

УДК 631.334

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ШИРОКОЗАХВАТНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Кухаренко П.М., к.т.н., доцент

(Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)

Запропоновані основні напрямки енергозбереження та підвищення надійності машин при агрегуванні широкозахватних сільськогосподарських знарядь і заходи по усуненню протиріччя між необхідністю зниження ваги сучасних тракторів зарубіжного виробництва та збереженням тягово-зчіпних властивостей рушіїв.

Вступ. Сучасні тенденції використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) у провідних господарствах України спрямовані на нарощування їх ширини захвату та підвищення швидкісного режиму руху. За рахунок цього досягається зростання продуктивності МТА. При цьому енергоємність технологічних операцій та надійність силових механізмів тракторів продовжує залишатися незадовільною.

Енергоємність технологічних сільськогосподарських операцій в значній мірі визначаються тяговим опором робочих машин та витратами тягової потужності трактора на його подолання. Для подолання високого тягового опору робочих машин продовжує широко використовуватися загальновідомий концептуальний підхід: більший тяговий опір робочих машин – більше тягове зусилля трактора. Для створення якого необхідна більша експлуатаційна вага трактора. Такий підхід породжує виникнення великих тягових навантажень на силові механізми трансмісії, що в свою чергу сприяє зменшенню їх експлуатаційної надійності.

Аналіз досліджень і публікацій. Як свідчать результати досліджень провідних вчених, спроби покращення вище названих показників через нарощування потужності двигунів на тракторах сільськогосподарського призначення себе не виправдали [3, 4, 5, 6, 7, 8]. На думку д.т.н., професора Надикто В.Т. способи покращення техніко-експлуатаційних показників МТА через нарощування ширини захвату та підвищення швидкісного режиму руху, на сьогодні практично реалізували свої резерви [6]. Тому на часі постало питання розробки більш перспективної системи агрегування, щоб належним чином відповідати новим вимогам.

Сучасний етап розвитку тракторів характеризується завершенням тягової і зародженням нової, тягово - енергетичної концепції їх створення. Для тягової концепції характерним є стале значення енергонасиченості (енергонасиченість для гусеничних тракторів - 10,8 кВт/т, для колісних - 14.8 кг/т) [6]. При цьому

реалізація зростаючої потужності тракторів, згідно тягової концепції, неможлива без пропорційного нарощування їх ваги [3, 4, 5, 6, 7, 8], що створює проблеми невідповідності вимогам агротехніки, в частині переущільнення ґрунту ходовими системами [3].

Збільшення ширини захвату МТА супроводжується зростанням його тягового опору. При використанні тракторів з високим рівнем потужності встановлених двигунів, які мають зовнішні швидкісні характеристики, що відповідають характеристиці двигуна постійної потужності (ДПП) діапазони тягових зусиль та швидкостей руху на робочих передачах повинні бути обмежені вимогами надійності силових механізмів [1]. Дані по узгодженню параметрів ДПП і трансмісії до умов роботи трактора свідчить про те, що діапазон тягових навантажень майже повністю реалізується при русі трактора на більш високій суміжній передачі [1]. Слід відмітити при цьому, що інтервали між передачами не повинні перевищувати 20%, завдяки чому буде забезпечуватись відносно високе використання потужності двигуна [1]. Для реалізації тягових навантажень, обумовлених вірогідним їх розподіленням, число робочих передач трансмісії, які можливо використовувати при роботі, можна зменшувати.

Мета досліджень. Оцінити можливість застосування основних положень по агрегуванню тракторів тягово-енергетичної концепції і визначити основні шляхи енергозбереження та підвищення надійності силових механізмів тракторів при агрегуванні широкозахватних сільськогосподарських знарядь.

Результати досліджень. Відомо, що техніко-економічні показники машинно-тракторних агрегатів, перш за все залежать від техніко-економічних показників двигуна трактора.

$$W_2 = (0.36 \cdot N_{ен} \cdot \xi_{NT} \cdot \xi_B \cdot \eta_{ТН} \cdot \tau) / k_a, \quad (1)$$

де W_2 – годинна технічна продуктивність агрегату, га/год;

$N_{ен}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

$\eta_{ТН}$ – ККД трансмісії;

ξ_{NT} – коефіцієнт використання тягової потужності;

ξ_B – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату агрегату;

τ – коефіцієнт використання робочого часу зміни;

k_a – питомий тяговий опір знарядь, кН/м.

