}_1 - \cos \psi_2 R_x + \sin \psi_2 R_y, \\ (m_1 + m_2)\ddot{\eta} + m_1 b_1 \ddot{\psi}_1 \cos \psi_1 - m_1 b_1 \dot{\psi}_1^2 \sin \psi_1 + m_2 b_2 \ddot{\psi}_2 \cos \psi_2 - m_2 b_2 \dot{\psi}_2^2 \sin \psi_2 = \sin \psi_1 \bar{F}_1 + \cos \psi_2 R_y + \sin \psi_2 R_x, \quad (1)$$

$$m_1(b_1^2 + \rho_1^2)\ddot{\psi}_1 + m_1 b_1 \left(\ddot{\eta} \cos \psi_1 - \dot{\xi} \sin \psi_1 - \dot{\eta} \dot{\psi}_1 \sin \psi_1 - \dot{\xi} \dot{\psi}_1 \cos \psi_1 \right) + D(\psi_1 - \psi_2) + m_1 b_1 \dot{\psi}_1 (\dot{\eta} \sin \psi_1 + \dot{\xi} \cos \psi_1) = \bar{F}_2 \frac{B_T}{2},$$

$$m_2(b_2^2 + \rho_2^2)\ddot{\psi}_2 + m_2 b_2 \left(\ddot{\eta} \cos \psi_2 - \dot{\xi} \sin \psi_2 - \dot{\eta} \dot{\psi}_2 \sin \psi_2 - \dot{\xi} \dot{\psi}_2 \cos \psi_2 \right) - D(\psi_1 - \psi_2) + m_2 b_2 \dot{\psi}_2 (\dot{\eta} \sin \psi_2 + \dot{\xi} \cos \psi_2) = -\sin \psi_2 L R_x + \cos \psi_2 L R_y,$$

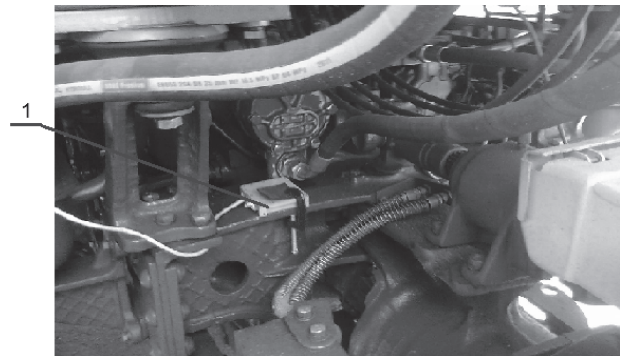


Рис. 3. Місце встановлення датчика вимірювально-реєстраційного комплексу:
1 – акселерометр MMA-7260QT

де $\bar{F}_1 = F_1 + F_2$, $\bar{F}_2 = F_1 - F_2$; ξ і η – поздовжня і поперечна координати точка кріплення сільськогосподарського знаряддя до трактора відносно системи координат $X Y$; ψ_1 – курсовий кут трактора відносно осі X ; ψ_2 – кут повороту прямої, що з'єднує центр мас сільськогосподарського знаряддя та начіпного пристрою відносно осі X ; m_1, m_2 – маса трактора і знаряддя, а ρ_1 і ρ_2 – радіуси інерції; b_1, b_2 – відповідно відстані між центрами мас трактора і знаряддя та центром мас причіпного пристрою; B_T – відстань між лініями дії сил тяги трактора; D – ефективний коефіцієнт приведеної жорсткості начіпного пристрою.

Система рівнянь (1) буде використана для вирішення задачі динаміки. Розглянемо основні етапи вирішення цієї задачі. Перший етап полягає в визначенні зв'язку між компонентами прискорень які вимірюються $a_{x1}, a_{y1}, a_{x2}, a_{y2}$ та узагальненими координатами $\xi(t), \eta(t), \psi_1(t), \psi_2(t)$.

