



Ефективність використання машин в землеробстві Efficiency of use machines in agriculture

УДК 621.01:531.01

Дослідження енергетичних витрат багатоелементного комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату

Р.В. Антощенко, А.Т. Лебедєв, В.М. Антощенко

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка (м. Харків, Україна), roman.tiaxntusg@gmail.com*

В роботі досліджується енергетика функціонування багатоелементного комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату. Розраховані витрати енергії трактором John Deere 8345R, бункером для посівного матеріалу John Deere 1910 та сівалкою John Deere 1895. Пошук найефективніших рішень використання таких агрегатів потребує дослідження енергетичних показників функціонування та пошуку шляхів енергозбереження. Підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарської техніки та агрегатів являється складною задачею через багатоступінчатість її структури та через надвелику кількість керованих й некерованих показників, що впливають на процес функціонування. Значна кількість конструкцій комбінованих багатоелементних сільськогосподарських агрегатів потребує створення ефективних засобів та методів дослідження енергетичних витрат і не лише для одно елементних машин. Різноманіття конструкцій та компоновальних схем агрегатів вимагає оцінки впливу структури на енергетичні витрати. Дослідження енергетики функціонування потребує формування енергетично-динамічної моделі ґрунтообробно-посівного агрегату. Трактор, сівалка та бункер якого мають послідовне з'єднання. Колеса трактора передають енергію від трансмісії трактора до його остову паралельно. В якості керуючих впливів обрано кут повороту керованих коліс трактора. Досліджений розгін агрегату та сталий рух по прямолінійній траєкторії. Для обох режимів руху сівалка витрачає найбільшу енергію. При розгоні агрегату витрата енергії всіма елементами підвищується лінійно з відповідним підвищенням швидкості руху до робочої. Структурні схеми досліджуваних машин формуються з елементів які розташовуються відносно інших послідовно, паралельно або зі зворотнім зв'язком. Зміна схеми агрегування агрегатів гнучко досліджується за допомогою зміни взаємного розташування структурних елементів енергетично-динамічної моделі.

Ключові слова: енергетика функціонування, комбінований ґрунтообробно-посівний агрегат, трактор, сівалка, бункер, витрати енергії.

Вступ. Використання тракторів з потужністю більше 250 к.с. під час виробництва продукції рослинництва дозволило підвищити ефективність експлуатації широкозахватних комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів в господарствах з великою площею земельних угідь. Дослідження динаміки даних агрегатів нерозривно пов'язане з дослідженням енергетичних витрат його елементами та агрегатом в цілому. Пошук найефективніших рішень використання агрегатів потребує дослідження енергетичних показників функціонування та пошуку шляхів енергозбереження. Підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарської техніки та агрегатів являється складною задачею через багатоступінчатість її структури та через надвелику кількість керованих й некерованих показників, що впливають на процес функціонування [1].

Аналіз основних публікацій, досліджень.

У літературі зустрічаються кілька класифікацій показників ефективності використання техніки [2-5], що значно відрізняються один від одного. Причиною такого положення є те, що класифікація показників багато в чому визначається тією метою, яку ми ставимо перед собою [6]. Так, за змістом показники поділяються на натуральні та вартісні. В роботі [7] запропоновано 5 груп показників: енергетичні, техніко-експлуатаційні, агротехнічні, естетико-ергономічні, техніко-економічні.

Дослідження енергетичних показників ефективності функціонування МТА потребують визначення енергетичних витрат [8-10], які можна поділити на прямі та непрямі [11, 12].

Значна кількість конструкцій комбінованих багатоелементних сільськогосподарських агрега-

тів потребує створення ефективних засобів та методів дослідження енергетичних витрат і не лише для одно елементних машин. Різноманіття конструкцій та компоновальних схем агрегатів вимагає оцінки впливу структури на енергетичні витрати. Проблема енергозбереження та оцінка енергоефективності сільськогосподарських агрегатів залишається актуальною вже на протязі багатьох років. Процеси виробництва продукції рослинництва пов'язані з витратою як механічної так і інших видів енергії. Переважна кількість робіт, які присвячені обґрунтуванню енергетичних витрат підкреслюють актуальність поставлених задач даного дослідження.

