

Ефективність використання машин в землеробстві
Efficiency of use machines in agriculture

УДК 631.17.002

Оцінка тягово-динамічних властивостей на основі
прискорення трактораМ.П. Артёмов¹, А.Т. Лебедєв², М.Л. Шуляк³, Ю.М. Кулаков⁴

Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка (м. Харків, Україна), ¹artimovprof@ukr.net,
³mihail_shulyak@mail.ru, ^{2,4}tiaxntusg@gmail.com.

Необхідність проведення оцінки функціонування МТА є однією з важливих задач сучасної науки. З великою ймовірністю можливо стверджувати що, як тягова концепція трактора, так і методи оцінки тягово-динамічних і економічних властивостей потребують змін в умовах сучасного тракторобудування. Особливу актуальність ці питання набувають при оцінці тягових параметрів закордонних тракторів великої енергонасиченості. Звичайні тягові випробування не дають можливості оцінити потенційні можливості тракторів бо реалізувати потужність двигуна через рушії енергонасиченого трактора дуже важко. Також слід зауважити, що класична тягова характеристика не враховує динамічні навантаження трактора під час виконання технологічної операції. В роботі проведений аналіз та виявлений ряд суттєвих недоліків існуючих методів дослідження МТА. Запропонована методика оцінки тягово-динамічних і економічних властивостей тракторів, що надасть можливість враховувати стохастичні навантаження, при виконанні технологічних операцій, та отримати динамічну тягову характеристику. Одним з недоліків запропонованої методики є необхідність досить складної аналітичної обробки результатів експерименту, та досить велике значення для якості отриманих результатів має кваліфікація наукового персоналу. Розроблено аналітичне авторське програмне забезпечення, що дозволяє зменшити складність обробки результатів та дозволяє використовувати наведений метод в сільськогосподарських підприємствах без залучення висококваліфікованих наукових співробітників. Запропонована програма має можливість в режимі реального часу проводити обробку результатів вимірювання та автоматично розраховує значення тягового зусилля, ефективної потужності, швидкості. Результати розрахунків виводяться на екран у вигляді графічних залежностей, також можливо отримати результати в цифрових значеннях для подальшої обробки.

Ключові слова: прискорення трактора, тягово-динамічні властивості, експериментальні дослідження, тягова характеристика.

Актуальність задачі В світовій тракторній енергетиці чітко відстежується тенденція підвищення енергонасиченості тракторів, це відкриває нові перспективи застосування їх енергії для підвищення продуктивності використання складних сільськогосподарських агрегатів. На сьогоднішній час для тракторної енергетики актуально розв'язання ряду теоретичних задач, спрямованих на встановлення меж використання тракторів тягової та тягово-енергетичної концепції та оцінки їх функціональних властивостей.

Постановка проблеми. Основна теорія трактора, що використовується для проектування енергетичних засобів на території країн СНГ, обґрунтована для тракторів тягової концепції.

Чудаков Д.А. (1941 р.) запропонував прийняти тягове зусилля за параметр, що встановлює клас трактора. В подальшому цей напрям розвивався Трепененковим І.І., Судаковим А.Н., Медведєвим М.І, Гуськовим В.В. Проте слід зауважити, що теорія трактора тягової концепції ефективна, коли потужність двигуна реалізується через тягу [1]. Основою для класифікації тракторів тягової концепції є випробування трактора, що проводять для оцінки його тягово-динамічних і економічних властивостей в заданих умовах.

З великою ймовірністю можна стверджувати що, як тягова концепція трактора, так і методи оцінки тягово-динамічних і економічних власти-

востей потребують змін в умовах сучасного тракторобудування. Особливу актуальність ці питання набувають при оцінці тягових параметрів закордонних тракторів великої енергонасиченості. Звичайні тягові випробування не дають можливості оцінити потенційні можливості тракторів бо реалізувати потужність двигуна через рушії енергонасиченого трактора неможливо. Також слід зауважити, що класична тягова характеристика не враховує динамічні навантаження трактора під час виконання технологічної операції тому вибір режиму роботи МТА за її допомогою має досить приблизний характер.

