

Тягово - енергетична оцінка трактора в складі сільськогосподарського агрегату змінної маси

І.О. Шевченко

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, (м.Харків, Україна)
email: igorshvchnk@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1280-5290*

Обґрунтовані методичні основи оцінки тягово-енергетичних показників тракторів с приводом від валу відбору потужності активних робочих органів сільськогосподарських машин змінної маси. Доведено нестабільність питомої витрати палива двигуном трактора при зміні потужності що передається через вал відбору потужності.

Для тракторів тягово-енергетичної концепції питання вирішення проблеми енергозбереження є актуальним, особливо для транспортно - технологічних агрегатів змінної маси. В роботі запропоновано давати оцінку тягово - енергетичним властивостям тракторного агрегату з приводом від валу відбору потужності активних робочих органів сільськогосподарських машин за його структурною схемою. На прикладі сільськогосподарського агрегату в складі трактора Беларус 3022 ДЦ.1 (українська збірка) при агрегуванні з розкидачем твердих органічних добрив ПМФ-18 доведено, що зменшення маси вантажу в бункері від повного до порожнього призводить до зниження коефіцієнта завантаженості двигуна від 0,92 до 0,6. Рекомендується робота двигуна при експлуатації трактора з сільськогосподарськими машинами, що в процесі роботи мають змінну масу, або зменшення ваги вантажу в бункері на частковому режимі, що призводить до економії палива до 28%.

Для тракторних агрегатів з приводом від валу відбору потужності сільськогосподарських машин які мають декілька активних робочих органів, наприклад трактор Fendt 920 Vario з прес-підбирачем Krone Big Pack 1290 XC, коливання потужності, потрібної на привод ВВП призводить до відхилення питомої витрати палива від оптимального значення на $\pm 10\%$.

Ключові слова: трактор, сільськогосподарський агрегат, привод ВВП змінна маса, тягова потужність, витрата палива.

Постановка проблеми. Перехід тракторної енергетики до тягово-енергетичної концепції передбачає для привода активних робочих органів сільгоспмашин застосування одного, двох і т.д. валів відбору потужності (ВВП), що передають до 90% потужності двигуна. При цьому актуально вирішення проблеми енергозбереження трактора в складі транспортно-технологічних агрегатів, маса яких при виконанні технологічного процесу змінюється. До цих агрегатів відносяться розкидачі твердих органічних добрив, агрегати для внесення рідких органічних добрив, посівні і збиральні агрегати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили нестабільність маси окремих агрегатів при виконанні технологічного процесу з приводом від ВВП активних робочих органів [1, 2]. Наприклад, при виконанні технологічного процесу внесення твердих органічних добрив агрегатом ХТА-200-10 + ПРТ-10 маса вантажу причепа знижується від 10000 кг. до 0, посівного комплексу ХТЗ-17021 + ПКПС-6/5000 - від 4250 кг. до нуля. Маса вантажу транспортно-технологічних збиральних агрегатів (наприклад, при збиранні буряку і т.д.) змінюється в

протилежному напрямку від нуля до маси повного завантаження бункера або причепа.

Тракторний агрегат що рухається є автономною динамічною системою, основні зовнішні впливи на неї здійснюють зміни на опір руху і кількості енергії що використовується для руху. Ці впливи, як правило, призводять до зміни швидкості поступального руху тракторного агрегату, що характеризується рівнянням [3]:

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{P_k - \sum R_c}{m_{ar}}, \quad (1)$$

де P_k - рухома сила агрегату (дотична сила тяги трактора); $\sum R_c$ - сума сил опору руху агрегату; m_{ar} - приведена маса агрегату.

За умови, що приведена маса сільськогосподарського агрегату змінна, вона змінюється під час виконання технологічної операції, рівняння (1) можна записати:

$$\frac{d(m_{ar}v)}{dt} = P_k - \sum R_c, \quad (2)$$

Сила опору руху сільськогосподарського агрегату змінної маси в процесі роботи залежить

від факторів, багато яких є змінними, наприклад стан ґрунту, рельєф місцевості, швидкісний режим і т.д. Відповідно до зміни сил опору змінюється і рухома сила агрегату, тобто змінюється dv/dt при зниженні m_{ae} [4].