Як відомо [7] пласко паралельний рух абсолютно твердого тіла може складатись з поступального руху точки O (у нашому випадку це координати $\xi(t), \eta(t)$ центру мас начіпного пристрою) та обертального руху навкруги цієї точки, який описується зміною кута повороту трактора $\psi_1(t)$ відносно осі X . На виконання цього твердження прискорення будь-якої точки M тіла можливо виразити у вигляді геометричної суми трьох прискорень [6]

$$\vec{a}_M = \vec{a}_0 + \vec{a}_e + \vec{a}_C, \quad (2)$$

де \vec{a}_0 – прискорення в точці O , $a_{Ox} = \ddot{\xi}$, $a_{Oy} = \ddot{\eta}$, \vec{a}_e – обертальне прискорення, $a_e = \rho \ddot{\psi}_1$ і \vec{a}_C – доцентрове прискорення, $a_C = \rho \dot{\psi}_1^2$, ρ – відстань між точками встановлення датчиків M і точкою приєднання агрегату O .

За допомогою (2) запишемо наступну систему рівнянь відносно $\ddot{\xi}$, $\ddot{\eta}$, $\ddot{\psi}_1$, $\dot{\psi}_1$,

$$\begin{aligned} a_{x1} &= \ddot{\xi} - \rho_1 \ddot{\psi}_1 \sin(\psi_1 + \alpha_1) - \rho_1 \dot{\psi}_1^2 \cos(\psi_1 + \alpha_1), \\ a_{y1} &= \ddot{\eta} + \rho_1 \ddot{\psi}_1 \cos(\psi_1 + \alpha_1) - \rho_1 \dot{\psi}_1^2 \sin(\psi_1 + \alpha_1), \\ a_{x2} &= \ddot{\xi} - \rho_2 \ddot{\psi}_1 \sin(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_2 \dot{\psi}_1^2 \cos(\psi_1 - \alpha_2), \\ a_{y2} &= \ddot{\eta} + \rho_2 \ddot{\psi}_1 \cos(\psi_1 - \alpha_2) - \rho_2 \dot{\psi}_1^2 \sin(\psi_1 - \alpha_2). \end{aligned} \quad (3)$$

де ρ_1 і ρ_2 – відповідно відстань між точками M_1 і M_2 в яких вимірюється прискорення \vec{a}_1 , \vec{a}_2 і точкою O , а α_1 і α_2 – кути між прямими, що проходять через точки $M_1 O$ та $M_2 O$ та поздовжньою віссю трактора і начіпного пристрою.

Система рівнянь (3) є нелінійною і її вирішення можливо отримати тільки чисельним способом за допомогою комп'ютера.

Крім того у випадках особливо важливих для практичних розрахунків цю систему можливо вирішити в аналітичному вигляді. Для отримання такого рішення необхідно зробити припущення, що кут повороту трактора ψ_1 є достатньо малою величиною, тобто відхилення курсового кута трактора від осі X дійсно дуже мале.

При таких припущеннях система рівнянь (3) може бути лінеаризована і представлена у наступному вигляді

$$\Delta a_x = -\Delta_2 \ddot{\psi}_1 + \Delta_1 \dot{\psi}_1^2, \quad \Delta a_y = -\Delta_1 \ddot{\psi}_1 - \Delta_2 \dot{\psi}_1^2, \quad (4)$$

де введені позначення

$$\begin{aligned} \Delta a_x &= a_{x1} - a_{x2}; & \Delta a_y &= a_{y1} - a_{y2}; \\ \Delta_1 &= \rho_2 \cos \alpha_2 - \rho_1 \cos \alpha_1; & \Delta_2 &= \rho_2 \sin \alpha_2 + \rho_1 \sin \alpha_1. \end{aligned} \quad (5)$$

При складанні рівняння (4) припускалось, що $\sin \psi_1 \approx \psi_1$, $\cos \psi_1 \approx 1$, $|\dot{\psi}_1 \psi_1| \ll 1$, $|\dot{\psi}_1^2 \psi_1| \ll 1$. Визначивши з(4) $\ddot{\psi}_1$ і $\dot{\psi}_1^2$ та підставивши до (3) у кінцевому вигляді отримаємо