Метою даної роботи є дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементного комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату на прикладі трактору John Deere 8345R, бункеру для посівного матеріалу John Deere 1910 та сівалки прямої сівби John Deere 1895.

Вирішення задачі. Розглянемо енергетично-динамічну модель ґрунтообробно-посівного агрегату на прикладі МТА в складі трактору John Deere 8345R, бункеру для посівного матеріалу John Deere 1910 та сівалки прямої сівби John Deere 1895 (рис. 1). Енергетично-динамічна модель складається з восьми основних елементів, що мають послідовне та паралельне з'єднання.

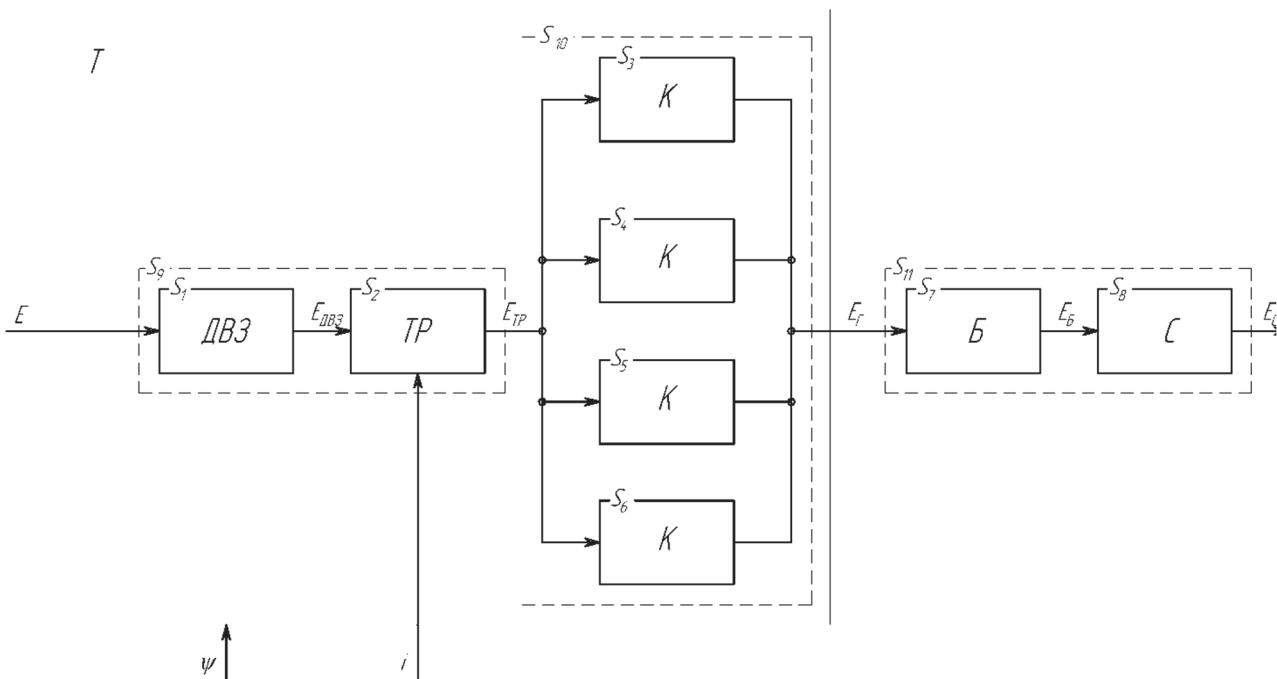


Рис. 1. Структурна схема енергетично-динамічної моделі комбінованого ґрунтообробно-посівного багатоелементного агрегату: Т – трактор; Б – бункер; С – сівалка; ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння; ТР – трансмісія; К – колеса; Е – енергетичні витрати агрегатом; $E_{ДВЗ}$ – енергія, що знімається з маховика ДВЗ; $E_{ТР}$ – енергія, що передається трансмісією на колеса; $E_{Г}$ – енергія на гаку трактора; $E_{Б}$ – енергія, що передається бункером на сівалку; $E_{С}$ – енергія, що витрачається сівалкою; ψ – кут повороту керованих коліс трактора; S_i – енергетично-динамічні моделі елементів агрегату; i – номер передачі трактору

Трактор, сівалка та бункер мають послідовне з'єднання (рис. 1). Колеса трактора передають енергію від трансмісії трактора до його остова паралельно. В якості керуючих впливів обрано кут повороту керованих коліс трактора $\psi = 0^\circ$ для випадку прямолінійного руху та при $i = 3$ – номер передачі трансмісії трактору.

Для зручності формування рівнянь використаємо методологію наведену у роботі [13]. Об'єднаємо енергетично-динамічні моделі ДВЗ (S_1) та ТР (S_2) й позначимо цю систему S_9 . Рівняння

стану та виходу для системи S_9 мають вигляд:

$$d \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ B_2 \cdot C_1 & A_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \cdot D_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

$$Y_{S_9} = (D_2 \cdot C_1 \quad C_2) \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} + (D_1 \quad D_2) \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix}; \quad (2)$$