Тягові властивості трактора при нестабільності його маси без урахування відбору потужності на привод активних робочих органів сільгоспмашин що агрегуються з ним визначають за залежністю (2).

Мета дослідження - дати оцінку тягово-енергетичним властивостям трактора в складі сільськогосподарського агрегату змінної маси з приводом від ВВП активних робочих органів.

Результати дослідження. В основу оцінки тягових властивостей трактора с приводом від ВВП активних робочих органів сільгоспмашин що агрегуються покладено його баланс потужності, що пов'язує потужність двигуна N_e та її втрати $\sum N_3$ [5]:

$$N_e = \sum N_3 = N_n + N_b + N_m + N_T + N_{ВВП}, \quad (3)$$

де N_n, N_b, N_m - втрати потужності відповідно на пересування трактора, буксування, в трансмісії

трактора; N_T - тягова потужність на гаку трактора; $N_{ВВП}$ - втрати потужності на привод активних робочих органів сільськогосподарських машин з приводом від ВВП трактора.

За залежністю (1) визначається ККД тракторного агрегату, що представлений у вигляді відношення корисно витраченої потужності (на вихідній ланці, тобто $N_T, N_{ВВП}$) до потужності рушійних сил (на вхідній ланці, тобто N_e (Рис. 1)).

У відповідності до даної структурної схеми ефективна потужність двигуна N_e передається через трансмісію до ведучих коліс трактора та через ВВП до активних робочих органів сільгоспмашин що агрегуються. В трансмісії виникають втрати потужності N_m , що оцінюються ККД η_m .

Частина потужності N_k на ведучі колеса витрачається на подолання опору перекошування трактора N_n що оцінюється ККД η_n . Потужність що реалізована на шинах ($N_{ш}$) ведучих коліс витрачається на буксування N_b , що оцінюється ККД η_b і утворення колії $N_{еп}$, що оцінюється ККД $\eta_{еп}$, а також на корисну тягову потужність N_T , що визначається силою тяги на гаку $F_{кр}$ і швидкістю V_T трактора.

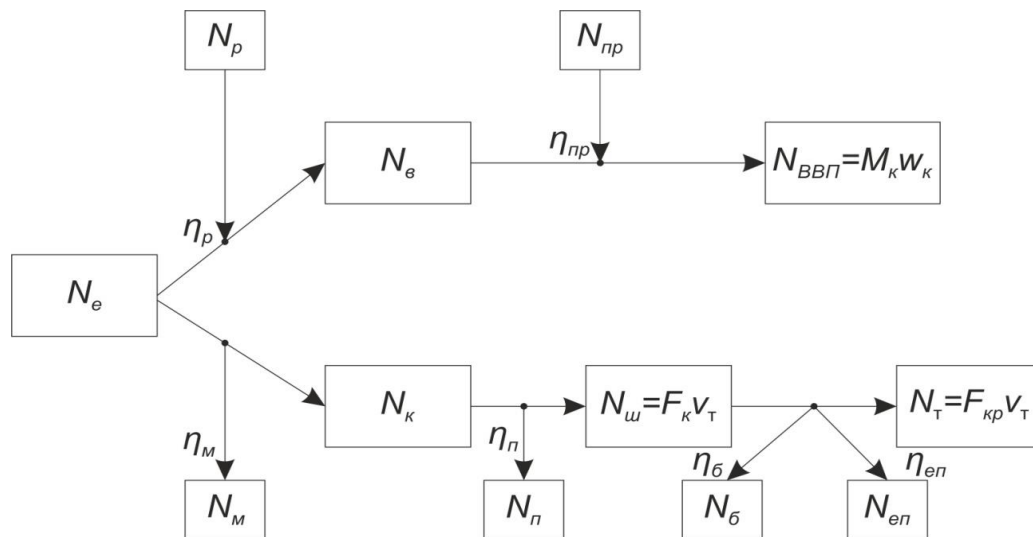


Рис.1. Структурна схема потоку потужностей тракторного агрегату с приводом від ВВП активних робочих органів сільськогосподарських машин

