

А.Т. ЛЕБЕДЕВ, М.Л. ШУЛЯК, В.В. РАПУТА

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТРАКТОРІВ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті за відомими публікаціями узагальнені результати досліджень по енергозбереженню тракторів загального призначення, що базуються на аналізі питомих тягових опорів сільськогосподарських машин, що агрегатуються з трактором. Аналізується відомий спосіб оцінки опору руху сільгоспмашин за прискоренням розгону трактора. Сформульована невирішена проблема енергозбереження тракторного агрегату з GPS у системі точного землеробства.

Ключові слова: трактор, сільгоспмашина, опір руху, енергозбереження, прискорення розгону, реєстраційний комплекс, точне землеробство.

A. LEBEDEV, M. SHULIAK, V. RAPUTA

MODERN PROBLEMS OF ENERGY SAVING OF GENERAL PURPOSE TRACTORS

The article based on well-known publications summarizes the results of research on the energy saving of general-purpose tractors, based on the analysis of the specific traction resistances of agricultural machines aggregated with the tractor. The well-known method of estimating the resistance to the movement of agricultural machines based on the acceleration of the tractor acceleration is analyzed. The unsolved problem of energy saving of the tractor unit with GPS in the precision farming system is formulated. The energy saving of the tractor is considered to be one of the most cost-effective, for the assessment of which the various publications have suggested different methods. But they is not primed on the method of assigning specific work (on unit of work) to fuel consumption a tractor unit, even when we are has the information of elemental energy consumption. It is recommended to evaluate the energy consumption of the tractor during the technological process behind the traction resistance of the machines by the difference in the acceleration of the tractor acceleration.

Keywords: tractor, agricultural machine, movement resistance, energy saving, acceleration, registration complex, precision farming.

Вступ. Трактор є основним елементом енерготехнологічного комплексу аграрного виробництва, на основі якого формуються агрегати різного технологічного призначення. Тягові властивості трактора визначають ступінь його пристосованості, як тягового засобу, або приведення в дію приєднаних до нього сільськогосподарських машин. Теоретичні питання оцінки тягових властивостей базуються на визначні тягового ККД трактора, який дозволяє оцінити частину потужності ДВЗ, що витрачається на рух трактора. В відомих дослідженнях запропоновано оцінювати тягові властивості за їх опорно-зчіпними властивостями без врахування стохастичних умов експлуатації та режимів робочого ходу. Експериментальні методики обґрунтування тягово-швидкісних властивостей трактора передбачають виконання великого обсягу досліджень. Тому необхідно провести аналіз методик та засобів відповідних досліджень з обґрунтуванням напрямків подальшого удосконалення та збільшення швидкості їх проведення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Трактори загального призначення застосовуються під час виконання енергоємних агротехнологічних процесів основної обробки ґрунту, культивуації, сівби тощо, зокрема у складі комбінованих і транспортно-технологічних агрегатів [1]. Паливна економічність тракторів, що визначає їх енергозбереження, залежить від сукупного впливу значної кількості різних факторів [2]:

- *конструктивних* – паливної економічності двигуна, енергонасиченості і тягового ККД трактора, підбору передач, способу управління режимом роботи, параметрів машин-знарядь та їх відповідності параметрам трактора, способу агрегаткування, типу управління режимом руху МТА, конструкції робочих органів агрегатованої машини-знаряддя і необхідних витрат енергії на виконання роботи;

- *експлуатаційно-організаційних* – комплектування МТА і вибору режиму їх роботи, організації виконання робіт, рівня технологічного обслуговування МТА;
- *виробничих і ґрунто-кліматичних умов* – конфігурації і рельєфу полів, фізико-механічних властивостей ґрунту, які впливають на рівень енергоспоживання як трактора, так і агрегатуємої машини-знаряддя, властивостей рослин, що обробляються, кліматичних характеристик за цикл виконання робіт.

Вплив кожного із названих факторів виражається не елементарним числом, а складною, часто багатофакторною залежністю. Саме цьому до цих пір не запропоновано розрахункового методу визначення очікуваної питомої (на одиницю роботи) витрати палива МТА навіть при наявності відомостей про окремі поелементні витрати енергії.