Таким чином годинна технічна продуктивність агрегату прямо пропорційна тяговій потужності трактора, а також коефіцієнтам використання потужності і часу та обернено пропорційна питомому тяговому опору машин-знарядь.

Сучасні сільськогосподарські трактори зарубіжного виробництва мають зовнішні швидкісні характеристики встановлених на них двигунів, які можна віднести до характеристик двигунів постійної потужності. Ефективність трактора, з такою зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна, залежить в основному від ступеню використання його коректорної ділянки характеристики в зоні постійної потужності [1]. Вище сформульоване

твердження дає можливість, в процесі рядової експлуатації МТА, забезпечувати режими роботи на більш високих суміжних передачах і відповідно при більших значеннях швидкості руху, що в сою чергу сприяє підвищенню продуктивності МТА. При цьому відбувається зміщення режиму роботи двигуна, по частоті обертання колінчастого валу, в бік її зменшення від частоти обертання на номінальному режимі. Такі режими характеризуються оптимальними параметрами питомої витрати палива двигуна.

Проведемо аналіз режимів завантажень двигунів одних з найбільш популярних марок зарубіжних тракторів, які знайшли широке застосування в господарствах України. Зовнішні швидкісні характеристики двигунів, які встановлені на тракторах Case Magnum 340 (рис.1) та John Deere 8335R (рис. 2) наведені за результатами їх випробувань [2]. Характер наведених характеристик засвідчує, що їх можна віднести до двигунів постійної потужності.

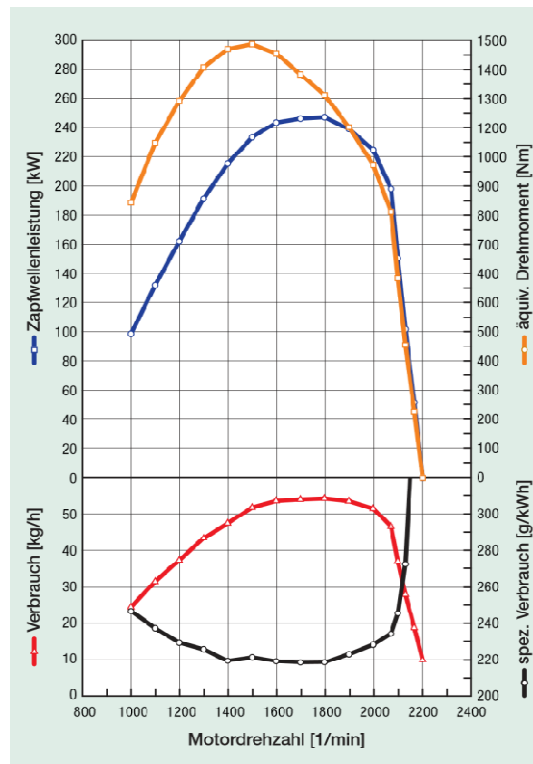


Рисунок 1 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна трактора Case Magnum 340

Для двигуна трактора Case Magnum 340. запас крутного моменту досягає 52% при значенні коефіцієнта пристосованості $k_M = 1.52$.

Номінальне значення потужності при частоті обертання колінчастого валу двигуна $n_H = 2000 \text{ хв}^{-1}$ складає $N_H = 226 \text{ кВт}$.

Максимальне значення потужності при частоті обертання колінчастого валу двигуна $n_{Nmax} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ складає $N_{max} = 248.6 \text{ кВт}$. Запас потужності в зоні коректорної ділянки характеристики складає 10.2 %.

Ступінь використання ефективної потужності двигуна може досягати значення $\xi_{Ne} = 1.1$.

Виходячи з вище наведених тверджень, можливо зробити висновок, що найбільш оптимальне завантаження цього двигуна буде досягнуте при частоті обертання колінчастого валу двигуна $n_{N_{max}} = 1800 \text{ хв}^{-1}$, при якій питома витрата палива складе $g_e = 220 \text{ г/кВт-год}$.