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\xi} &= a_{x1} + D_1 \Delta a_x - D_2 \Delta a_y, \\ \ddot{\eta} &= a_{y1} + D_2 \Delta a_x + D_1 \Delta a_y, \\ \ddot{\psi}_1 &= -\Delta a_x D_3 - \Delta a_y D_4, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} D_1 &= \Delta^{-1}(\bar{x}_1 \bar{x}_2 - \bar{y}_1 \bar{y}_2 - \bar{x}_1^2 - \bar{y}_1^2), \\ D_2 &= \Delta^{-1}(\bar{y}_1 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \bar{y}_2), & D_3 &= \Delta^{-1}(\bar{y}_1 + \bar{y}_2), \\ D_4 &= \Delta^{-1}(\bar{x}_2 - \bar{x}_1), & \Delta &= (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2 + (\bar{y}_1 + \bar{y}_2)^2, \\ \bar{x}_1 &= \rho_1 \cos \alpha_1, & \bar{y}_1 &= \rho_1 \sin \alpha_1, \\ \bar{x}_2 &= \rho_2 \cos \alpha_2, & \bar{y}_2 &= \rho_2 \sin \alpha_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Таким чином, формули (6), (7) встановлюють зв'язок між вимірними компонентами прискорень $a_{x1}, a_{y1}, a_{x2}, a_{y2}$ у двох контрольних точках M_1 і M_2 трактора та узагальненими координатами ψ_1, ξ, η .

Розроблена система рівнянь покладена в основу програми для визначення тягово-енергетичних параметрів мобільних машин.

Після експериментального визначення прискорення було проведено фільтрацію результатів за допомогою фільтру Баттерворта в програмному пакеті MATLAB і результати внесено для розрахунків до авторської програми, вікно якої зображено на рис. 4.

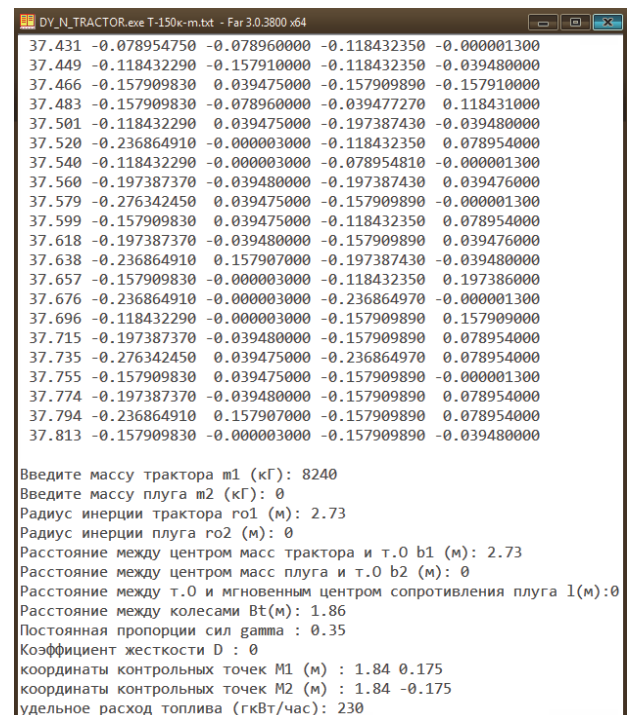


Рис. 4. Вікно програми для розрахунку параметрів агрегату

Доведено, що на основі експериментальних даних отриманих за допомогою розробленого контрольно-вимірювального комплексу, можливо провести розрахунки сил і реакцій, які впливають на динаміку і динамічну стабільність мобільних агрегатів.

Висновок Запропонований метод визначення прискорень за допомогою розробленого вимірювально-реєстраційного комплексу дозволяє відслідковувати через їх зміну, як впливає зміна стану мобільного агрегату на його динамічну стабільність в процесі руху. Отримані результати для перехідного процесу роботи агрегату можуть бути використані при моделюванні навантажень ґрунтообробних агрегатів різного призначення. Визначені в процесі розрахунків параметри можуть бути діагностичними, якщо відслідкувати динаміку їх зміни в процесі довгострокового напрацювання.

Література

1. Анучин О.Н. Интегрированные системы ориентации для морских подвижных объектов / О.Н. Анучин, Г.И. Емельянцеv. – СПб., 1999. – 357 с.

2. Глобальные технические правила №8. Электронные системы контроля устойчивости / ESE TRANS 180, 2008. – 116с.