У роботі [3] робиться висновок, що поліпшення паливної економічності трактора шляхом підбору раціональних режимів роботи двигуна може бути досягнуто декількома способами:

- використання знижених частот обертання колінчастого валу за допомогою наявного всережимного регулятора;
- зміною коректорної ділянки характеристики двигуна з забезпеченням «постійної потужності», що особливо доцільно при роботі з високим ступенем навантаження.

На вітчизняних тракторах реалізація даних способів можлива, але рідко застосовується як за відсутності приладу, що вказує ступень завантаження двигуна, так й через неможливість подолання великих тимчасових навантажень.

У роботі [4] оцінку енергетичних параметрів МТА визначають як за тяговим зусилля, так і за моментом на валу двигуна, застосовуючи у якості одного з основних критеріїв ефективності мінімум прямих енерговитрат $E_n \rightarrow \min$. Методика оцінки E_n достатньо повно відображена у роботі [5], але вона не враховує специфіку сільськогосподарських агрегатів і не завжди придатна для прогнозування кількісних характеристик енерговитрат з високим ступенем точності.

В основу запропонованого у роботі [6] критерію оптимальності МТА за енерговитратами покладені математичні очікування його годинної продуктивності і витрати палива, ефективної потужності двигуна, для визначення яких необхідна серія експериментальних досліджень. Викликає сумнів можливість застосування даної методики для комбінованих сільськогосподарських агрегатів при передачі крутного моменту від двигуна одночасно на привод ведучих коліс трактора і ВВП.

Серед проблем енергетичної ефективності машин достатньо уваги приділено оцінці впливу стійкості їх руху на енерговитрати. У роботі [7] робиться висновок, що поняття стійкості руху і енергетичної ефективності мобільних агрегатів має стохастичний характер. Стійкість поступального руху даних агрегатів залежить не від абсолютних значень приведенного моменту інерції (ПМІ), енергоємності і енергонасиченості, а від їх співвідношення, рівня перешкод і параметрів механічної характеристики двигуна, що забезпечені існуванням стаціонарних режимів руху агрегату.

Висновок у роботі [4] про додаткові витрати енергії на нерівномірність руху мобільних машин підтверджені при оцінці енергетичного потенціалу мобільного сільськогосподарського агрегату. У роботі [8] оцінюється енергетична ефективність роботи сільськогосподарських агрегатів за рівнем реалізації їх енергетичного потенціалу, який характеризує реактивні втрати потужності, викликані коливаннями силової і кінематичної складових агрегату. В якості оціночного показника енергетичного потенціалу запропоновано коефіцієнт $\cos\varphi$ енергетичного узгодження між силовою і кінематичною складовими потужності, так і від частот їх коливань. Величина даного коефіцієнту для різних сільськогосподарських агрегатів знаходиться у межах 20-40 %, тобто можна стверджувати, що енергетичний потенціал корисно витрачається на 60-80 %. Дана методологія може бути ефективною при дослідженні енергозбереження МТА та при оцінці динаміки як окремих елементів, наприклад трактора, так і всього агрегату при виконанні технологічного процесу. У даному випадку, оскільки динамічна система «агрегат – зовнішнє середовище» дуже складна, спочатку розробляються і

в подальшому використовуються типові функціональні моделі складових елементів МТА, які враховують їх конструктивні особливості та характерні режими руху. Для даних елементів складаються математичні моделі, які відображають МТА як динамічну систему у взаємозв'язку із енерговитратами.

Наприклад, математична модель двигуна внутрішнього згорання повинна описуватися залежністю крутного моменту двигуна від частоти обертання колінчастого валу і положення органу керування подачею палива [9]. Збурюючу дію з боку зовнішнього середовища повно описано у літературних джерелах [6, 9].

Мета та постановка задачі. Метою є аналіз критеріїв для оцінки енергозбереження, які базуються на різних показниках при поступальному русі трактора постійної маси та обґрунтування найбільш значимого (визначального) показника енергозбереження трактора при виконанні технологічного процесу.

