

УДК 629.4.075

А. П. КОЖУШКО, О. М. АГАПОВ

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА З БЕЗСТУПІНЧАСТОЮ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ ПРИ ОРАНЦІ

В роботі наведено підхід для формування раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі для колісних тракторів, що оснащені безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією, в умовах виконання технологічної операції оранка. Проведено теоретичне дослідження процесу розгону колісного трактора, в складі машинно-тракторного агрегату, при виконанні операції оранка. Виконано порівняльний аналіз застосування лінійної та раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі та, відповідно, визначено зміну таких показників машинно-тракторного агрегату, як витрати палива та продуктивності.

Ключові слова: трактор, розгін, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, техніко-економічні показники, гідрооб'ємна передача.

В работе приведены подход для формирования рациональной изменения параметров регулирования гидромашин гидрообъемной передачи для тракторов, оснащенных бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией, в условиях выполнения технологической операции вспашка. Проведено теоретическое исследование процесса разгона колесного трактора, в составе машинно-тракторного агрегата, при выполнении операции вспашка. Выполнен сравнительный анализ применения линейной и рациональной изменения параметров регулирования гидромашин гидрообъемной передачи и, соответственно, определено изменение таких показателей машинно-тракторного агрегата, как расход топлива и производительности.

Ключевые слова: трактор, разгон, гидрообъемно-механическая трансмиссия, технико-экономические показатели, гидрообъемная передача.

The paper forming a rational approach for changing the parameters of regulation of hydraulic transmission hydraulic machines for wheel tractors that are equipped with continuously variable hydrovolumetric manual transmission, in terms of implementation of technological operations plowing. Based on the analysis of recent research and kinematic calculation, power and energy performance of selected two promising hydrovolumetric mechanical transmission with differential circuits with input and differential output. A theoretical study of the process of acceleration wheeled tractor composed tractor unit, when executing plowing. A comparative analysis of the linear and in the course of optimization of parameters of rational regulation of hydraulic transmission hydraulic machines. On the basis of comparative analysis the changing technical and economic indicators tractor unit, namely, fuel consumption and performance.

Key words: tractor, acceleration, continuously variable transmission, technical and economic indicators, hydraulic transmission.

Вступ. Агропромисловий комплекс є найбільш важливим сектором в економіці держави, адже саме він уособлює в собі стратегічний розвиток десятків галузей промисловості, тим самим забезпечуючи енергетичну та продовольчу незалежність держави. Одним з шляхів розвитку аграрного сектору є створення або модернізація тракторів, які входять до складу машинно-тракторного агрегату.

Сьогодні всесвітні тракторобудівники все більше уваги приділяють тракторам, які оснащуються безступінчастими трансмісіями [1]. Адже можливість безступінчастого керування машинно-тракторним агрегатом; вибором оптимальних швидкісних та тягових режимів роботи, які відповідають агротехнічним вимогам; підвищення ергономічних властивостей під час виконання технологічних операцій – є розширенням функціональних можливостей трактора та при агрегуванні різним технологічним обладнанням.

Все більшої популярності, як в Україні, так і за її межами, набувають колісні трактори, що оснащуються безступінчастими гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи наукову літературу, яка присвячена розгляду питань, що пов'язані з дослідженням безступінчастих ГОМТ, необхідно звернути увагу на різноплановість цих робіт. Так, зокрема, в роботі [2] визначається оптимальне керування балансом ефективності між двигуном внутрішнього згорання та гідрооб'ємною передачею (ГОП). Але автори

наголошують на те, що для досягнення оптимального керування необхідно окремо визначити регульовальні характеристики, як гідронасосу, так і гідромотору.

В роботі [3] автори завдяки експериментальному дослідженню та математичному обчисленню встановлюють ефективно поєднання роботи ГОП та в цілому керуванням землезбиральною машиною.