При передачі потужності через ВВП N_b до активних робочих органів сільгоспмашин $N_{ВВП}$, що визначається крутним моментом M_k і кутовою швидкістю W_k вихідного вала приводу, враховуючи втрати потужності в редукторі ВВП трактора N_p , що визначаються ККД η_p і в приводі $N_{пр}$, що визначаються ККД $\eta_{пр}$. При приводі від ВВП однієї або декількох сільгоспмашин з активними робочими органами, що працюють одночасно або окремо, $N_{ВВП}$ визначається для кожного режиму роботи.

При аналізі балансу потужності тракторного агрегату з приводом від ВВП активних робочих органів сільгоспмашин зазвичай втрати потужності на утворення колії $N_{еп}$ відносять до опору перекошуванню N_n , а втрати потужності в редукторі ВВП трактора N_p і приводі $N_{пр}$ визначаються як ККД привода $\eta_{ВВП}$.

Тягово-енергетична оцінка трактора у складі сільськогосподарського агрегату змінної маси виконана при агрегуванні трактора Беларус

3022ДЦ.1 (українська збірка) при агрегуванні з машиною для внесення твердих органічних добрив ПМФ-18 з повністю завантаженим та порожнім бункером.

На тракторі встановлено дизель BF06M1013FC (Deutz) потужністю 222,8 кВт і з запасом крутного моменту 30%, сертифікований за II-м ступенем Директиви 2000/25/ЕС. Даний трактор по показникам технічного рівня і меншій вартості може скласти конкуренцію на ринку України тракторам закордонного виробництва [6].

Тягово енергетична оцінка агрегату Беларус 3022ДЦ.1 + ПМФ-18 виконана за ефективною потужністю двигуна N_e в кВт і за питомою ефективною витратою палива q_e в г/кВт·ч:

$$N_e = 6,28 \cdot M_e n; q_e \frac{1000 G_T}{N_e}, \quad (4)$$

де M_e ефективний крутний момент, кН·м; n - частота обертання колінчастого валу двигуна, c^{-1} ; G_T - годинна витрата палива, кг.

Швидкість руху агрегату при виконанні технологічного процесу визначається при максимальному завантаженні двигуна по формулі:

$$V_{P_{max}}^{N_e} = \frac{\left(N_e \cdot \eta_{Ne} - \frac{N_{ВВП}}{\eta_{ВВП}} \right) \cdot \eta_{Тр} \cdot \eta_{\delta}}{R_M + G \left(f_T + \frac{i}{100} \right)} = 2,5 \text{ м/с}, \quad (5)$$

де $N_e = 223$ кВт - номінальна потужність двигуна; $\eta_{Ne} \approx 0,88 - 0,95$ - коефіцієнт оптимального завантаження двигуна; $N_{ВВП} = 40$ кВт - потужність, що потрібна для приводу робочих органів машини ПМФ-18 через ВВП; $\eta_{ВВП} \approx 0,94...0,96$ - ККД ВВП; $\eta_{Тр} \approx 0,79...0,82$ - ККД трансмісії; $\eta_{\delta} \approx 0,90...0,92$ - ККД буксування; $f_T = 0,12$ - коефіцієнт опору коченню; $G = 112,7$ кН - вага трактора; $i = 2,0\%$ - ухил місцевості; R_M - опір руху машини ПМФ-18.

$$R_M = (G_{пр} + G_B) \left(f_{пр} + \frac{i}{100} \right), \quad (6)$$

де $G_{пр} = 70,56$ кН - конструктивна вага машини ПМФ-18; $G_B = 176,4$ кН - вага вантажу (добрива) в бункері машини ПМФ-18; $f_{пр} = 0,12$ - коефіцієнт опору коченню машини ПМФ-18.