Результати досліджень. У останні роки оновлення тракторного парку в аграрному секторі України виконується за рахунок імпорту тракторів закордонних фірм. При адаптації моторно-трансмісійних установок до різних тракторів розв'язується задача їх енергетичної забезпеченості меншою кількістю моделей двигунів і модифікацій трансмісій [10]. При цьому двигуни уніфікуються за коефіцієнтом крутного моменту K (відношення максимального моменту двигуна до номінального) і трансмісії – за нерозривністю потоку енергії, що передається від двигуна до споживача (робочим органам, рушій). При $K = 1,4 \dots 1,5$ двигуни постійної потужності (ДПП), вживані на більшості тракторів закордонних фірм, наприклад John Deere 8335R, Case IH Magnum 340 та New Holland T8.390, найбільш затребувані на ринку України, на даних тракторах здійснюється автоматичне регулювання швидкості руху тракторного агрегату залежно від зміни опору руху (навантаження). В реальній експлуатації при виконанні тракторним агрегатом сільськогосподарських технологічних операцій його навантаження змінюється у межах 10...30 %. Тому макроколивання можуть відстежуватися ДПП трактора лише у тому випадку, якщо буде забезпечений необхідний набір передач з певними перепадами між сусідніми передачами.

Аналіз відомих наукових робіт і публікацій по енергозбереженню тракторів загального призначення [4, 8, 9] показав, що витрата енергії даних тракторів істотно залежить від їх швидкісного режиму. Для оцінки їх енергозбереження запропоновані різні критерії, які базуються на різних показниках при поступальному русі трактора постійної маси. Для даних агрегатів назріла необхідність обґрунтування *найбільш значимого* (визначального) показника енергозбереження трактора при виконанні технологічного процесу. Таким показником може бути опір машин і знарядь, які агрегуються з трактором, що обґрунтовано академіками Горячкиним В.П. і Василенко П.М. Даний опір залежить від наступних факторів: типу машини, (плуг, сівалка, культиватор та ін.); технологічного режиму (глибина обробітку, кут розвалу та ін.); кількості машин в агрегаті, швидкості руху агрегату; фізико-механічних властивостей ґрунту. Даний опір оцінюється за їх питомого опору, що визначається за відношенням тягового опору (кН) до ширини захвату (м) машини, що агрегуються з трактором, тобто кН/м [11].

Всі заходи по зниженню питомого опору сільгоспмашин можна розбити на наступні групи:

конструктивні – застосування навісних машин і машин обладнаних пневматичними шинами низького тиску; еластична підвіска; поліпшення якості робочих органів за рахунок спеціальних покриттів, зміна їх форми і т.д.; заміна, по можливості, тертя ковзання тертям кочення; зменшення ваги машини і т.д.;

технологічні – вдосконалення робочих органів у відповідності із вимогами технологічного процесу; суміщення процесів і т.д.;

експлуатаційні – своєчасне технічне обслуговування машин, правильна причіпка або навішування машин; підбір у відповідності з технологічним процесом та умовами роботи.

Істотний вклад у науковому обґрунтуванні і створенні машин та знарядь з зниженим опором руху при виконанні агротехнологічного процесу у рослинництві внесли вітчизняні вчені Василенко П.М., Погорілий Л.В., Кушнар'ов А.С.

Методи вимірювання опору машини, що агрегуються з трактором, базуються в основному на методиках випробувань [12, 13] із застосуванням механічних або гідравлічних тягових динамометрів, тензометричних тягових ланок з використанням динамометричного трактора. Методика випробувань передбачає протягування трактора з навісною або напівнавісною машиною, робочі органи якої заглиблені у ґрунт, більш потужним трактором-тягачем. При цьому двигун, що не працює від трансмісії відключений. Тяговий динамометр, динамограф або тензоланка, що використовуються у якості силовимірюючого пристрою, розташовується між двома тракторами. Потім дослід повторюють при знятому або піднятому у транспортне положення знарядді для визначення опору трактора, який створюється при його перекочуванні. Різниця вимірів дозволяє визначити опір машини, що агрегуються з трактором. Даний метод характеризується підвищеною трудомісткістю і похибкою вимірювання.

Практика ставить перед наукою задачі визначення опору машин, що агрегуються з трактором при виконанні технологічного процесу.