Що стосується вітчизняних робіт [4 – 13], то тут необхідно звернути увагу на праці Харківських науковців, які вже протягом декілька десятиліть займаються розглядом питань ГОМТ в складі колісних тракторів та автомобілів для ремонту нафтогазових свердловин. Зокрема, в роботах [11 – 13] описано та математично обґрунтовано зміну параметру регулювання гідромашин ГОП (регульованого гідронасосу та регульованого гідромотору) відносно часу розгону при виконанні тягових робіт. Проте ні експериментальним, ні теоретичним шляхом не доведено доцільність застосування отриманої зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП на прикладі обробки земельного угіддя.

Таким чином, на основі проведеного аналізу досліджень та публікацій визначено необхідність у встановленні доцільності застосування раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону при теоретичному дослідженні операції оранка на колісних тракторах з безступінчастими ГОМТ різного схемного виконання.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою даної роботи є встановлення доцільності застосування

раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону при теоретичному дослідженні операції оранка на колісних тракторах з безступінчастими ГОМТ різного схемного виконання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– навести підхід, який дозволяє сформувати раціональні зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону колісного трактора при виконанні операції оранка;

– теоретичним шляхом дослідити зміну техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату при застосуванні лінійної та раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП в ході виконання операції оранки.

Вибір схемного рішення ГОМТ. На сьогоднішній день відомо, що безступінчаста ГОМТ працює за трьома типами схем – з диференціалом на вході (Fendt Vario), з диференціалом на виході (S-Matic) та зі змінною структурою (Case IH Magnum). Характеризуючи особливості двопотокових ГОМТ зі змінною структурою відмічається, що колісний трактор матиме, окрім діапазонів, ще й піддіапазони, що є негативним чинником, оскільки в сучасному тракторобудуванні кожен виробник намагається максимально спростити конструкцію трансмісії.

Таким чином, на основі дослідження кінематичних, силових та енергетичних показників ГОМТ обрано схеми з диференціалом на вході (рис. 1 (а)) та на виході (рис. 1 (б)) [7 – 13].

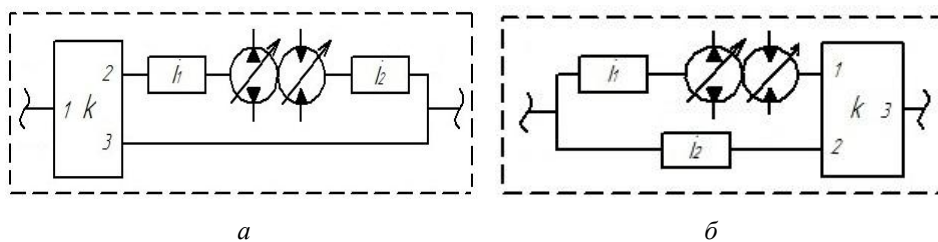


Рис. 1 – Спрощена кінематична схема конструкції ГОМТ:

а – з входом потужності на сонячну шестерню; б – з виходом потужності через валидо

Необхідно відзначити, що теоретичне дослідження зміни техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату проводилось для колісних тракторів потужністю 160 – 175 кВт сімейства ХТЗ, тому параметри ГОМТ (k , i_1 , i_2) з рис. 1 підбирались таким чином, щоб задовольнити технологічну швидкість проведення операції оранка.

Підхід для формування раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону. За для вирішення поставленої задачі необхідно скористатись теорією оптимізації. Оскільки в процесі оптимізації будуть використовуватись лише критерії, які основані на визначенні техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату в процесі розгону при виконанні операції оранка, то отримані залежності будуть раціональними.

Для формування раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП введемо узагальнений критерій (K_{Σ}) (який характеризує частковими критеріями ефективність та економічність машинно-тракторного агрегату при операції оранка) [11 – 13]

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Z_i \cdot K_i + \sum_{j=1}^m Z_j \cdot P_j, \quad (1)$$

де Z_i, Z_j – вагові коефіцієнти; K_i – часткові критерії; P_j – штрафна функція, яка знижує значення узагальненого критерію при виході варійованого параметра за межі допустимих значень.