де $U_1 = E$; $U_2 = [E_{ДВЗ} \quad i]^T$; $Y_{S_9} = E_{ТР}$.

Наступним кроком розглянемо енергетично-динамічні моделі коліс трактору з паралельним

з'єднанням. Рівняння стану та виходу для системи S_{10} мають вигляд:

$$\begin{cases} \dot{X}_3 = A_3 \cdot X_3 + B_3 \cdot U_3; \\ \dot{X}_4 = A_4 \cdot X_4 + B_4 \cdot U_4; \\ \dot{X}_5 = A_5 \cdot X_5 + B_5 \cdot U_5; \\ \dot{X}_6 = A_6 \cdot X_6 + B_6 \cdot U_6; \end{cases} \quad (3)$$

$$Y_{10} = \sum_{i=3}^6 (C_i \cdot X_i + D_i \cdot U_i), \quad (4)$$

де $U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = E_{TP}$; $Y_{10} = E_{\Gamma}$.

Енергетично-динамічні моделі сівалки S_8 та бункера S_9 з'єднуються послідовно та утворюють систему S_{11} рівняння стану та виходу мають вид:

$$d \begin{pmatrix} X_7 \\ X_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_7 & 0 \\ B_8 \cdot C_7 & A_8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_7 \\ X_8 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_7 \\ B_8 \cdot D_7 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_7 \\ U_8 \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$Y_{S_{11}} = (D_8 \cdot C_7 \quad C_8) \cdot \begin{pmatrix} X_7 \\ X_8 \end{pmatrix} + (D_7 \quad D_8) \cdot \begin{pmatrix} U_7 \\ U_8 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де $U_7 = E_{\Gamma}$; $U_8 = E_B$; $Y_{S_{11}} = E_C$.

Тепер розглянемо енергетично-динамічні моделі S_9 – (1)-(2), S_{10} – (3)-(4) та S_{11} – (5)-(6), як послідовне з'єднання трьох моделей. Рівняння стану будуть наступними:

$$d \begin{pmatrix} X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_9 & 0 & 0 \\ B_{10} \cdot C_9 & A_{10} & 0 \\ 0 & B_{11} \cdot C_{10} & A_{11} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_7 \\ B_8 \cdot D_7 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

а виходу:

$$Y_{S_{12}} = (D_{11} \cdot C_{10} \quad D_{10} \cdot C_9 \quad D_8) \cdot \begin{pmatrix} X_9 \\ X_{10} \\ X_{11} \end{pmatrix} + (D_9 \quad D_{10} \quad D_{11}) \cdot \begin{pmatrix} U_9 \\ U_{10} \\ U_{11} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

де $U_9 = E$; $U_{10} = E_{TP}$; $U_{11} = E_{\Gamma}$; $Y_{S_{12}} = E_C$.