Запропоновано [14] визначення опору сільськогосподарських машин за допомогою методу парціальних прискорень при рішенні оберненої задачі динаміки: при відомому прискоренні агрегату оцінюється опір його руху. Під час розгону тракторного агрегату сила тяги трактора P_T витрачається на подолання опору P_c і моменту інерції сільськогосподарських машин. В даному випадку рівняння руху тракторного агрегату має вид

$$\dot{V}_T = P_T - P_c, \quad (1)$$

де m_{cm} – приведена маса сільськогосподарської машини, \dot{V}_T – лінійне прискорення трактору.

З рівняння (1) отримаємо:

$$P_c = P_T - m_{cm} \dot{V}_T. \quad (2)$$

Під час розгону трактора без сільськогосподарської машини з прискоренням \dot{V}_{xx} і із сільськогосподарською машиною з прискоренням \dot{V}_T оцінюється залежністю:

$$m_T \dot{V}_T = m_T \dot{V}_{xx} - P_c - m_{cm} \dot{V}_T. \quad (3)$$

За даною залежністю отримаємо:

$$P_c = m_T \dot{V}_{xx} - \dot{V}_T - (m_T + m_{cm}). \quad (4)$$

Таким чином, сила опору сільськогосподарської машини при відомих масах трактора і сільськогосподарської машини визначається на горизонтальному агрофоні оброблюваного поля за різницею прискорень розгону трактора без сільськогосподарської машини і з машиною в роб очому положенні.

Для оцінювання прискорень руху тракторного агрегату на гоні ефективний вимірювально-реєстраційний комплекс, розроблений за участі автора даної статті, основою якого є ємкісні акселерометри ММА 7260 QT із трьома робочими осями і межею вимірювання $\pm 1,5g$ (рис. 1) [15]. Даний комплекс використовується для визначення тягово-динамічних властивостей мобільних машин, у тому числі тракторів у складі ґрунтообробних агрегатів. Можна припустити, що даний комплекс буде ефективний у системі точного землеробства України.

Суть точного землеробства [16] у тому, що обробка полів здійснюється у залежності від реальних потреб вирощуваних у даному місці культур. Дані потреби визначаються за допомогою сучасних інформаційних технологій, включаючи супутникові технології, камери, лідари та ін. При цьому засоби обробки інформації диференціюються у межах різних ділянок поля, даючи максимальний ефект при мінімальній шкоді навколишньому середовищу і зниженні витрати добрив, хімікатів у рослинництві, паливо-мастильних матеріалів тракторів, комбайнів і т.д. Точне землеробство – це комплексна високотехнологічна система сільськогосподарського менеджменту, що включає в себе технології глобального позиціонування (GPS) з автоматизованими комплексами управління режимами роботи і напрямками руху трактора.



Рис. 1 – Розміщення вимірювально-реєстраційного комплексу в кабіні трактора
1 – датчики прискорень; 2 – ПК для зняття та архівації даних

Даний комплекс використовується для визначення тягово-динамічних властивостей. У теперішній час всі світові лідери по виробництву тракторів, сільгоспмашин (John Deere, Claas, Case IH та ін.) комплектують свою техніку навігаційною системою GPS. Дана система затребувана у зв'язку з тим, що забезпечує економію коштів. У Європі, наприклад, підраховано, що економічний ефект від застосування GPS-обладнання досягає 50-60 євро на гектар. Крім цього, користувач даного обладнання отримує можливість проводити польові роботи вночі, в тумані, при підвищеній запиленості і т.д.

В Україні лише невелика кількість агрофірм застосовує систему GPS при виконанні агротехнологічних процесів виробництва сільгосппродукції. Це пов'язано у першу чергу з фінансовим труднощами при впровадженні даної системи. На сучасному етапі впровадження точного землеробства у аграрному секторі України найбільш ефективними можуть бути системи по забезпеченню стійкості і напрямку руху тракторних агрегатів з системою GPS.

Одночасно на основі аналізу інформації Агрі Ленд [16] необхідно відмітити, що проблема енергозбереження тракторних агрегатів з системою GPS при несталому русі не освітлена. Необхідність наукового обґрунтування даної проблеми відмічена за результатами експериментальних досліджень трактора John Deere 8430 (N_e – 186 кВт) з системою GPS при агрегуванні з дисковою бороною John Deere 637 (рис. 2, 3) [17].