В процесі розгону машинно-тракторного агрегату при виконанні операції оранка узагальнений критерій, який характеризує техніко-економічні показники в функції параметрів регулювання гідромашин ГОП, має наступний вигляд

$$K_{\Sigma}(e_1, e_2) = Z_1 \cdot \left(1 - \frac{Q_P^*(e_1, e_2)}{Q_{P \max}}\right) + Z_2 \cdot \frac{\eta_{MTA}^*(e_1, e_2)}{\eta_{MTA \max}} + Z_3 \cdot \left(1 - \frac{t^*(e_1, e_2)}{t_{\max}}\right) + Z_{\Delta P} \cdot P_{\Delta P}(|\Delta P|) + Z_{\omega_S} \cdot P_{\omega_S}(|\omega_S|) + Z_{\omega_{e1^*}} \cdot P_{\omega_{e1^*}}(|\omega_{e1^*}|) + Z_{\omega_{e2^*}} \cdot P_{\omega_{e2^*}}(|\omega_{e2^*}|). \quad (2)$$

$$P_{\Delta P}(|\Delta P|) = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta P|}{\Delta P_{\max}}, & \text{якщо } |\Delta P| > \Delta P_{\max}; \\ 0, & \text{якщо } |\Delta P| \leq \Delta P_{\max}; \end{cases} \quad P_{\omega_S}(|\omega_S|) = \begin{cases} 1 - \frac{|\omega_S|}{\omega_{S \max}}, & \text{якщо } |\omega_S| > \omega_{S \max}; \\ 0, & \text{якщо } |\omega_S| \leq \omega_{S \max}; \end{cases} \quad (3)$$

$$P_{\omega_{e1^*}}(|\omega_{e1^*}|) = \begin{cases} 1 - \frac{|\omega_{e1^*}|}{\omega_{e1^* \max}}, & \text{якщо } |\omega_{e1^*}| > \omega_{e1^* \max}; \\ 0, & \text{якщо } |\omega_{e1^*}| \leq \omega_{e1^* \max}; \end{cases} \quad P_{\omega_{e2^*}}(|\omega_{e2^*}|) = \begin{cases} 1 - \frac{|\omega_{e2^*}|}{\omega_{e2^* \max}}, & \text{якщо } |\omega_{e2^*}| > \omega_{e2^* \max}; \\ 0, & \text{якщо } |\omega_{e2^*}| \leq \omega_{e2^* \max}; \end{cases}$$

де $Q_p^*(e_1, e_2)$ – поточне значення витрати палива;
 $Q_{P_{\max}}$ – максимальне значення витрати палива;
 $\eta_{МТА}^*(e_1, e_2)$ – поточне значення ККД МТА;
 $\eta_{\max МТА}(e_1, e_2)$ – максимальне значення ККД МТА;
 $t^*(e_1, e_2)$ – поточне значення часу розгону МТА;
 t_{\max} – максимальне значення часу розгону МТА, яке знаходиться при застосуванні лінійного закону зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП; ΔP^* – поточне значення перепаду робочого тиску в ГОП; ΔP_{\max} – максимальне значення перепаду тиску в ГОП; ω_S^* – поточне значення кутової швидкості сателіта; $\omega_{S_{\max}}$ – максимальне значення кутової швидкості сателіта; ω_{e1}^* , ω_{e2}^* – поточні значення кутових швидкостей на валах гідронасоса та гідромотора; $\omega_{e1}^{*\max}$, $\omega_{e2}^{*\max}$ – максимальні значення кутових швидкостей на валах гідронасоса та гідромотора.

Аналізуючи рівняння (1) можна помітити, що на узагальнені критерії та величини ΔP , ω_S , ω_{e1} , ω_{e2} доволі суттєво впливає величина вагових коефіцієнтів, що обумовлено перш за все тим, що штрафні функції P_j та часткові критерії K_j

