

УДК 631.3-52

Лебедев С., директор, канд. техн. наук (Харківський філіал УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

Споживчі якості енергонасичених тракторів для рослинництва

Виконано аналіз енергонасиченості тракторів вітчизняних та зарубіжних виробників. Визначено, що підвищення енергонасиченості трактора знижує енерговитрати на виконанні технологічних операцій.

Ключові слова: трактор, енергонасиченість, споживчі якості, рослинництво.

Суть проблеми. В умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку тракторів дуже важливим є вирішення проблеми підвищення їх споживчих якостей, що відображають поєднання технічних параметрів тракторів з конкретними умовами їх експлуатації. Вирішення цієї проблеми особливо важливе для України, до тракторного ринку якої в останні роки виявляють особливий інтерес транснаціональні компанії CNH і AGCO, що випускають різні моделі тракторів – Case, New Holland, Fendt та інші, а також найбільші компанії John Deere і Claas. В

умовах, коли кількість тракторів у сільському господарстві України в останні роки постійно знижується, а вітчизняні трактори за своїми експлуатаційно-технологічними показниками не повною мірою задовольняють споживача, прогнозується оновлення тракторного парку України за рахунок імпорту тракторів зарубіжних фірм. За даними Держкомстату України, обсяг імпорту тракторів в Україну за останні шість років збільшився майже в п'ять разів, у той час коли власне виробництво зросло лише у 1,5 рази. В таких умовах актуальним є вирішення

проблеми оцінки споживчих якостей тракторів вітчизняних і зарубіжних виробників.

Результати досліджень. Однією з основних проблем тракторної енергетики на сучасному етапі є обґрунтування необхідного рівня енергонасиченості тракторів для сільськогосподарського виробництва, який визначається співвідношенням потужності двигуна і маси трактора [1-3]. Споживчі якості тракторів за енергонасиченістю, що оцінюються з урахуванням їх конструкційної ефективності при забезпеченні максимальної ефективності технологічного процесу в конкретних умовах експлуатації, є одним з напрямків підвищення якості продукції, відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000 [4].

Якість є більш широким показником, ніж конструкційна ефективність. Якість тракторів визначають за їх конструкційною ефективністю, що пов'язана з пристосованістю до виконання технологічного процесу та привабливістю для покупця як товару. Оскільки оцінка ефективності та конструкційної якості істотно залежать від умов експлуатації, то рівень якості (технічний рівень) одного і того ж трактора буде різний у різних умовах експлуатації. У цьому випадку втрачається сенс «номінальних параметрів» конструкції, оскільки в кожному конкретному випадку використання трактора необхідні параметри конструкції будуть індивідуальні і можуть бути отримані за рахунок збільшення числа модифікацій і застосування принципу різноманітної комплектації. Тільки цим, очевидно, можна пояснити те, що тракторні компанії Заходу зазвичай випускають трактори серіями, в кожній по кілька моделей, які незначною мірою відрізняються за потужністю. Наприклад, лише за останні п'ять років на світовому ринку були запропоновані і проходили випробування на полігоні тракторної лабораторії інституту сільського господарства та природних ресурсів штату Небраска (Nebraska Tractor Test Laboratory, USA) і Німецькому сільськогосподарському товаристві (DLGev) 554 моделі тракторів, з них John Deere – 104 моделі, New Holland – 92, Case-IH – 83, Massey Ferguson – 104, Challenger – 64 та ін. [5]. В УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, що є головною організацією Міністерства аграрної політики та продовольства України з питань випробування тракторів, за цей період було проведено 15 приймальних випробувань тракторів. На сучасному ринку тракторів кращі споживчі якості буде мати трактор, найбільш пристосований до конкретних умов експлуатації, з урахуванням енергонасиченості, площі оброблюваних земель, технології вирощування сільськогосподарських культур і т.ін. Запропоновано [2] оцінювати енергонасиченість конкретної моделі трактора шляхом порівняння з еталонною енергонасиченістю $E_{те}$, яка визначається з відношення ефективної потужності двигуна $N_{еп}$ за номінального тягового навантаження і швидкості на стерні колосових, до експлуатаційної ваги $G_{тр}$ трактора без баласту:

$$E_{те} = N_{еп} / G_{тр} \quad (1)$$

На виконанні тракторами енергоємних технологічних операцій (оранка, чизелювання, робота з важкою дисковою бороною) із залежності (1) отримано показники енергонасиченості для колісних тракторів 4К4 $E_{те} = 1,5$ кВт/кН і гусеничних – $E_{те} = 1,4$ кВт/кН.