Розглядаючи поздовжній рух агрегату John Deere 8430 +John Deere 637, оцінюваний за допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу (рис. 1), можна відзначити його збурений рух на етапах розгону, несталого руху і гальмування. У цьому випадку енерговитрати агрегату пропонується оцінювати за залежністю:

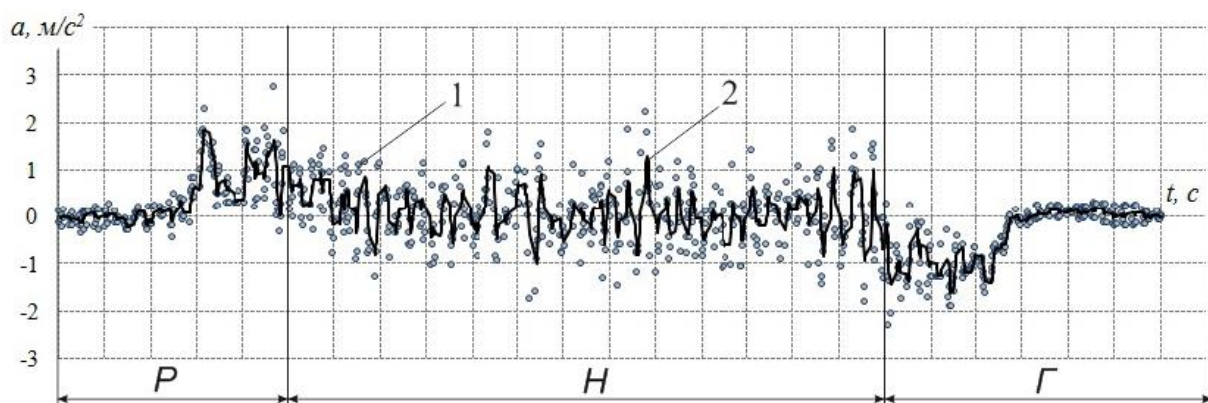
$$E_{ar} = \int_0^{\infty} N_{ar}(t) dt, \quad (5)$$

де $N_{ar}(t) = m_{az} \frac{dV_{ar}}{dt} V_{az}(t)$ – потужність, яка необхідна для руху агрегату; m_{az} , V_{az} – відповідно маса та швидкість руху агрегату.

Доведено, що додаткові витрати енергії під час несталого руху агрегату на гоні складають 2-3 % від загальних енерговитрат.



Рис. 2 – Загальний вигляд ґрунтообробного агрегату John Deere 8430 + John Deere 637



1 – масив експериментальних значень прискорень; 2 – відфільтровані значення прискорень. Режими руху: Р – розгін; Н – несталий; Г – гальмування

Рис. 3 – Фрагмент графіку поздовжніх прискорень агрегату John Deere 8430 + John Deere 637

Визначення зазначених додаткових енерговитрат при несталому русі тракторного агрегату не передбачене чинною нормативною документацією, внаслідок цього немає можливості обґрунтувати напрямки їх модернізації та ефективної експлуатації.

Рішення даної наукової проблеми актуально при адаптації тракторів у систему точного землеробства є необхідною складовою подальшого розвитку цих систем та підвищення енергозбереження трактора.

Висновки. Енергозбереження трактора визначається його паливною економічністю, для оцінки якої у відомих публікаціях запропоновані різні методи і засоби. Проте, до цих пір не обґрунтовано метод визначення питомої (на одиницю роботи) витрати палива тракторним агрегатом навіть за наявності відомостей поелементної витрати енергії.

Пропонується оцінювати енерговитрати трактора при виконанні технологічного процесу за питомим тяговим опором сільськогосподарських машин, що агрегуються за різницею прискорень розгону трактора без сільськогосподарської машини та з машиною в робочому положенні.

Залишається невирішеною проблема енергозбереження тракторних агрегатів з GPS у системі точного землеробства.