Мета роботи. Розробити методику оцінки тягово-динамічних і економічних властивостей тракторів, що надасть можливість враховувати стохастичні навантаження МТА, при виконанні технологічних операцій, та отримати динамічну тягову характеристику.

Аналіз публікацій. Як альтернативу польовим тяговим випробуванням використовують гідромеханічні [2] та механічні тягово-гальмівні стенди [3]. Такі випробування дозволяють провести оцінку без врахування властивостей агрофону та сільсько-господарської машини.

При класичних тягових випробуваннях тягові показники визначають у функції тягового зусилля, прикладеного до тягово-зчіпного пристрою. Методика таких випробувань тракторів регламентована ГОСТ 7057-81, ГОСТ 7057-2001. Трактор завантажують спеціальним динамометричним візком, обладнаним гальмівним пристроєм. За допомогою цього пристрою створюють змінний опір руху і завантажують трактор в широкому діапазоні тягових зусиль. Як завантажувальний пристрій використовують також трактори, опір руху яких регулюють зміною подачі палива й перемиканням передач. Випробування проводять у режимі робочих швидкостей. При цьому максимальне тягове зусилля обмежують початком нестійкої роботи двигуна або буксуванням [4]. Однак відомий спосіб має наступні основні недоліки: випробування трактора проводять у польових умовах кваліфікованим персоналом і з використанням складного дорогого устаткування, реалізація цього методу потребує багато часу та грошей.

З вище перерахованих недоліків виходить, що на даний момент найбільший інтерес представляють методики оцінки тягово-динамічних і економічних властивостей тракторів основані на динамічних показниках функціонування.

Максимальну силу тяги на гаку можна визначити на стаціонарі в режимі рушення

машини з місця без запасу ходу силової ланки тягового пристрою [5]. Також останнім часом, завдяки високій оперативності, універсальності і не високих капітальних затратах набули досить широкого застосування безгальмівні методи діагностування [6].

Розглянуті методи за виключенням останнього не враховують взаємодію рушія з несучою поверхнею та динаміку зміни тягового опору сільськогосподарських машин.

Основна частина. Запропонована методика дозволяє визначити тягові показники у функції максимального тягового зусилля, значення якого отримано на основі прискорення трактора, на заданій передачі.

При тягових випробуваннях трактор розганяється до заданої швидкості. Динамічні показники фіксуються за допомогою вимірювального комплексу [7] і надалі обробляються аналітично.

Величина прискорення, що задається рушійною силою трактору, враховує стохастичні чинники, що виникають при функціонуванні трактора на заданому агрофоні (коефіцієнти опору коченню і буксування) та коливання крутного моменту двигуна, це дозволяє на основі отриманих даних за короткий строк побудувати динамічну тягову характеристику та запропонувати оптимальний режим роботи трактора в складі МТА. Рушійна сила трактора:

$$P_{\text{дв}} = P_k - P_f \pm P_a \pm P_w \pm P_i - P_{\text{кр}}, \quad (1)$$

де P_f — опір перекочуванню коліс трактора; P_a, P_w, P_i — сили, витрачені на подолання підйому, опору повітряного середовища, інерції; $P_{\text{кр}}$ — тягове зусилля (останнє не враховується для досліджень одиночного трактора)

Рушійна сила під час розгону трактора характеризує залишок тягового зусилля, яке можливо реалізувати на заданому агрофоні з урахуванням всіх витрат реальної технологічної операції.

Для трактора без сільськогосподарських машин, що проходить випробування, в умовах заданих ГОСТ 7057-2001 справедливо:

$$P_{\text{дв}} = \frac{dv}{dt} \cdot m_{\text{нр}} = P_{\text{кр max}} - P_i, \quad (2)$$

де $m_{\text{нр}}$ — приведена маса трактора; $P_{\text{кр max}}$ — максимальне тягове зусилля.