Дослідимо енергетичні витрати ґрунтообробно-посівного агрегату на прикладі МТА в складі трактору John Deere 8345R, бункера для посівного матеріалу John Deere 1910 та сівалки прямої сівби John Deere 1895, як багатоеlementної енергетично-динамічної моделі (рис. 1) представленої рівняннями ((7)-(8)).

Енергетичні витрати комбінованого багатоеlementного ґрунтообробно-посівного агрегату при розгоні наведені на рис. 3.

Найбільша енергія витрачається сівалкою $E_C = 3,75 \cdot 10^6$ Дж після закінчення розгону агре-

гату, тобто при $t \geq 14$ с (рис. 2, а). Найменші витрати енергії у трактора – $E_C = 2,4 \cdot 10^6$ Дж. Для руху агрегату передніми колесами трактора витрачається $E_{K11} = 7,1 \cdot 10^5$ Дж та $E_{K12} = 7,45 \cdot 10^5$ Дж; задніми – $E_{K21} = E_{K22} = 6,1 \cdot 10^5$ Дж. Витрата енергії всіма елементами підвищується лінійно з відповідним підвищенням швидкості руху до робочої – $v = 2,8$ м/с.

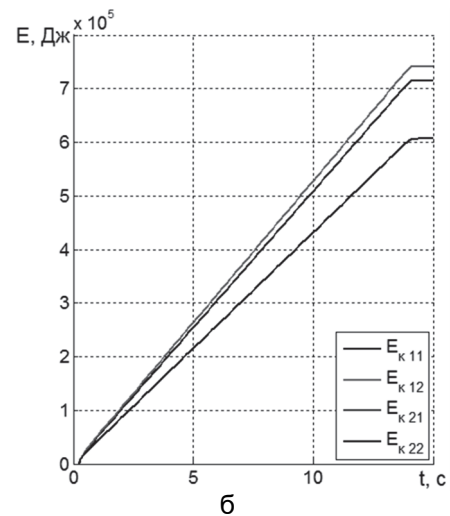
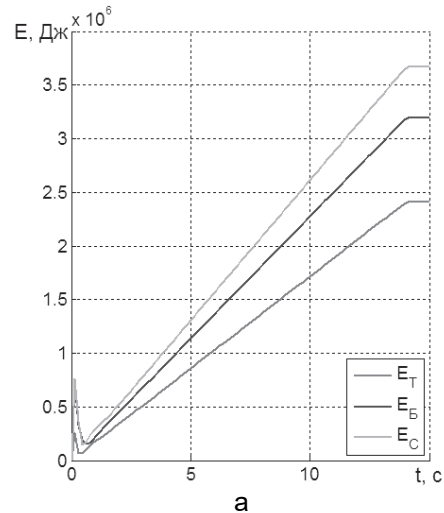


Рис. 2. Енергетичні витрати комбінованого багатоеlementного ґрунтообробно-посівного агрегату при розгоні: E_T , E_B , E_C – енергетичні витрати відповідно трактора, бункера та сівалки; E_{K11} , E_{K12} , E_{K21} , E_{K22} – енергетичні витрати на колесах трактора

Розрахунок енергетичних витрат комбінованого багатоеlementного ґрунтообробно-посівного агрегату для іншого випадку руху (рух, що наближений до експлуатаційних умов, зі зміною куту повороту керованих коліс трактору за гармонічним законом) наведений на рис. 3.