Розрахунок по залежності (6) показує що опір руху машини ПМФ-18 з вантажем в бункері $R_{M1} = 34,6$ кН в три рази перевищує опір $R_{M2} = 11,3$ кН при порожньому бункері.

Швидкісний режим роботи агрегату не повинен перевищувати максимально допустимий по завантаженню двигуна $V_{P_{max}}^{N_e} = 2,5$ м/с, що визначено по залежності (5). Приймаємо швидкість руху агрегату при виконанні технологічного процесу $V_P = 2,46$ м/с, що відповідає III діапазону 14 передачі трактора. При роботі трактора на даному режимі розраховується потужність, що

потрібна для приводу робочих органів ПМФ-18 через ВВП трактора (7).

$$N_{ВВП} = \frac{p h b_p V_p}{10^4 \gamma} = 40 \text{ кВт}, \quad (7)$$

де $p = 250...500$ кН/м² - питомий опір подрібненню добрив; $h = 40$ т/га - норма внесення добрив; b_p - робоча ширина захвату агрегату; $\gamma = 0,9$ т/м³ - щільність добрив.

Ефективна потужність двигуна визначається за формулою:

$$N_{еф} = \frac{(R_M + P_f + P_a)V}{\eta_{МГ} \cdot \eta_{\delta}} + \frac{N_{ВВП}}{\eta_{ВВП}}, \quad (8)$$

де P_f, P_a - сили опору руху і підйому, кН; $(P_f + P_a) = G(f_T + i/100)$.

Розрахунок по формулі (8) показує що при зменшенні ваги добрив в бункері розкидача зменшується ефективна потужність двигуна від $N_{еф1} = 206$ кВт (повний бункер) до $N_{еф2} = 130$ кВт (порожній бункер). В даному випадку завантаження двигуна $\eta_{N_{еф}} = N_{еф}/N_e$ знижується від $\eta_{еф1} = 206/223 = 0,92$ до $\eta_{еф2} = 130/223 = 0,6$. Для роботи двигуна з максимальним завантаженням необхідний перехід на частковий режим або перейти на підвищену передачу при сталій швидкості агрегату, що призведе до зниження частоти обертання колінчастого валу і відповідно ВВП трактора.

При роботі двигуна трактора Беларус 3022 ДЦ.1 на частковому режимі знижується витрата палива G'_T , що визначається по залежності [7]

$$G'_T = G_T \frac{n'}{n} = 35,5 \frac{1435}{2000} = 25,5 \text{ кг/год}, \quad (9)$$

де n', n - відповідно частота обертання колінчастого валу двигуна на частковому і робочому режимах.

Економія палива у даному випадку

$$\Delta G'_T = \frac{35,5 - 25,5}{35,5} \cdot 100 = 28 \%. \quad (10)$$

Реалізувати ефект по економії пального трактором Беларус 3022ДЦ.1 при агрегуванні з сільськогосподарською машиною змінної маси, наприклад з розкидачем твердих органічних добрив ПМФ-18 при виконанні технологічного процесу, не можливо, оскільки конструкція приводу ВВП забезпечує перехід на економічний режим ступенево, шляхом перемикавання редуктора ВВП під час коли трактор зупинений.

Створення стабілізованого приводу ВВП направлено на забезпечення підтримки постійної частоти обертання ВВП при змінних режимах роботи двигуна [8].

Вирішення питання стабільності частоти обертання ВВП особливо важливе при агрегуванні

трактора з сільськогосподарськими машинами з активними робочими органами, що одночасно або окремо виконують декілька технологічних процесів. Наприклад, прес-підбирач Krone Big Pack 1290 ХС може працювати окремо або разом з різальним апаратом і системою пресування зібраного матеріалу. У зв'язку з цим потужність, що необхідна на привод ВВП суттєво змінюється, не забезпечуючи економічного режиму роботи двигуна.