Якщо розглянути трактор як абсолютно тверде тіло то прискорення точки k механічної системи, що задає рушійну силу, буде складатися з компонентів парціальних

прискорень прикладених до трьох координатних осей. У такому випадку рівняння динаміки точки k для просторової системи буде мати вигляд:

$$\vec{\ddot{V}}_k = \vec{i}(\ddot{x}_{ek} + \dot{x}_{ik}) + \vec{j}(\ddot{y}_{ek} + \dot{y}_{ik}) + \vec{k}(\ddot{z}_{ek} + \dot{z}_{ik}), \quad (3)$$

де $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ — основні вектори або орти; $\dot{x}_{ek}, \dot{x}_{ik}, \dot{y}_{ek}, \dot{y}_{ik}, \dot{z}_{ek}, \dot{z}_{ik}$ — модулі проекцій векторів парціальних прискорень на координатні осі.

Таким чином, при відомій масі точки і її парціального прискорення визначається сила, що на неї впливає.

Парціальне прискорення, що задається силою інерції можливо визначити під час вільного вибігу одиночного трактора шляхом вимкнення муфти зчеплення та встановлення нейтральної передачі трансмісії трактора із певної початкової швидкості руху.

За результатами розрахунків отримано залежності:

$$\dot{V}_{Ti}(V) = -g[f(V) + f_T(V)] < 0; \quad (4)$$

де g — прискорення вільного падіння; $f(V)$ — функція зміни коефіцієнту опору коченню коліс трактора від швидкості; $f_T(V)$ — коефіцієнт зменшення опору коченню коліс трактора при зниженні швидкості руху.

Також на основі параметрів зміни прискорення можливо проводити дослідження енергонасичених тракторів в агрегаті з сільськогосподарською машиною, що працює від ВВП.

Одним з недоліків запропонованого методу є необхідність досить складної аналітичної обробки результатів експерименту. Для отримання якісного сигналу від датчиків вимірювально-реєстраційного комплексу використовують декілька програм фільтрування, бо чутливість датчиків дозволяє реєструвати коливання прискорення, що виникають від роботи двигуна трактора та нерівностей агрофону. Досить велике значення для якості отриманих результатів також має місце встановлення датчиків.

Для зменшення складності обробки результатів та можливості застосування наведеного методу в сільськогосподарських підприємствах без залучення наукових співробітників, На кафедрі тракторів і автомобілів (Артьомовим М.П.) було розроблене аналітичне авторське програмне забезпечення [7] — комп'ютерна програма «Vehicle dynamics v. 3.7», яка сумісна з операційною системою Microsoft Windows (рис. 1).

Результати вимірювання прискорення отримані безпосередньо з вимірювального комплексу (рис. 2), обробляють аналітичною програмою та будують графік тягового зусилля (рис. 3).