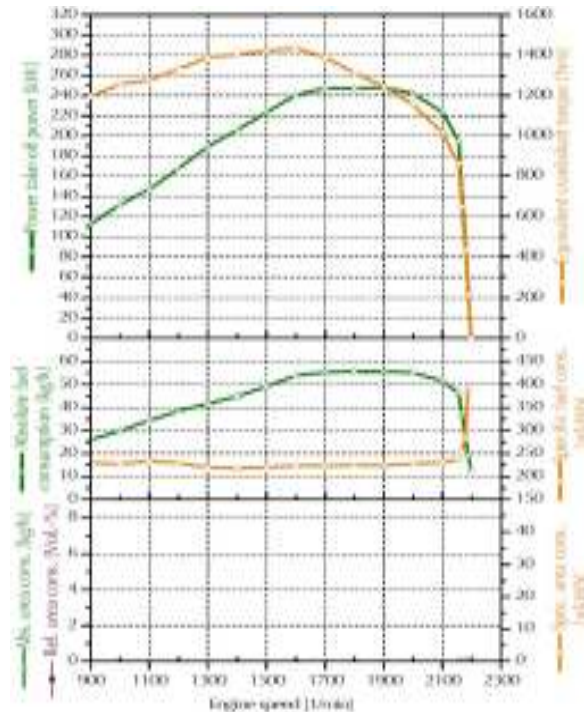


Рисунок 2 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна трактора John Deere 8335R

Для двигуна трактора John Deere 8335R запас крутного моменту у досягає $k_M = 1.45$.

Номінальне значення потужності при частоті обертання колінчастого валу двигуна $n_n = 2100 \text{ хв}^{-1}$ складає $N_n = 223.4 \text{ кВт}$.

Максимальне значення потужності при частоті обертання колінчастого валу двигуна $n_{N_{max}} = 1900 \text{ хв}^{-1}$ складає $N_{max} = 247.9 \text{ кВт}$. Запас потужності в зоні коректорної ділянки характеристики складає 11 %.

Ступінь використання ефективної потужності двигуна може досягати значення $\xi_{Ne} = 1.1$.

Дані зовнішніх швидкісних характеристик двигунів (рис. 1, рис. 2), в частині годинної та питомої витрати палива, свідчать, що мінімальні значення питомої витрати палива знаходяться в зоні частот обертання колінчастого валу двигуна $1300 \dots 1900 \text{ хв}^{-1}$.

Для того, щоб двигун працював в зоні оптимального завантаження необхідне відповідне тягове зусилля сільськогосподарського знаряддя, яке може бути реалізоване тільки за умови достатнього зчеплення рушіїв.

Для сучасних комбінованих причіпних знарядь тягове зусилля будемо аналізувати за залежністю:

$$R_a = k_a \cdot B_k + G_m(f + i)/100 \quad (2)$$

де G_m – експлуатаційна вага сільськогосподарської машини, кН;
 B_k – конструктивна ширина захвату, м;
 f – коефіцієнт опору на перекочування;
 i – ухил місцевості, %.

Як видно з залежності (2) пасивна експлуатаційна вага сільськогосподарської машини (вага яка не приймає участі у створенні рушійної сили) сприяє збільшенню тягового опору на подолання якого необхідно витратити частину тягового зусилля трактора.

За умови достатності зчеплення рушіїв з поверхнею, рушійна сила залежить від двох факторів:

$$P_{зч} = \mu \cdot G_T \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення;
 G_T – зчїпна вага трактора.

В останні роки відмічається підвищена увага виробників тракторної техніки до універсальних колісних тракторів з повним приводом, високої тягової потужності, класичної компоновки 4К4а з передніми колесами меншого розміру, ніж задні до яких відносяться трактори John Deere 8335R та Case Magnum 340.

Розвиток цієї схеми компоновки призвів до підвищення ролі переднього ведучого мосту за рахунок збільшення долі маси трактора, яка приходить на нього (з 25...35% раніше до 35...40% в теперішній час), застосування шин передніх коліс збільшеного типорозміру для покращення зчеплення з ґрунтом.

Особливістю комплектування агрегатів з тракторами такої схеми компоновки та з двигунами постійної потужності є можливість баластування трактора. Тобто забезпечення широкого діапазону зміни маси трактора в залежності від роботи, що виконується і знярядь, що застосовуються, за рахунок чого досягається найбільш ефективно використання потужності двигуна і забезпечується економія палива. Такий підхід дає можливість значно розширити діапазон тягових зусиль тракторів, який має обмеження перш за все надійністю силових механізмів тракторів. Тому виробники, не обмежуючи ширини захвату агрегатів, висувають жорсткі умови до швидкісного режиму руху агрегатів (табл. 3).

Але застосування баластних вантажів значно збільшує вагу трактора (для трактора John Deere 8335R понад 2500 кг). По європейським стандартам питомий тиск на ґрунт не повинен перевищувати $0,6 \text{ кг/см}^2$ ($0,06 \text{ МПа}$). Нарощування ваги сприяє перевищенню зазначених параметрів. Виникає протиріччя між агроекологічними вимогами, в частині ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів, та вимогами по забезпеченню необхідних тягово-зчїпних властивостей рушіїв тракторів.