Список літератури

1. Ринок сільськогосподарської техніки України: торгові марки, імпортери, тенденції // Публікації маркетингової агенції «Марком» [Електронне джерело]. – Режим доступу: <http://markom.freshart.jrg.ua/ru/press/r/>.
2. Трепенников И.И. О топливной экономичности машиннотракторных агрегатов //И.И. Трепенников, С.С. Сафронов// Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1984. № 1. С. 1-3.
3. Взоров Б.А. Снижение расхода топлива сельскохозяйственными тракторами путем оптимизации режимов работы двигателей / Б.А. Взоров, К.К. Молчанов, И.И. Трепенников // Тракторы и сельхозмашины. 1985. №6. С. 10-14.
4. Шуляк М.Л. Методи використання надлишкової потужності двигуна енергонасиченого трактора / М.Л. Шуляк // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип.146. С. 219-226.
5. Методика енергетичного аналізу технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві / А.Н. Никифоров и др. М.:РИО ВИМ, 1995. 95 с.
6. Агеев Л.Е. Оптимизация энергетических параметров МТА / Л.Е. Агеев, Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. №2. С.19-20.
7. Погорелий Л.В. Стійкість руху та енергетична ефективність мобільних машинних агрегатів /Л.В. Погорелий. М. : Доповіді ВАСХНИЛ, 1980. № 8. С. 33-35.
8. Левцев А.П. Алгоритм расчета энергетического потенциала СХА / А.П. Левцев, А.Г. Ванин, С.А. Мальцев, К.А. Миндров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006. № 4. С. 28-31.
9. Динамика транспортно-тяговых колесных та гусеничных машин / Е. Е. Александров, Д. О. Волонцевич, В. А. Карпенко, А. Т. Лебедев, В. А. Перегон, В. Б. Самородов, А. Н. Туренко; ред.: А. Н. Туренко. Х.: Изд-во ХГАДТУ (ХАДИ), 1996. 252 с.
10. Ребров О.Ю. Зовнішні швидкісні характеристики тракторних двигунів постійної потужності / О.Ю. Ребров // Механіка та машинобудування. Харків: НТУ «ХПІ». 2009. №2. С. 79-86.
11. Трактори Теорія. Підручник для студентів вузів / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; під заг. ред. В.В. Гуськова. М. : Машинобудування, 1988. 376 с.
12. Погорелий Л.В. Інженерні методи випробувань сільськогосподарських машин / Л.В. Погорелий. К. : Техніка, 1981. 176 с.
13. Випробування сільськогосподарської техніки – основне завдання DLG // Profi International. Tractors and Farm Machinery. 2021. №11. С. 13-16.
14. Лебедев А.Т. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів / А.Т. Лебедев, С.А. Лебедев, А.І. Коробко; Під ред. А.Т. Лебедева. Харків : Вид-во «Міськдрук», 2018. 394 с.
15. Артемов Н.П. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец, А.И. Коробко, В.В. Задорожная; под ред. Подригало М. А. Х. : Міськдрук, 2012. 220 с.
16. Агрі Ленд – Технології точного землеробства [Електронне джерело]. Режим доступу: [Агрі Ленд – Технології точного землеробства \(agriland.ua\)](http://Agriland.com.ua/).
17. Лебедев А.Т. Сучасні проблеми теорії трактора / А. Лебедев // Техніка і технології АПК. 2021. № 1 (118). С. 20-25.

References (transliterated):