Цього недоліку позбулися сільськогосподарські агрегати у складі подібних машин, які агрегуються з тракторами моделі Fendt 900 Vario, що мають безступеневі коробки передач (Рис. 2) [9].



Рис. 2. Комбінований збиральний агрегат з активними робочими органами на базі трактора Fendt 920 Vario та прес-підбирача Krone Big Pack 1290 ХС.

На тракторах Fendt 920 Vario встановлено дизельний двигун MAN D0836LE510 потужністю 154 кВт з запасом крутного моменту 40% при відносній витраті палива 195 г/кВт. Номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна 2150 с⁻¹ (Рис. 3). Безступенева гідрооб'ємна коробка передач забезпечує рух на польових роботах (вперед / назад) зі швидкістю від 0,02 до 32 км/год / від 0,02 до 20 км/год, на транспортних роботах (вперед / назад) зі швидкістю від 0,02 до 50 км/год / від 0,02 до 38 км/год. Частота обертання заднього ВВП 750/1000 або 540/1000 с⁻¹, переднього – 1000 с⁻¹.

Продуктивність прес-підбирача Krone Big Pack 1290 ХС за результатами випробувань DLG (німецьке сільськогосподарське товариство) при збиранні сухої соломи пшениці 35 т/год, зеленої маси - 36,2 т/год. При цьому середня потужність, що потрібна на привод ВВП прес-підбирача 57,6 кВт при коливанні в діапазоні від 48 до 67 кВт. При виконанні агрегатом тільки процесу пресування без ріжучого апарату потужність приводу ВВП знижується на 12...17 кВт. Коливання потужності на привод ВВП підбирача призводить до відхилення питомої витрати палива від оптимальної на ± 10% (див. Рис. 3).

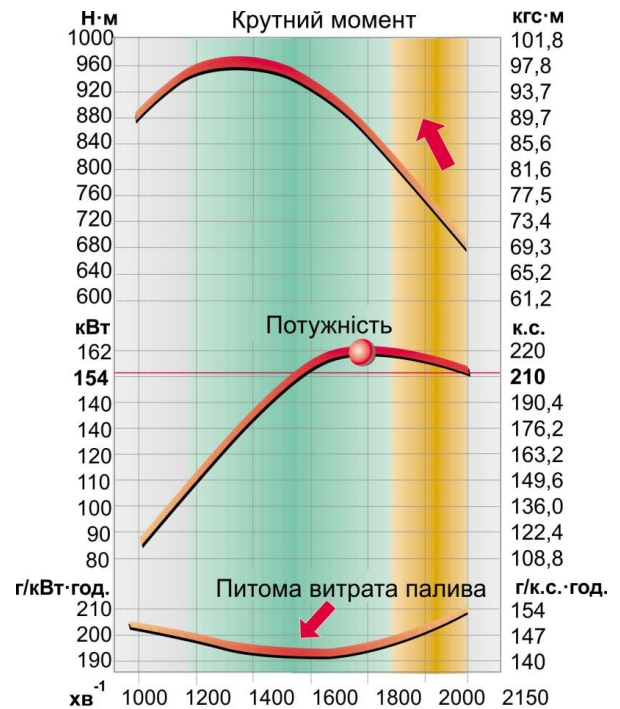


Рис. 3. Зовнішня швидкісна характеристика двигуна MAN D0836LE510

Висновки. Тягово-енергетичний аналіз сільськогосподарського агрегату змінної маси в складі трактора Беларус 3022ДЦ.1 (українська збірка) та розкидача твердих мінеральних добрив ПМФ-18 показав, що зменшення маси вантажу в бункері розкидача призводить до зниження ефективної потужності двигуна від $N_{\text{еф1}} = 206$ кВт (повний бункер) до $N_{\text{еф2}} = 130$ кВт (порожній бункер). В даному випадку завантаження двигуна знижується від $\eta_{\text{еф1}} = 0,92$ до $\eta_{\text{еф2}} = 0,60$. Робота двигуна на частковому режимі забезпечить економію палива до 28%.