Тому на сучасному етапі тракторного і сільськогосподарського

машинобудування слід акцентувати зусилля на розгляді альтернативних напрямків агрегування сільськогосподарських знарядь, які передбачали можливість використання, в якості зчіпної ваги не тільки вагу трактора, а і вагу всього агрегату, в тому числі і вагу його технологічної частини [3, 5, 6, 7, 8]. При цьому слід розглянути можливість передачі частини «надлишкової» потужності, яка не може бути реалізована через рушії (при використанні більш легких за масою тракторів, у разі відсутності баластних вантажів) на привід ходових коліс самої машини. Для реалізації цього принципу доцільно дослідити можливості гідростатичного та електричного приводів ходових коліс.

Як було сказано вище, в умовах рядової експлуатації сучасних МТА, з метою покращення паливної економічності МТА при виконання технологічних операцій в рослинництві, слід більш ретельно підходити до вибору режимів роботи двигуна, особливо у випадках коли тягового опору знарядь не достатньо для того, щоб забезпечити його роботу на коректорній ділянці зовнішньої швидкісної характеристики. В таких випадках необхідно переходити на часткові режими швидкісної характеристики двигуна. При цьому дуже важливо, щоб основна робота двигуна продовжувала залишатися в зоні коректорної ділянки характеристики.

Дані аналізу техніко-експлуатаційних показників трактора John Deere 8335R при його роботі на часткових режимах двигуна наведені в (табл. 1) [2].

Таблиця 1 – Дані часткових характеристик двигуна трактора John Deere 8335R

Положення дроселя подачі палива, 100%, тягове зусилля, 80%		Положення дроселя подачі палива, 90% тягове зусилля, 80%		Положення дроселя подачі палива, 90 % тягове зусилля, 40%	
годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год	годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год	годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год
43.0	241	41.0	229	23.5	263
положення дроселя подачі палива, 60 % тягове зусилля, 40%		положення дроселя подачі палива, 60 % тягове зусилля, 60%		положення дроселя подачі палива, 60 % тягове зусилля, 80%	
годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год	годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год	годинна витрата палива, кг/год	питома витрата палива, г/кВт·год
20.8	233	29.9	222	38.5	210

Такі режими, в умовах неповного завантаження, з точки зору паливної економічності є оптимальними. Так питома витрата палива при положенні дроселя подачі палива на 100% номінального і тяговому зусиллі лише 80% від номінального складає $g_e=241$ г/кВт·год, а при положенні дроселя подачі палива

на 90% номінального і тяговому зусиллі 80% від номінального складає $g_e=229$ г/кВт·год. Це свідчить про те, що частковий режим роботи, у такому випадку, є більш доцільним.

Тому на стадії комплектування агрегатів слід максимально завантажувати двигун, насамперед, шириною захвату, шляхом створенням комбінованих агрегатів і лише в останньою чергою - збільшенням швидкості.

При агрегуванні навісних і напівнавісних знарядь слід ретельно підходити до забезпечення необхідного співвідношення перерозподілу експлуатаційної ваги трактора між мостами в залежності від енергоємності технологічної операції та швидкісного режиму руху агрегату. При цьому слід керуватися рекомендаціями виробника [9]. Для тракторів John Deere 8335R дані представлені в табл. 2 та табл. 3.

Таблиця 2 – Вимоги до баластування колісних тракторів

Тип знаряддя	Важке	Середнє	Легке	
Робоча швидкість, км/год	менше 7,5 км/год	7,5 – 9 км/год	більше 9 км/год	MFWD
Відношення маси до потужності, кг/к.с. (ВВП)	64	60	55	
Статичний розподіл ваги трактора	від 25 до 35 % на передній міст від 40 до 55 % для підвіски ILS			
Відношення маси до потужності, (Номінальна потужність двигуна) кг/к.с.	54	50	45	4WD
Статичний розподіл ваги трактора	від 51 до 65 % на передній міст			