варіюються в різних діапазонах: $0 < K_1(e_1, e_2) \leq 1$, $0 < K_2(e_1, e_2) \leq 1$, $0 < K_3(e_1, e_2) \leq 1$, $0 < P_{\Delta P}(|\Delta P|) < -\infty$, $0 < P_{\omega_S}(|\omega_S|) < -\infty$, $0 < P_{\omega_{e1}}(|\omega_{e1}|) < -\infty$, $0 < P_{\omega_{e2}}(|\omega_{e2}|) < -\infty$. При виборі величин вагових коефіцієнтів для часткових критеріїв необхідно керуватись тим, що сума вагових коефіцієнтів повинна дорівнювати 1. При виборі величин вагових коефіцієнтів для штрафних функцій необхідно враховувати, що при досяганні штрафною функцією значення, яке виходить за межі діапазону зміни, ГОМТ стає не працездатним. Зважаючи на це, в процесі оптимізації обираються наступні значення величин вагових коефіцієнтів: $Z_1 = 0,33$, $Z_2 = 0,33$, $Z_3 = 0,33$, $Z_{P_{\Delta P}} = 1$, $Z_{P_{\omega_S}} = 1$, $Z_{P_{\omega_{e1}}} = 1$, $Z_{P_{\omega_{e2}}} = 1$.

Задача пошуку раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП полягає у застосуванні одного з методів теорії оптимізації, а саме методу прямого пошуку. Пошук якого складається з послідовних кроків дослідницького пошуку навколо базисної точки, за якою, в разі успіху, слідує пошук по зразку. В процесі обчислення математичних моделей машинно-тракторного агрегату з ГОМТ (рис. 1) сформовано раціональні зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП, які показано на рис. 2.

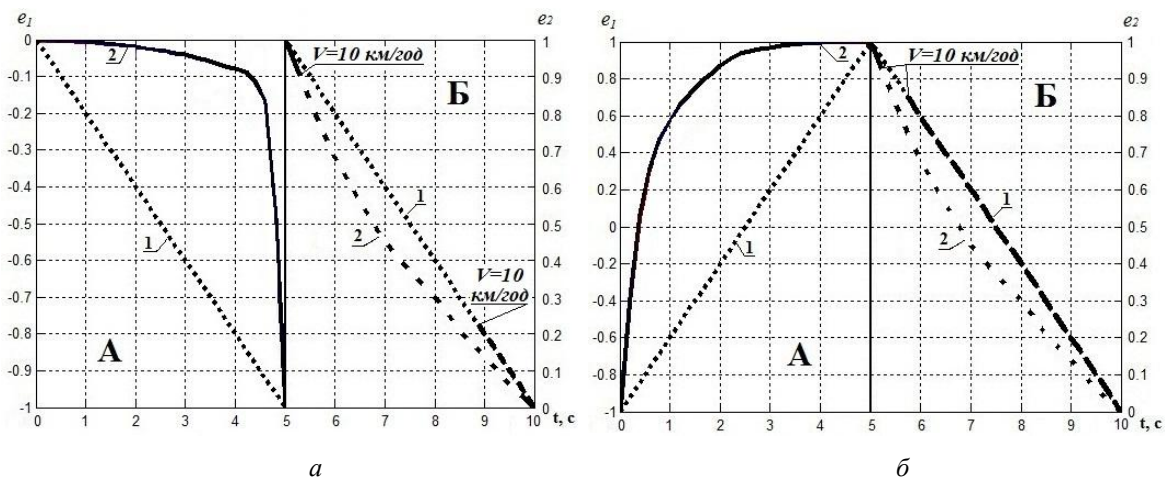


Рис. 2 – Зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$) (залежність параметрів регулювання гідромашин ГОП e_1 , e_2 від часу t): а – для ГОМТ, що наведено на рис. 1 (а); б – для ГОМТ, що наведено на рис. 1(б); А – зона регулювання гідронасоса; Б – зона регулювання гідромотора; 1 – прямолінійний закон зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$); 2 – раціональна зміна параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$)

Таким чином, сформовано підхід для визначення раціональних змін параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону колісного трактора при виконанні операції оранка.

Теоретичне дослідження зміни техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату. В ході теоретичного дослідження визначення значення продуктивності та витрати

палива машинно-тракторного агрегату за зміну при застосуванні лінійного та раціонального закону зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$), проводиться на умовній ділянці поля (рис. 3) з розміром 800×300 м.