1. Rynok silskohospodarskoi tekhniki Ukrainy: torhovi marky, importery, tendentsii // Publikatsii marketynhovoї ahentsii «Markom» [Elektronne dzhereło]. – Rezhym dostupu: <http://markom.freshart.jrg.ua/ru/press/r/>.
2. Trepennykov Y.Y. O toplyvnoi ekonomychnosti mashynnotraktornukh ahrehatov //Y.Y. Trepennykov, S.S. Safronov// Traktoru y selskokhoziaistvennue mashynu. 1984. № 1. S. 1-3.
3. Vzorov B.A. Snyzhenye raskhoda toplyva selskokhoziaistvennumy traktoramy putem optymyzatsyy rezhymov rabotu dyvhatel'ei / B.A. Vzorov, K.K. Molchanov, Y.Y. Trepennykov // Traktoru y selkhoz mashynu. 1985. №6. S. 10-14.
4. Shuliak M.L. Metody vykorystannia nadlyshkovoi potuzhnosti dyvhuna enerhonasychenoho traktora / M.L. Shuliak // Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Kharkiv: KhNTUSH, 2014. Vyp.146. S. 219-226.
5. Metodyka enerhetychnoho analizu tekhnolohichnykh protsesiv u silskohospodarskomu vyrobnytstvi / A.N. Nykyforov y dr. M.:RYO VYM, 1995. 95 s.
6. Aheev L.E. Optymyzatsiya enerhetycheskykh parametrov MTA / L.E. Aheev, N.Y. Dzhaborov, V.A. Эвиев // Traktoru y selskokhoziaistvennue mashynu. 2004. №2. S.19-20.
7. Pohorelyi L.V. Stiikist rukhu ta enerhetychna efektyvnist mobilnykh mashynnykh ahrehativ /L.V. Pohorelyi. M. : Dopovidi VASKhNYL, 1980. № 8. S. 33-35.
8. Levitsev A.P. Alhorytm rascheta enerhetycheskoho potentsyala SKhA / A.P. Levitsev, A.H. Vanyn, S.A. Maltsev, K.A. Myndrov // Traktoru y selskokhoziaistvennue mashynu. 2006. № 4. S. 28-31.
9. Dynamika transportno-tiahovykh kolisnykh ta husenychnykh mashyn / E. E. Aleksandrov, D. O. Volontsevych, V.

- A. Karpenko, A. T. Lebedev, V. A. Perehon, V. B. Samorodov, A. N. Turenko; red.: A. N. Turenko. Kh.: Yzd-vo KhHADTU (KhADY), 1996. 252 c.
10. Rebrov O.Iu. Zovnishni shvydkisni kharakterystyky traktornykh dvyhuniv postiinoi potuzhnosti / O.Iu. Rebrov // Mekhanika ta mashynobuduvannia. Kharkiv: NTU «KhPI». 2009. №2. S. 79-86.
 11. Traktory Teoriia. Pidruchnyk dlia studentiv vuziv / V.V. Huskov, N.N. Velev, Yu.E. Atamanov y dr.; pid zah. red. V.V. Huskova. M. : Mashynobuduvannia, 1988. 376 s.
 12. Pohorelyi L.V. Inzhenerni metody vyprobuvan silskohospodarskykh mashyn / L.V. Pohorelyi. K. : Tekhnika, 1981. 176 s.
 13. Vyprobuvannia silskohospodarskoï tekhniky – osnovne zavdannia DLG // Profi International. Tractors and Farm Machinery. 2021. №11. S. 13-16.
 14. Lebedev A.T. Kvalimetriia ta metrolohichne zabezpechennia vyprobuvan traktoriv / A.T. Lebedev, S.A. Lebedev, A.I. Korobko; Pid red. A.T. Lebedeva. Kharkiv : Vyd-vo «Miskdruk», 2018. 394 s.
 15. Artemov N.P. Metod partsyalnukh uskorenyi y eho prylozheniia v dynamyke mobylnukh mashyn / N.P. Artemov, A.T. Lebedev, M.A. Podryhalo, A.S. Polianskyi, D.M. Klets, A.Y. Korobko, V.V. Zadorozhnaia; pod red. Podryhalo M. A. Kh. : Miskdruk, 2012. 220 s.
 16. Ahri Lend – Tekhnolohii tochnoho zemlerobstva [Elektronne dzherelo]. Rezhym dostupu: Ahri Lend – Tekhnolohii tochnoho zemlerobstva (agriland.ua).
 17. Lebedev A.T. Suchasni problemy teorii traktora / A. Lebedev // Tekhnika i tekhnolohii APK. 2021. № 1 (118). S. 20-25.

Надійшла (received) 10.12.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Лебедєв Анатолій Тихонович (Lebedev Anatoliy) – доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет, професор кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>; tiaxntusg@gmail.com

Шуляк Михайло Леонідович (Shuliak Mykhailo) – доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет, завідувач кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7286-6602>; m.l.shulyak@gmail.com

Рапута Вадим Валерійович (Raputa Vadim) – Сумський національний аграрний університет, аспірант кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1016-1601>; V.Raputa89@gmail.com