Являє інтерес порівняння енергонасиченості тракторів, що пройшли випробування в Небрасці (США) і DLGev (Німеччина) за останні п'ять років [5], а також вітчизняних тракторів з еталонною енергонасиченістю. Аналіз енергонасиченості 554 моделей і модифікацій тракторів закордонних фірм, які за останні п'ять років пройшли випробування в Небрасці (США) і DLGev (Німеччина) і були представлені на ринок, показав, що розподіл енергонасиченості тракторів підпорядковується нормальному закону розподілу зі щільністю ймовірності:

$$f(E_T) = \frac{1}{\sigma_{E_T} \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(M_{E_T} - E_T)^2}{2 \sigma_{E_T}^2}} \quad (2)$$

де M_{E_T} , σ_{E_T} – математичне очікування і середньоквадратичне відхилення енергонасиченості.

Для обсягу вибірки зарубіжних тракторів $N = 554$, що пройшли випробування, маємо найбільш затребувану енергонасиченість трактора $E_T = 1,715$ кВт/кН (рис. 1).

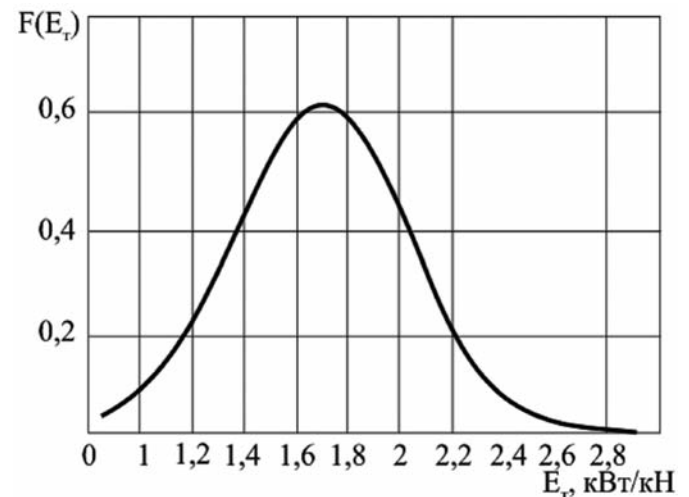


Рис. 1 – Розподіл щільності ймовірності $f(E_T)$ енергонасиченості E_T вибірки тракторів закордонного виробництва

Аналіз енергонасиченості закордонних тракторів показує, що більшість фірм представляє на ринок трактори з енергонасиченістю $E_T = 1,715$ кВт/кН. Вітчизняні трактори хоч і поступаються за енергонасиченістю закордонним моделям, але в основному перевищують еталонні показники: Білорусь-920 і Білорусь-892 мають $E_T = 1,61$ кВт/кН і $E_T = 1,66$ кВт/кН; ХТЗ-17221-09 – $E_T = 1,81$ кВт/кН; ТЯ-200 «Ярило» – $E_T = 1,54$ кВт/кН; ХТА-200 «Слобожанец» – $E_T = 1,84$ кВт/кН; Коваль 5300 – $E_T = 1,56$ кВт/кН. Найбільшу енергонасиченість серед вітчизняних тракторів мають трактори КИЙ-14102 ($E_T = 2,02$ кВт/кН) і ХТА-200 «Слобожанец» ($E_T = 2,1$ кВт/кН); найменшу – ЮМЗ-82 ($E_T = 1,4$ кВт/кН).

Аналіз за потужністю двигуна 554 моделей і модифікацій тракторів закордонних фірм, які за останні п'ять років пройшли випробування в Небрасці (США) і DLGev (Німеччина) та були представлені на ринок, показав, що розподіл потужності двигуна підпорядковується логарифмічно нормальному закону розподілу зі щільністю ймовірності:

$$f(N_e) = \frac{1}{\sigma_u \sqrt{2 \cdot \pi}} e^{-\frac{(\ln(N_e) - M_u)^2}{2\sigma_u^2}}, \quad (3)$$

де M_u , σ_u – відповідно математичне очікування і середньоквадратичне відхилення потужності тракторних двигунів.