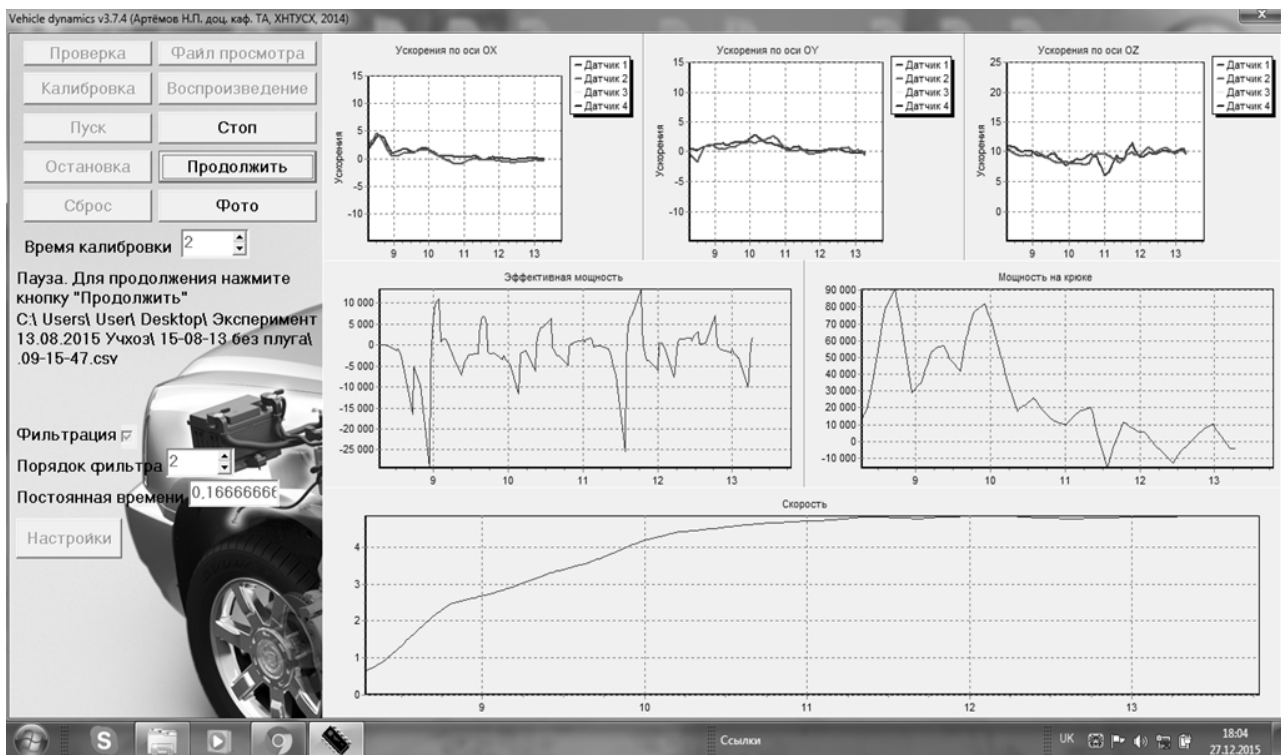


Рис. 1. Інтерфейс програми для зняття і обробки експериментальних даних.

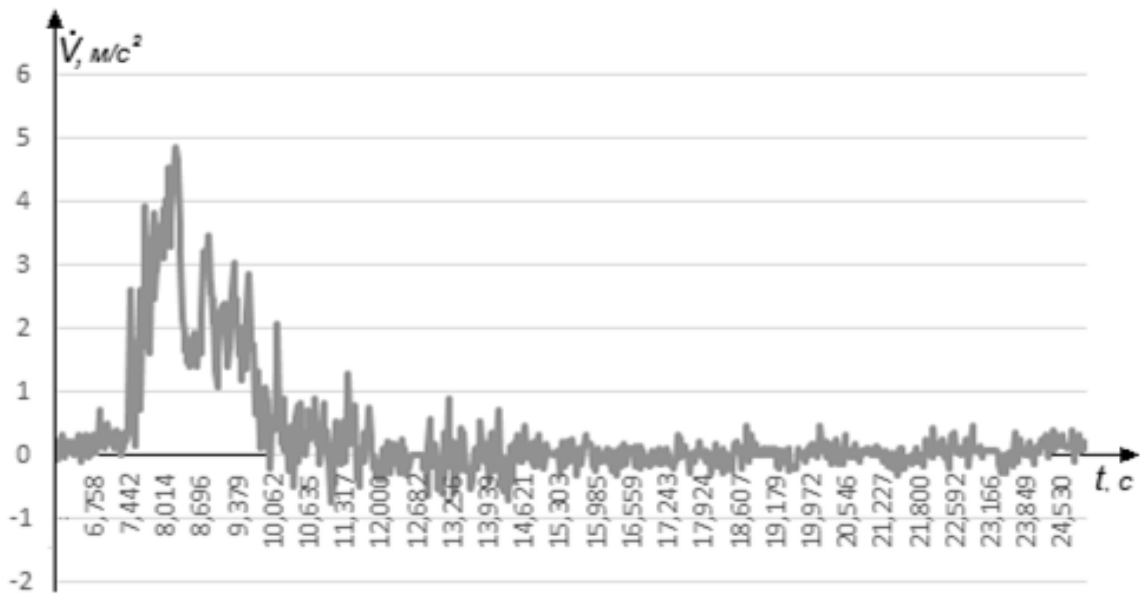


Рис. 2. Прискорення одиночного трактора МТЗ — 80 на 6 передачі.