Таблиця 3 – Робочі швидкості знарядь для обробітку ґрунту John Deere

Тип	Знаряддя	Рекомендована робоча швидкість
Важке	глибокорозпушувач для мінімального обробітку ґрунту (2100)	6,4 – 8 км/год
	глибокорозпушувач з V-образною рамою (913,915)	6,4 – 9,6 км/год
	відвальний плуг (3810;3910)	6-10 км/год
Середнє	дисковий глибокорозпушувач (2720)	6,4 – 9,7 км/год
	мульчуючий глибокорозпушувач (2730)	6,4 – 9,7 км/год
	чизельний плуг (2410)	8 – 11,2 км/год
Легке	дискова борона (2620;2623;2625)	7 – 11,6 км/год
	культиватор(2210)	8 – 13 км/год
	комбінований культиватор (2310)	9 – 16 км/год
	2623VT	11,4 – 16,1 км/год

Раціонально проведене баластування трактора дає можливість реалізувати для зчеплення з ґрунтом практично всю експлуатаційну вагу трактора та частину ваги сільськогосподарських знарядь, яка передається на остов трактора. При цьому повинна максимально зберігатися встановлена кінематична невідповідність колових швидкостей коліс, яка змінюється при зміні навантажень на рушії. Відповідно до встановлених вертикальних навантажень на колеса трактора, необхідно підібрати параметри тиску в шинах.

Висновки

1. Ефективність роботи трактора, з зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна постійної потужності, залежить в основному від ступеню використання його коректорної ділянки характеристики в зоні постійної потужності.

2. Для покращення показників надійності силових механізмів трактора, при роботі з широкозахватними МТА, необхідно дотримуватися обмежень швидкості руху у відповідності з рекомендаціями виробника.

3. У випадках коли тягового опору знарядь не достатньо для того, щоб забезпечити його роботу на коректорній ділянці зовнішньої швидкісної характеристики, необхідно переходити на часткові режими швидкісної характеристики двигуна.

4. При агрегуванні навісних і напівнавісних знарядь слід ретельно підходити до забезпечення необхідного співвідношення перерозподілу експлуатаційної ваги трактора між мостами в залежності від енергоємності технологічної операції та швидкісного режиму руху агрегату.

5. Зниження питомого тягового опору, за рахунок використання ведучих коліс сільськогосподарських машин, дозволить створювати перспективні комбіновані машинно-тракторні агрегати на базі енергонасичених тракторів меншої експлуатаційної ваги.

Список літератури

1. Дорменев С.И. Тракторные моторно-трансмиссионные установки с двигателями постоянной мощности [Текст] / С.И. Дорменев, А.П. Банник, А.И. Коваль, Ю.Б. Моргулис. – М.: Машиностроение, 1987. – 184 с.

2. Електронні джерела: <http://www.dig-test.com> – [Електронний ресурс].

3. Лебедев А. Тракторна енергетика: проблеми та їх розв'язання [Текст] / А. Лебедев, В. Кравчук, С. Лебедев // Техніка і технології АПК. – 2011. - №2(17). С. 4-8.

4. Ксенович И.П. Технологические основы и технические концепции трактора второго поколения [Текст] / И.П. Ксенович, Г.М. Кутьков // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 1982, №2.

5. Кутьков Г.М. Основы теории трактора и автомобиля [Текст] / Г.М.Кутьков. – М.: Колос, 1996. – 274 с.
6. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в земліробстві [Текст] / В.Т. Надикто, М.Л. Крижичківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула // Навч. посібник. – 2006. – 337 с.
7. Козаченко О.В. Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах: наукове видання [Текст] / О.В. Козаченко. – Харків: Торнадо, 2008. – 272 с.
8. Козаченко О.В. Аналіз режимів руху сільськогосподарського агрегату та напрямки зменшення енерговитрат при виконанні технологічного процесу [Текст] / О.В.Козаченко, О.В.Блезнюк // Вісник ХНТУСГ. Випуск 159. – Х.: Віронєць А.П. «Апостроф», 2015. – С. 3 – 11.
9. Керівництво по експлуатації «John Deere».

Аннотация

Современные подходы эффективной эксплуатации и энергосбережения широкозахватных сельскохозяйственных агрегатов

Кухаренко П.М.

Предложены основные направления энергосбережения и повышения надежности машин при эксплуатации широкозахватных сельскохозяйственных орудий и меры по устранению противоречия между необходимостью снижения веса современных тракторов зарубежного производства и сохранением тягово-сцепных свойств ведущих колес

Abstract

Modern approaches of effective exploitation and энергосбережения of широкозахватных agricultural aggregates

P. Kukharenko

There are proposed the main directions of energy saving and improving the reliability of machines while operating wide-cut agricultural tools and measures to eliminate the contradiction between the need to reduce the weight of modern foreign-made tractors and preserve traction and coupling properties of the driving wheels