Для тракторних агрегатів з приводом від ВВП декількох робочих органів, наприклад при агрегуванні трактора Fendt 920 Vario з прес-підбирачем Krone Big Pack 1290 ХС, коливання потрібної потужності на привод ВВП призводить до відхилення питомої витрати палива від оптимального значення на ± 10%.

Література:

1. Шуляк М.Л. Підвищення ефективності експлуатації енергонасиченого трактора в агрегаті з сільськогосподарською машиною змінної маси / М.Л. Шуляк // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2014. - Вип. 148. - С. 280-286.
2. Лебедев А.Т. Оценка устойчивости агротехнологий в растениеводстве к изменению параметров и режимов работы тракторных агрегатов / А.Т. Лебедев, М.Л. Шуляк // Motrol Commission of

motorization and energetics in agriculture. - Lublin, 2016. - Vol. 18, №5. - С. 53-58.

3. Коденко М.Н. Автоматизация тракторных агрегатов / М.Н. Коденко, А.Т. Лебедев. - М.: Машиностроение, 1969. - 196 с.

4. Колеснік І.В. Визначення керованості тракторного агрегату в залежності від зміни маси вантажу / І.В. Колеснік, М.Л. Шуляк, І.О. Шевченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Харків: ХНТУСГ, 2015. - Вип. 160. - С. 255-260.

5. Тракторы. Теория / Под ред. В.В. Гуськова, - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.

6. Лебедев С. Технічний рівень тракторів сільськогосподарського призначення на ринку України / С. Лебедев // Техніка і технології в АПК. - 2014. - №11. - С. 8-12.

7. Ляхов А.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.П. Ляхов; под ред. Ю.В. Будько. - Мн.: Ураджай, 1991. - 107 с.

8. Шевченко И.А. Тенденции развития приводов ВОМ сельскохозяйственных агрегатов / И.А. Шевченко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХДТУСГ. - Х.: ХДТУСГ, 2003. - Вип. 21. - С. 37-43.

9. Испытательный центр DLG FOCUS TEST. Пресс-подборщик Krone Big Pack 1290 XC / контрольный протокол 5201F. - 2019. - 16 с.

References:

1. Shuljak, M., 2014. Pidvyshhennja efektyvnosti ekspluatatsiji energhonasychenogho traktora v

aghreghati z siljsjkoghospodarskoju mashynoju zminnoji masy. Visnyk KhNTUSGh im. P. Vasylenka, (148), pp. 280-286.

2. Lebedev, A. and Shulyak, M., 2016. Otsenka ustoychivosti agrotekhnologiy v rasteniyevodstve k izmeneniyu parametrov raboty traktornykh agregatov. Motrol Commission of motorization and energetics in agriculture, 18 (5), pp.53-58.

3. Kodenko, M. and Lebedev, A., 1968. Avtomatizatsiya traktornykh agregatov. Moskva: Mashinostroenie, p.196.

4. Kolesnyk, I., Shuljak, M. and Shevchenko, I., 2015. Vyznachennja kерованості тракторного аghreghatu v zalezhnosti vid zminy masy vantazhu. Visnyk KhNTUSGh im. P. Vasylenka, (160), pp.255-260.

5. Guskov, V., 1988. Traktory. Teoriya. Moskva: Mashinostroenie, p.376.

6. Lebedev, S., 2014. Tekhnichnyj rivenj traktoriv siljsjkoghospodarskogho pryznachennja na rynku Ukrainy. Tekhnika y tekhnologhiji v APK,(11), pp.8-12.

7. Lyakhov, A. and Budko, Yu., 1991. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka. Minsk: Uradzhay, p.107.

8. Shevchenko, I., 2003. Tendentsii razvitiya privodov VOM selskokhozyaystvennykh agregatov. Mekhanizacija siljsjkoghospodarskogho vyrobnytva: Visnyk KhDTUSGh, (21), pp.37-43.