Статистичні дані щодо розподілу потужності двигунів тракторів закордонних фірм, що постачаються в останні роки на ринок України, свідчить про те, що покупцем найбільш затребувані трактори $N_e = 105,4$ кВт (рис. 2).

Закордонні виробники тракторів здебільшого пропонують покупцю трактори з потужністю двигуна 50-150 кВт [6], хоча спостерігається останнім часом стрімке зростання продажу тракторів з потужністю двигуна понад 150 кВт – в Німеччині, Франції та в передкризові роки в Росії [6] (табл. 1).

Кравчук В.І. обґрунтував алгоритм розвитку сільськогосподарського машинобудування на сучасному етапі, який передбачає в 2012-2015 рр. пріоритетне зростання виробництва тракторів з потужністю двигуна 50-200 кВт [7].

Фахівці пояснюють [8] підвищений попит покупця на трактори великої потужності насамперед появою нових технологій сільськогосподарського виробництва, що вимагають високої потужності двигуна трактора. Наприклад, технологія з використанням високопродуктивних комбінованих посівних агрегатів, що дозволяють за один прохід виконати передпосівний обробіток, точний посів, нормоване внесення добрив і прикочування посівів; технології точного землеробства із застосуванням навігаційної системи GPS для забезпечення точного водіння широкозахватних агрегатів і т.ін. Тенденція до зростання числа потужних тракторів в парку країн ЄС пояснюється також укрупненням окремих сільськогосподарських підприємств, обробкою земель об'єднаними силами декількох господарств і розвитком системи колективного користу-

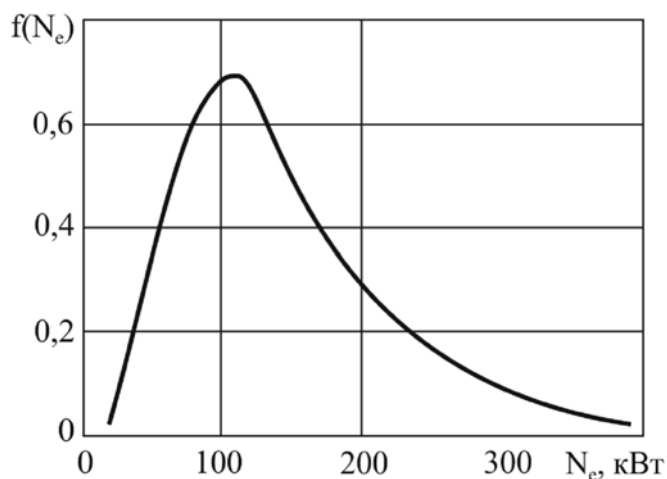


Рис. 2 – Розподіл щільності ймовірності $f(N_e)$ потужності двигунів вибірки тракторів закордонного виробництва

Таблиця 1

Розподіл потужності двигунів закордонних тракторів

Інтервал потужності двигуна, кВт	< 5	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	> 400
Частка потужності двигуна в інтервалі, %	3,6	26,3	25,4	16,3	14,2	5,0	4,5	3,2	1,5

вання сільськогосподарськими машинами.

Виробництво тракторів в Україні перебуває в інтервалі потужності двигуна до 200 кВт (трактор «Коваль 5300»), хоча наявність в Україні на початок 2011 року агрохолдингів з площею орендної землі від 5 тис. га до 10 тис. га і більше (25% від Загальної площі ріллі) [9] призведе до імпорту потужних тракторів. У структурі тракторного парку сільськогосподарських підприємств України не випадково опинилися потужні трактори закордонних фірм John Deere, Claas, Case, хоча й купували, але в менших кількостях, і моделі інших фірм. Найбільшим попитом користувалися колісні повнопривідні з двома ведучими мостами трактори з класичним компонованням в діапазоні середньої (до 200 кВт) і високої потужності (200-300 кВт і більше).

Купуючи трактори закордонного виробництва, українські покупці в основному орієнтуються на популярність брендів фірм-виробників тракторів для села за недостатнього аналізу ринку тракторної техніки, оцінки експлуатаційно-технологічних показників тракторів у господарствах і результатів їх випробувань у спеціалізованих установах. Вирішення цих питань особливо важливе, зважаючи на те, що вартість закордонних тракторів перевищує у 3-4 рази вартість вітчизняних: вартість 1 к.с. вітчизняного трактора – 125-150 \$, а іноземного – 400-500 \$.