Енергетичні витрати елементами агрегату змінюються за гармонійним законом з періодом $T = 7,5$ с та перехідним процесом на початку руху при $0 < t < 1,5$ с (рис. 3, а). Найбільші витрати енергії відбуваються в сівалці $E_C = 3,7 \cdot 10^6$ Дж з розмахом $\Delta_{E_C} = 0,15 \cdot 10^6$ Дж. Енергетичні витрати трактору та бункеру дорівнюють $E_T = 2,5 \cdot 10^6$ Дж й $E_B = 3,25 \cdot 10^6$ Дж з розмахом $\Delta_{E_T} = 0,1 \cdot 10^6$ Дж та $\Delta_{E_B} = 0,15 \cdot 10^6$ Дж.

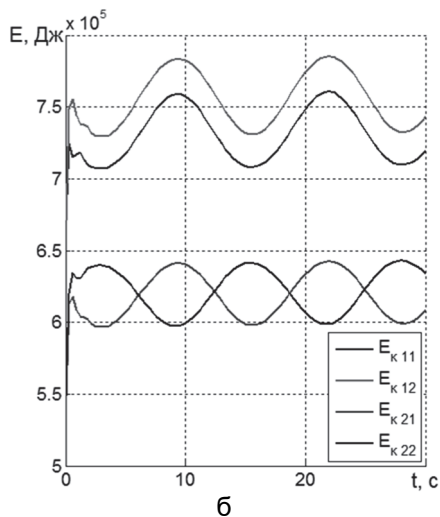
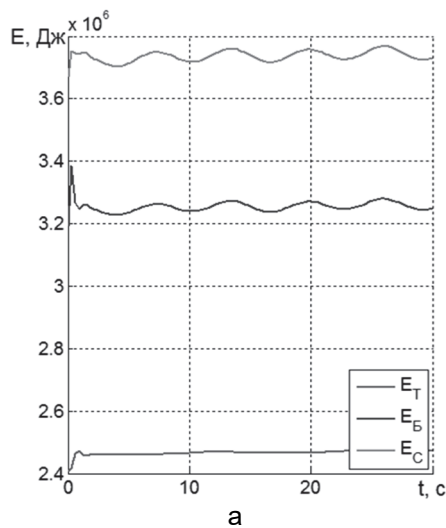


Рис. 3. Енергетичні витрати комбінованого багатоелементного агрегату при русі по синусоїдальній траєкторії (позначення відповідні до рис. 2)

Енергетичні витрати на колесах трактору (рис. 3, б) мають наступні особливості. Коливання енергетичних витрат на передніх колесах знаходяться в однаковій фазі, а задніх в проти-

вофазі та складають $E_{к11} = 7,25 \cdot 10^5$ Дж з розмахом $\Delta_{E_{к11}} = 0,5 \cdot 10^5$ Дж – для переднього лівого колеса; $E_{к12} = 7,55 \cdot 10^5$ Дж з розмахом $\Delta_{E_{к12}} = 0,5 \cdot 10^5$ Дж – переднє праве; $E_{к21} = E_{к22} = 6,25 \cdot 10^5$ Дж з розмахом $\Delta_{E_{к21}} = \Delta_{E_{к22}} = 0,4 \cdot 10^5$ Дж – для задніх коліс.

Запропонована методологія досліджень динаміки функціонування багатоелементних агрегатів довільних структур за рахунок формування енергетично-динамічних моделей досліджуваних машин дозволяє дослідити та встановити взаємозв'язок між динамічними та енергетичними показниками. Структурні схеми досліджуваних машин формуються з елементів які розташовуються відносно інших послідовно, паралельно або зі зворотнім зв'язком. Зміна схеми агрегування агрегатів гнучко досліджується за допомогою зміни взаємного розташування структурних елементів енергетично-динамічної моделі.

Висновки.

1. В роботі використана методика дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів, що дозволяє визначати енергетичні витрати в окремому елементі машинно-тракторного агрегату з урахуванням структури та з'єднання для довільної кількості елементів.