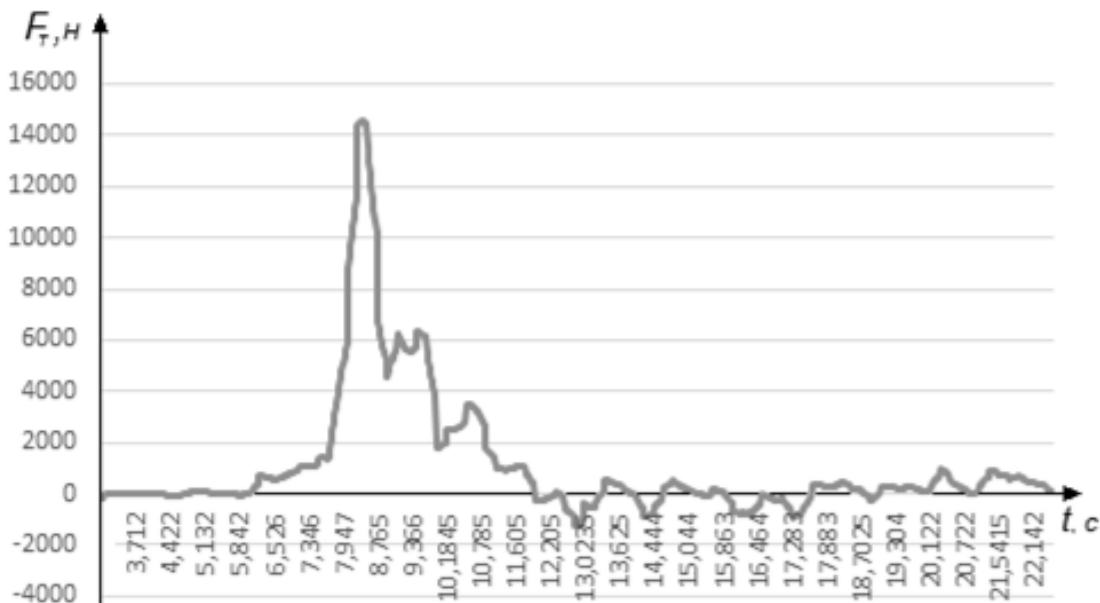


Рис. 3. Результати розрахунків тягового зусилля на 6 передачі

Висновки.

Методика дослідження основних тягових показників МТА на основі динамічних параметрів є перспективним напрямком розвинутої сучасної науки. Врахування саме стохастичних режимів дозволить найбільш повно імітувати роботу системи при проведенні математичного моделювання. Запропонована програма, що спрямована на полегшення застосування методики, має можливість в режимі реального часу проводити обробку результатів вимірювання та автоматично розраховує значення

тягового зусилля, ефективної потужності, швидкості. Результати розрахунків виводяться на екран у вигляді графічних залежностей, також можливо отримати результати в цифрових значеннях для подальшої обробки [8].

Література

1. Трепенков И.И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов [Текст] / И.И. Трепенков. – М.: Машгиз, 1963. – 271 с.

2. Пат. 2140627 РФ. G01M17/00, G01L5/13. Гидромеханическое тягово-тормозное устройство для технического диагностирования транспортных средств / Хабардин В.Н., Хаббардин С.В., Сарапулов П.Н. / патентообладатель: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – С197100705/28, заявл. 10.01.1997, – опубл. 27.10.1999, – 4с.

3. Пат. 2144659 РФ. G01M17/00, Механическое тягово-тормозное устройство для технического диагностирования транспортных средств / Хаббардин В.Н., Парунов В.В., Сарапулов П.Н., Иванов Н.П. / патентообладатель: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – С197100704/28, заявл. 10.01.1997. – опубл. 20.01.2000. – 3 с.

4. Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Под ред. Скотникова В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. — М.: Агропромиздат, 1986, 313 с.

5. Пат. 2164670 РФ. МКИ 7G01L5/13, Способ определения максимальной силы тяги на крюке транспортного средства / Хаббардин В.Н

/ патентообладатель: Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – С296115966 / 28, заявл. 31.07.1996. – опубл. 27.03.2001 – 6 с.

6. Казаков Д.В. Совершенствование методики диагностирования энергетических показателей сельскохозяйственных тракторов в эксплуатационных условиях: Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.20.03. – Зерноград, 2008. – 19 с.

7. Артьомов М.П. Динамічна стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів: Автореф. дис. докт. тех. наук: 05.05.11 – Харків, 2014. – 40 с.