В умовах недостатньої оснащеності аграрного сектору України тракторами, потреба в яких, за даними Держкомстату України [9], забезпечена лише на 84%, дуже важливим є вирішення проблеми ефективного використання їх енергонасиченості. З цієї метою пропонується створення модульних енергетичних засобів змінного тягового класу [2, 3]; застосування на тракторах безступінчатих трансмісій, наприклад на тракторах фірми Fendt серії Vario, які, незважаючи на їх високу вартість, користуються великим попитом у Західній Європі; використання баластування і здвоєних (строєних) коліс трактора.

Для оцінки впливу енергонасиченості трактора на продуктивність і енерговитрати на основному обробітку ґрунту в Харківській філії УкрННПВТ ім. Л. Погорілого були проведені порівняльні випробування колісних тракторів ХТЗ-17221 (базовий) з дизелем ЯМЗ-236Д-3 (номінальна потужність $N_e = 128,7$ кВт) і ХТЗ-17224 з дизелем ЯМЗ-236НК ($N_e = 139,7$ кВт). Підвищення потужності дизеля ЯМЗ-236НК було досягнуто за рахунок застосування охолодження повітря, що нагнітається турбокомпресором. Це дозволило практично за однакової маси тракторів ХТЗ-17224 ($m_e = 8820$ кг) і ХТЗ-17221 ($m_e = 8760$ кг) отримати енергонасиченість першого трактора $E_r = 1,61$ кВт/кН, другого – $E_r = 1,50$ кВт/кН. Трактори ХТЗ-17224 та ХТЗ-17221 під час експериментальних випробувань порівнювали за продуктивністю та енерговитратами з урахуванням ефективної енергонасиченості, яка визначається завантаженням двигуна під час виконання певного технологічного процесу (рис. 3, табл. 2).

Аналіз матеріалів таблиці 2 показує, що з підвищенням енергонасиченості трактора підвищується його продуктивність і знижуються енерговитрати. Наприклад, на оранці стерні озимої пшениці на глибину 30-32 см продуктивність агрегату ХТЗ-17224 + ПРУН-5-45 за

рахунок підвищення робочої швидкості зросла на 30% при зниженні енерговитрат на 7,3% в порівнянні з агрегатом ХТЗ-17221 + ПРУН-5-45. При зниженні енергоємності технологічного процесу зберігаються знижені енерговитрати агрегатів з трактором ХТЗ-17224.

Енергетичну ефективність A_r агрегатів оцінено шляхом порівняння енерговитрат базового $A_{nб}$ і порівнюваного A_n агрегатів при певному річному завантаженні T_r та продуктивності W_q на виконанні певної технологічної операції, тобто $A_r = (A_{nб} - A_n)T_r W_q$.

Під час випробувань тракторів ХТЗ-17224 та ХТЗ-17221 за 1395 годин роботи розподіл T_r за видами робіт склав: глибока оранка – 165 год і розпушування – 1030 год, культивування – 200 год. За такого річного завантаження тракторів економія енерговитрат і палива трактора ХТЗ-17224 в порівнянні з базовим трактором ХТЗ-17221 при еквіваленті 1 кг дизельного палива 42,9 МДж отримано: на глибокій оранці – 13558,05 МДж/агр (316,03 кг/агр), на глибокому розпушуванні – 105352,5 МДж/агр (2455,8 кг/агр), на культивуванні – 64829,6 МДж/агр (1464,5 кг/агр).

Відзначено, що підвищення енергонасиченості трактора на 0,1 кВт/кН призводить до зниження енерговитрат на 1 га на енергоємних технологічних операціях, наприклад на глибокій оранці з коефіцієнтом завантаження двигуна $\xi_N = 0,95-0,96$ – на 7-8%; на менш енергоємних процесах – наприклад, на культивуванні з коефіцієнтом завантаження двигуна $\xi_N = 0,83-0,84$ – на 20-22%.