9. Press-podborshchik Krone Big Pack 1290 XC (2019). Ispytatelnyy tsentr DLG FOCUS TEST. Kontrolnyy protokol 5201F. 16 p.

Аннотация

Тягово - энергетическая оценка трактора в составе сельскохозяйственного агрегата переменной массы

И.А. Шевченко

Обоснованы методические основы оценки тягово-энергетических показателей тракторов с приводом от вала отбора мощности активных рабочих органов сельскохозяйственных машин переменной массы. Доказано нестабильность удельного расхода топлива двигателем трактора при изменении мощности передаваемой через вал отбора мощности.

Для тракторов тягово-энергетической концепции решение проблемы энергосбережения является актуальным, особенно для транспортно - технологических агрегатов переменной массы. В работе предложено давать оценку тягово - энергетическим свойствам тракторного агрегата с приводом от вала отбора мощности активных рабочих органов сельскохозяйственных машин по его структурной схеме. На примере сельскохозяйственного агрегата в составе трактора Беларусь 3022 ДЦ.1 (украинская сборка) при его агрегатировании с разбрасывателем твердых органических удобрений ПМФ-18 доказано, что уменьшение массы груза в бункере от полного до пустого приводит к снижению коэффициента загрузки двигателя от 0,92 до 0,6. При эксплуатации трактора с сельскохозяйственными машинами с изменяемой во время работы массой, или уменьшение веса груза в бункере рекомендуется работа двигателя на частичном режиме, что приводит к экономии топлива до 28%.

Для тракторных агрегатов с приводом от вала отбора мощности сельскохозяйственных машин которые имеют несколько активных рабочих органов, например трактор Fendt 920 Vario с пресс-подборщиком Krone Big Pack 1290 XC, колебание мощности, необходимой на привод вала отбора мощности приводит к отклонению удельного расхода топлива от оптимального значения на $\pm 10\%$.

Ключевые слова: трактор, сельскохозяйственный агрегат, привод ВОМ переменная масса, тяговая мощность, расход топлива.

Abstract

**Traction - energy estimation of the tractor
in the composition of agricultural unit of variable weight**

I.O. Shevchenko

The methodological foundations for assessing the traction and energy indicators of tractors driven from the power take-off shaft of the active working bodies of agricultural machines of variable weight are substantiated. The instability of the specific fuel consumption of the tractor engine with a change in the power transmitted through the power take-off shaft has been proved.

For tractors of the traction and energy concept, the solution to the problem of energy saving is relevant, especially for transport and technological units of variable mass. The paper proposes to assess the traction and energy properties of a tractor unit driven from the power take-off shaft of the active working bodies of agricultural machines according to its structural diagram. Using the example of an agricultural unit as part of a Belarus 3022 DC.1 tractor (Ukrainian assembly) when aggregated with a PMF-18 solid organic fertilizer spreader, it has been proven that a decrease in the weight of the load in the bunker from full to empty leads to a decrease in the engine load factor from 0.92 to 0.6. When operating a tractor with agricultural machines with a variable weight during operation, or reducing the weight of the load in the bunker, it is recommended to operate the engine in partial mode, which leads to fuel savings of up to 28%.

For tractor units driven by a power take-off shaft of agricultural machines that have several active working elements, for example, a Fendt 920 Vario tractor with a Krone Big Pack 1290 XC baler, fluctuations in the power required to drive the power take-off shaft lead to a deviation of the specific fuel consumption from the optimal values by $\pm 10\%$.

Keywords: tractor, agricultural unit, PTO drive, variable mass, pulling power, fuel consumption.

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Shevchenko, I.O. (2021). 'Traction - energy estimation of the tractor in the composition of agricultural unit of variable weight'. *Engineering of nature management*, (2(20), pp. 94 - 99.

Подано до редакції / Received: 06.04.2021