8. Пат. 54188 МКИ (2009) G01L5/13. Способ визначення та обмеження динамічних навантажень при роботі тракторного агрегату / А.Т. Лебедев, М.П. Артьомов, М.А. Подригало, О.С. Полянський, Є.О. Дубінін, О.Г. Хворост, В.В. Задорожня, О.В. Кот; патентоутримувач: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка. – заявл. 25.05.2010; – опубл. 25.10.2010; Бюл. № 20.

Анотація

Оценка тягово-динамические свойства основанная на ускорение трактора

Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М. Л. Шуляк, Ю.Н. Кулаков

Необходимость проведения оценки функционирования МТА является одной из важных задач современной науки. С большой вероятностью можно утверждать, что, как тяговая концепция трактора, так и методы оценки тягово-динамических и экономических свойств требуют изменений в условиях современного тракторостроения. Особую актуальность эти вопросы приобретают при оценке тяговых параметров иностранных тракторов большой энергонасыщенности. Обычные тяговые испытания не дают возможности оценить потенциальные возможности тракторов, поэтому реализовать мощность двигателя через движители энергонасыщенного трактора очень трудно. Также следует заметить, что классическая тяговая характеристика не учитывает динамические нагрузки трактора при выполнении технологической операции. В работе проведен анализ и выявлен ряд существенных недостатков существующих методов исследования МТА. Предложенная методика оценки тягово-динамических и экономических свойств тракторов позволит учитывать стохастические нагрузки при выполнении технологических операций и получить динамическую тяговую характеристику. Одним из недостатков предложенной методики является необходимость достаточно сложной аналитической обработки результатов эксперимента, и достаточно большое значение для качества полученных результатов имеет квалификация научного персонала. Разработано аналитическое авторское программное обеспечение, позволяющее уменьшить сложность обработки результатов и позволить использовать приведенный метод в сельскохозяйственных предприятиях без привлечения высококвалифицированных научных сотрудников. Предложенная программа имеет возможность в режиме реального времени проводить обработку результатов измерения и автоматически рассчитывать значения тягового усилия, эффективной мощности, скорости. Результаты расчетов выводятся на экран в виде графических зависимостей, также можно получить результаты в цифровых значениях для дальнейшей обработки.

Ключевые слова: ускорение трактора, тягово-динамические свойства, экспериментальные исследования, тяговая характеристика.

Abstract

**Evaluation of traction-dynamic properties based
on acceleration of the tractor**

M.P. Artyomov, A.T. Lebedev, M.L. Shulyak, Y.M. Kulakov

The need to evaluate the functioning of the MTU is one of the most important problems of modern science. With high probability it can be argued that, as the traction tractor concept and evaluation methods trailer dynamic and economic properties require changes in the modern tractor. Of particular relevance of these issues are in the evaluation of the parameters of the traction foreign tractors largest energy saturation. Conventional traction tests do not allow to evaluate the potential of tractors, so to realize the power of the engine through a power tractor propellers very difficult. It should also be noted that the classical traction characteristics do not take into account the dynamic loads of the tractor when the manufacturing operation. The paper analyzes and identified a number of significant shortcomings of the existing MTU research methods. The proposed assessment methodology trailer dynamic and economic properties of tractors will allow to take into account the stochastic load in the performance of manufacturing operations and get the dynamic traction characteristics. One of the drawbacks of the proposed method is the need for a rather complex analytical processing of the experimental results, and a large enough value for the quality of the results has qualified scientific personnel. Developed analytical authoring software that allows to reduce the complexity of processing the results and allow the use of the method shown in the agricultural enterprises without the involvement of highly qualified scientific personnel. The proposed program has the ability to conduct real-time processing of the measurement results and automatically calculate the values of traction and efficient power, speed. The calculation results are displayed in the form of a graph; you can also get the results in digital values for further processing.

Keywords: *acceleration of the tractor, traction and dynamic properties, experimental research, traction characteristics.*

Представлено: В.А. Войтов / Presented by: V.A. Vojtov
Рецензент: О.С. Полянський / Reviewer: O.S. Polyanskiy
Подано до редакції / Received: 17.05.2015