2. На прикладі ґрунтообробно-посівного агрегату на прикладі МТА в складі трактору John Deere 8345R, бункеру для посівного матеріалу John Deere 1910 та сівалки прямої сівби John Deere 1895 обґрунтовано визначення витрат енергії, що безпосередньо пов'язані з виконанням сільськогосподарських робіт.

3. Під час розгону найбільша енергія витрачається сівалкою $E_C = 3,75 \cdot 10^6$ Дж після закінчення розгону агрегату, тобто при $t \geq 14$ с. Найменша витрата енергії у трактора – $E_C = 2,4 \cdot 10^6$ Дж. Витрата енергії всіма елементами підвищується лінійно з відповідним підвищенням швидкості руху до робочої – $v = 2,8$ м/с.

4. При русі по синусоїдальній траєкторії енергетичні витрати елементами агрегату змінюються за гармонійним законом з періодом $T = 7,5$ с та перехідним процесом на початку руху при $0 < t < 1,5$ с. Найбільші витрати енергії відбуваються в сівалці $E_C = 3,7 \cdot 10^6$ Дж з розмахом $\Delta_{E_C} = 0,15 \cdot 10^6$ Дж. Енергетичні витрати трактору та бункеру дорівнюють $E_T = 2,5 \cdot 10^6$ Дж й $E_B = 3,25 \cdot 10^6$ Дж з розмахом $\Delta_{E_T} = 0,1 \cdot 10^6$ Дж та $\Delta_{E_B} = 0,15 \cdot 10^6$ Дж.

Література

1. Хафизов К.А. Повышение эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов путем уменьшения энергозатрат и снижения потерь урожая: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.20.01, 05.20.03 [Текст] / Казанский государственный аграрный университет. – Казань, 2007. – 22 с.
2. Артеменко Н.А. Экономическая эффективность использования сельскохозяйственной техники [Текст] / Н.А. Артеменко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
3. Вайнруб В.И. О влиянии длины гона на оптимальные параметры плуга с регулируемой шириной захвата [Текст] / В.И. Вайнруб, А.А. Чеконин // Технология и механизация работ в полеводстве. – Л.: Колос, 1978. – С. 32 - 34.
4. Гаврилов Ф.И. Методы анализа использования сельскохозяйственной техники [Текст] / Ф.И. Гаврилов. – М.: Колос, 1971. – 263 с.
5. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов [Текст] / Д.Н. Саакян. – М.: Машиностроение, 1969. – 253 с.
6. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве [Текст] / Ф.С. Завалишин. – М.: Колос, 1973. – 319 с.
7. Киртбая, Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка [Текст] / Ю.К. Киртбая. – 2-е издание, перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 319 с.
8. Fluck R.C. Energy analysis for agricultural systems In: R.C. Fluck (Editor), Energy in Farm Production / R.C. Fluck // Energy in world agriculture, 6. Elsevier, Amst. – PP.45 - 51.
9. Пастухов В.І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт: Автореферат дис. докт. техн. наук: 05.05.11 [Текст] / ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Х., 2006. – 40 с.
10. Козаченко О.В. Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах: наукове видання [Текст] / Козаченко О.В. – Харків: Торнадо, 2008. – 272 с.
11. Cavalariis C.C. Evaluation of tillage efficiency and energy requirements for five methods of soil preparation in the sugar beet crop / C.C. Cavalariis, T.A. Gemtos / Proceedings of the EE&AE'2002 Conference – International Scientific Conference – 2002. pp 172 -179.
12. Плаксин А.М. Энергетика мобильных агрегатов в растениеводстве [Текст] / А.М. Плаксин. Челябинск, 2005. – 204 с.
13. Антощенко Р.В. Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів [Текст] / Р.В. Антощенко, В.М. Антощенко // Інженерія природокористування – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 2 (6). – С. 105 -112.