Для підвищення ефективності використання енергонасиченості тракторів на багатьох тракторах закордонних фірм [5] застосовують багаторівневі двигуни і практично на всіх тракторах – двигуни постійної потужності (ДПП), для яких характерний високий коефіцієнт запасу крутного моменту (відношення максимального моменту двигуна до номінального). На тракторах з багаторівневими двигунами, наприклад Claas Axion 850 Cebis, John Deere 6534 Premium, New Holland T7070 AutoCommand, нижчий за потужністю (тяговий) рівень має високий запас крутного моменту, а вищий технологічний рівень – більшу на 20-25% потужність із меншим (на 8-12%) запасом крутного моменту. Це забезпечує рух тракторного агрегату з постійною швидкістю та меншими енерговитратами на змінному агрофоні. При застосуванні на тракторах ДПП з високим K (40-60% і більше); наприклад, трактор Case-IH Magnum 245 має ДПП з K , що становить 53,2%, Challenger MT645C IEGR – 60,8%, John Deere 7830 –

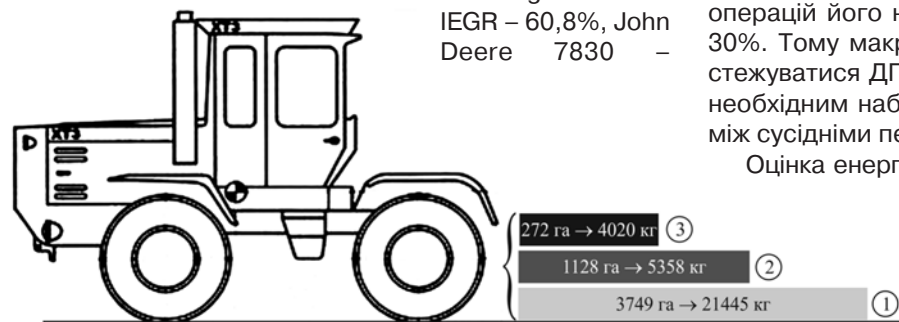


Рис. 3 – Обсяг (га) виконаних робіт і витраченого (кг) палива трактором ХТЗ-17224 за напрацювання 1395 мотогодин: 1 – глибоке розпушування; 2 – культивування, 3 – оранка на глибину 25-27 см

Таблиця 2
Експлуатаційно-технологічні показники тракторів ХТЗ-17224 та ХТЗ-17221

Технологічна операція	Значення параметра				
	Ефективна енергонасиченість, кВт/кН	Робоча швидкість, км/год	Змінна продуктивність, га/год	Витрати палива, кг/га	Енерговитрати, МДж/га
Глибока оранка (ПРУН-5-45) ХТЗ-17224 ХТЗ-17221	1,54 1,45	7,80 5,80	1,70 1,30	14,77 15,93	633,6 683,4
Глибоке розпушування (БГР-4,2) ХТЗ-17224 ХТЗ-17221	1,40 1,33	9,10 7,80	3,60 3,10	5,72 6,38	245,4 273,7
Культивування (КПЕ-6) ХТЗ-17224 ХТЗ-17221	1,35 1,26	9,38 9,35	5,60 5,60	4,75 6,05	203,8 259,5

45,9% і т.д., забезпечується приблизно стала максимальна потужність в значних інтервалах частот обертання колінчастого вала, суміщення області максимальної потужності з найбільш економічними режимами двигуна. Залежно від умов застосування трактора з ДПП рівень максимальної (постійної) потужності може змінюватись в межах 30-35% при відповідному виборі K . Це дозволяє ефективно використовувати їх не лише шляхом повного завантаження двигуна, але також і у випадках його неповного завантаження. З цією метою для підвищення споживчих якостей тракторів проводять їх випробування на часткових – 75- і 50-відсоткових завантаженнях за силою тяги [5]. Такі випробування виконують двома методами: на штатній передачі та повній подачі палива і на вищій передачі часткової подачі палива (тобто на меншій частоті обертання колінчастого вала двигуна). При цьому передачу і подачу палива підбирають таким чином, щоб сила тяги та швидкість трактора були найбільш близькі і відповідали заданим частковим завантаженням трактора.

На більшості вітчизняних тракторів серії ЮМЗ, МТЗ, Білорусь, КИЙ ХТЗ-170 встановлюються двигуни зі зниженим K (Д-240 – 20%, Д-243 – 23%, ЯМЗ-236Д – 15%, ЯМЗ-238КМ2 – 14%), що негативно впливає на енерговитрати виконуваного технологічного процесу. Проте на останніх моделях вітчизняних тракторів спостерігається тенденція встановлення двигунів з підвищеним коефіцієнтом запасу крутного моменту (приміром, на тракторі Білорусь-1221.2 встановлений двигун Д-260.2, що має K – 51%).