3. Аналоговые измерительные устройства [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.vnpc.com.ua/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=12&Itemid=1

4. Надикто В. Кроки до вітчизняного МТА / В.Т. Надикто // The Ukrainian Farmer – К.: ТОВ «АГП Медіа» – 2013. – № 8(45). – С.22 - 24.

5. Канунников Г. Фильтр Баттерворта [Электронный ресурс] / Г. Катунников – Режим доступа: <http://motosnz.narod.ru/bdcpf.htm>.

6. Артьомов М.П. Математична модель машинно-тракторного агрегату з використанням метода парціальних прискорень / М.П. Артьомов // Зб. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 11. – Т.1(65). С.34 - 40.

7. Ляпунов А.М. Лекции по теоретической механике. / А.М. Ляпунов. – К.: Наукова думка. – 1982. – 362 с.

Аннотация

Использование современных устройств для контроля динамики мобильных сельскохозяйственных агрегатов

Н.П. Артёмов, А.М. Аюбов

В связи с развитием МЭМС-технологии стоимость инерциальных датчиков-измерителей и, в частности акселерометров, становится доступной даже для небольших фирм-производителей электронных приборов. В данной статье исследуется возможность использования доступных приборов для измерения динамики механических систем методом определения ускорений. Такой подход позволит создавать измерительные модули, построенные на основе акселерометров, сравнительно невысокой стоимости.

Целью данной статьи является решение задачи с использованием измерительных систем на основе акселерометров и определение динамики параметров мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

Большой проблемой на современном этапе эксплуатации сельскохозяйственных агрегатов является определение их динамических и кваліметричних характеристик в процессе эксплуатации.

Современный трактор тяговой концепции характеризуется жесткой параметрической зависимостью между его весом и мощностью двигателя. Эта зависимость обусловлена необходимостью реализации мощности двигателя только через силу тяги и в ограниченном (агротехническими требованиями) диапазоне скоростей. На динамическую стабильность выполнения агротребований влияют управляемость, устойчивость движения, внешние нагрузки, что способствует изменению качества их выполнения.

Предложенный метод определения ускорений, с помощью разработанного измерительно-регистрационного комплекса, позволяет отслеживать их изменение и как влияет изменение параметров мобильного агрегата на его динамическую стабильность в процессе движения. Полученные результаты для переходного процесса работы агрегата могут быть использованы при моделировании нагрузок почвообрабатывающих агрегатов разного назначения.

Ключевые слова: *машинно-тракторный агрегат, ускорения, прибор, измерение, акселерометр, динамика, трактор, динамическая стабильность.*

Abstract

**The use of modern devices to control the dynamics
of mobile agricultural appliances**

N.P. Artiomov, A.M. Aiubov

Due to the progress of microelectromechanic systems the cost of inertial sensors the accelerometers in particular becomes available even for small producing firms of electronic devices. This article deals with possible use of available devices to measure the dynamics of mechanical systems applying the method of determining accelerations. This approach makes it possible to create measuring cells based on accelerometers of comparatively low cost.

The purpose of this article is to solve the problem by using measuring systems basing on accelerometers to determine the parameter dynamics of mobile farm appliances.

Nowadays a great problem in the operation of agricultural units is the determination of their dynamic and qualimetric parameters in the operation process.

A modern tractor of tractive conception is characterized by rigid parametric dependence between its weight and the power of its engine. This dependence is caused by fact that it is necessary to realize the engine power only through the tractive force and within a limited (by agro technical requirements) speed range. Dynamic stability in following agrarian requirements is affected by controllability movement stability, external loads which assists in changing the quality of their execution.

The proposed method of determining accelerations using the devised measuring and registration complex makes it possible to keep up with their change, how the change in dynamics of the mobile unit affects its dynamic stability in the process of movement. The obtained results for the transient process in the unit operation can be used in modeling the loads of cultivating units of various purposes.

Keywords: *machine-tractor unit, acceleration, instrument, measurement, accelerometer, dynamics, tractor, dynamic stability.*

Представлено від редакції: А.Т. Лебедєв / Presented on editorial: A.T. Lebedjev

Рецензент: М.Ю. Шуляк / Reviewer: M.Ju. Shuljak

Подано до редакції / Received: 26.05.2017