Аннотация

Исследование энергетических затрат многоэлементного комбинированного почвообрабатывающего посевного агрегата

Р.В. Антощенко, А.Т. Лебедев, В.М. Антощенко

В работе исследуется энергетика функционирования многоэлементного комбинированного почвообрабатывающего посевного агрегата. Рассчитаны затраты энергии трактором John Deere 8345R, бункером для посевного материала John Deere 1910 и сеялкой John Deere 1895. Поиск эффективных решений использования таких агрегатов требует исследования энергетических показателей функционирования и поиска путей энергосбережения. Повышение энергетической эффективности сельскохозяйственной техники и агрегатов является сложной задачей из-за многоступенчатости ее структуры и через значительное количество управляемых и неуправляемых показателей, влияющих на процесс функционирования. Значительное количество конструкций комбинированных многоэлементных сельскохозяйственных агрегатов требует создания эффективных средств и методов исследования энергетических затрат и не только для одноэлементных машин. Многообразие конструкций и компоновочных схем агрегатов требует оценки влияния структуры на энергетические затраты. Исследование энергетики функционирования требует формирования энергетико-динамических моделей почвообрабатывающих посевных агрегатов. Трактор, сеялка и бункер которого имеют последовательное соединение. Колеса трактора передают энергию от трансмиссии трактора к его остову параллельно. В качестве управляющих воздействий выбран угол поворота управляемых колес трактора. Исследован разгон агрегата и устойчивое движение по прямолинейной траектории. Для обоих режимов движения сеялка тратит наибольшую энергию. При разгоне агрегата расход энергии всеми элементами повышается линейно с соответствующим повышением скорости движения

до рабочей. Структурные схемы исследуемых машин формируются из элементов, которые располагаются относительно друг друга последовательно, параллельно или с обратной связью. Изменение схемы агрегатирования агрегатов гибко исследуется с помощью изменения взаимного расположения структурных элементов энергетически динамической модели.

Ключевые слова: энергетика функционирования, комбинированный почвообрабатывающий посевной агрегат, трактор, сеялка, бункер, потери энергии.

Abstract

Studying of Energy Consumption of Multielement Combined Soil-cultivating Sowing Unit

R.V. Antoshchenkov, A.T. Lebedev, V.M. Antoshchenkov

The paper investigates the power of functioning of the multielement combined soil-cultivating sowing unit. Energy expenses of tractor John Deere 8345R, the bunker for sowing material John Deere 1910 and seeder John Deere 1895 are calculated. Search of effective decisions of use of such units demands probe of power indicators of functioning and search of ways of power savings has been carried out. Increase of power efficiency of agricultural machinery and units is a challenge because of multigradualness of its structure and through a significant amount of the steered and uncontrollable indicators influencing process of functioning. A significant amount of designs of the combined multielement agricultural units demands creation of effective remedies and methods of probe of power expenses and not only for single-element cars. The variety of designs and layout schemes of units demands an estimation of influence of structure on power expenses. Probe of power of functioning demands the formation of energy-dynamic models of soil-cultivating sowing units. A tractor, a seeder and a bunker have a consecutive joint. Tractor wheels transfer energy from tractor transmission to its skeleton in parallel. As steering influences the angle of rotation of steered wheels of a tractor is chosen. Dispersal of the unit and steady movement on a rectilinear trajectory is investigated. For both modes of movement the seeder spends the greatest energy. At dispersal of the unit energy consumption by all elements raises linearly with corresponding increase of speed of movement to the worker. Block diagrams of investigated machines are formed of elements which settle down concerning others consistently, in parallel or with feedback. Scheme change of aggregation of units is flexibly investigated by means of change of a relative positioning of structural elements of energetically dynamic model.

Keywords: energy of functioning, combined soil-cultivating sowing unit, tractor, seeder, bunker, energy losses.

Представлено від редакції: М.А. Подригало / Presented on editorial: M.A. Podrygalo

Рецензент: М.П. Артемов / Reviewer: M.P. Artemov

Подано до редакції / Received: 21.02.2017