В реальній експлуатації під час виконання тракторним агрегатом сільськогосподарських технологічних операцій його навантаження змінюється в межах 10-30%. Тому макроколивання навантажень можуть відстежуватися ДПП трактора лише у разі забезпечення необхідним набором передач з певними перепадами між сусідніми передачами.

Оцінка енергетичних показників варіантів трансмісії орних та універсально-просапних енергосасобів свідчить на користь застосування ДПП із збільшеним діапазоном регулювання ($K = 1,3...1,4$) і механічної ступеневої трансмісії, що перемикається на ходу в діапазонах. Перепад (q) передавальних чисел

сусідніх передач (швидкостей) трансмісії для тракторів повинен бути $q \leq 1,4$. В такому випадку, наприклад, для орно-просапного трактора з діапазоном основної робочої швидкості 4-15 км/год і транспортної 15-40 км/год необхідно задіяти шість передач. У цьому разі забезпечується найбільш ефективно використання енергонасиченості трактора.

Висновки. Енергонасиченість трактора та ефективність її використання в експлуатаційних умовах є одним з основних його споживчих якостей, що визначають конкурентоспроможність трактора на світовому ринку.

Серед численних моделей і модифікацій тракторів, представлених на ринок в останні роки закордонними тракторними корпораціями і компаніями, переважають трактори з енергонасиченістю $E_T \geq 1,715$ кВт/кН і номінальною потужністю двигуна $N_e = 105,4$ кВт. Зарубіжні виробники тракторів пропонують покупцеві трактори в основному в інтервалі потужності двигуна 50-150 кВт, хоча спостерігається в останні роки зростання продажів тракторів з потужністю двигуна понад 150 кВт. Слід очікувати інтенсивного імпорту в Україну потужних тракторів, аналоги яких не випускаються вітчизняними виробниками.

Експлуатаційними випробуваннями тракторів тягового класу 30 кН серії ХТЗ-170 з різною енергонасиченістю було визначено, що підвищення енергонасиченості на 0,1 кВт/кН призведе до зниження енерговитрат на виконанні енергоємних технологічних операцій на 7-8% та на менш енергоємних – на 20-22%.

Одним з напрямків підвищення споживчих якостей показників тракторів за енергонасиченістю є вирішення проблеми адаптації енергонасиченості до технологічного процесу, що виконується з використанням двигунів постійної потужності.

Список літератури

1. Лебедев А. Тракторна енергетика: проблеми та їх розв'язання / А. Лебедев, В. Кравчук, С. Лебедев //

Техніка і технології АПК. – 2011. – № 2 (17). – С. 4-8.

2. Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов / Г.М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – № 5. – С. 11-14.

3. Надикто В. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації / В. Надикто // Техніка і технології АПК. – 2011. – №9(24). – С. 8-11.

4. ДСТУ ISO 9001: 2009 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001: 2008, IDT). – Київ: Держспоживстандарт України, 2009.

5. Електронні джерела [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://tractortestlab.unl.edu/> (Nebraska Tractor Test Laboratory), <http://www.dlg.org/> (DLG e.V. – Немецкое сельскохозяйственное общество).

6. Нефёдов А. Состояние мировых рынков сельскохозяйственных тракторов / А. Нефёдов // Основные средства. – 2010. – № 4. – С. 17-28.

7. Кравчук В. Алгоритм розвитку сільськогосподарського машинобудування на сучасному етапі / В. Кравчук // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 1 (28). – С. 6-9.

8. «AGRARTECHNIKbusiness». – 2009. – № 20. – Р. 1-6.

9. Сільське господарство України. Статистичний збірник [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

Аннотация. Выполнен анализ энергонасыщенности тракторов отечественных и зарубежных производителей. Определено, что повышение энергонасыщенности трактора снижает энергозатраты при выполнении технологических операций.

Summary. The analysis of energy-saturation of tractors of domestic and foreign producers is executed. It is got, that over the increase of energy-saturation of tractor will bring to the decline of energy-expense at implementation of technological operations.

Стаття надійшла до редакції 22 червня 2012 р.