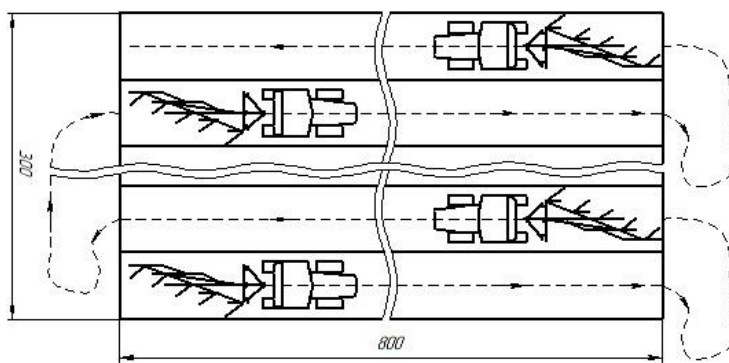


Рис. 3 – Умовна ділянка поля з розміром 800×300 м

Машинно-тракторний агрегат досягає швидкості в 10 км/год, а максимальна глибина обробки ґрунту складає $h_{II} = 0,25$ м при виконанні технологічної операції «оранка». Максимальне значення сили тяги на гаку, відповідно, дорівнює $F_{kp} = 49,0$ кН.

Для визначення продуктивності та витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну необхідно знайти час технологічної роботи (T_p) та час холостого ходу при розвороті машинно-тракторного агрегату (T_x). В ході теоретичного дослідження введемо припущення, що час на технологічне обслуговування агрегату (T_{TEX}), час на щозмінне технічне обслуговування трактора (T_{ETO}) та час на підготовчо-завершальні операції ($T_{ФІЗ}$) рівні 0.

При визначенні часу технологічної роботи (T_p) необхідно з загального часу технологічної роботи, при обробці одного гону, відокремити час розгону.

При визначенні витрати палива за зміну ($Q_{Г.СМ}$) необхідно враховувати витрату палива машинно-тракторного агрегату при розвороті (Q_x). В ході моделювання з'ясовано, що $Q_x = 7$ кг/год.

Необхідно також зауважити, що: агрофон – стерня зернових колосових на середніх суглинках; вологість – фізична стиглість ґрунту; щільність – рівноважна; кут нахилу поверхні – 0° .

Результати теоретичного дослідження зведено до табл. 1.

Таблиця 1 – Результати теоретичного дослідження визначення продуктивності та витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну

Параметр	ГОМТ			
	З диференціалом на вході		З диференціалом на вході	
	Зміна параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$)			
	Лінійна	Раціональна	Лінійна	Раціональна
Довжина гону, м	800		800	
Ширина гону, м	300		300	
Площа поля, га	24,08		24,08	
Ширина захвату, м	3,5		3,5	
Кількість гонів	86		86	
Час розвороту для одного гону (для 86 гонів), с	30 (2580≈0,717 ч)		30 (2580≈0,717 ч)	
Час розгону для одного гону (для 86 гонів), с	8,8 (≈0,22 ч)	5,2 (≈0,12 ч)	5,76 (≈0,13 ч)	5,12 (≈0,12 ч)
Час технологічної роботи для одного гону (для 86 гонів), с	283,4 (≈6,78 ч)	287,8 (≈6,88 ч)	287,6 (≈6,87 ч)	287,8 (≈6,88 ч)
Продуктивність машинно-тракторного агрегату за зміну, га/ч	3,174	3,175	3,172	3,176
Витрати палива за зміну, кг	191,2	189,0	241,5	238,5

На підставі отриманих результатів теоретичного дослідження при застосуванні лінійної та раціональної зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП спостерігається підвищення техніко-

економічних показників машинно-тракторного агрегату в ході виконання операції оранка.

Результати застосування раціонального закону зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$) при визначенні продуктивності та

витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну на умовних ділянках поля з розміром 800×300

м (рис. 3) та з розміром 300×800 м (рис. 4), зведено до табл. 2.

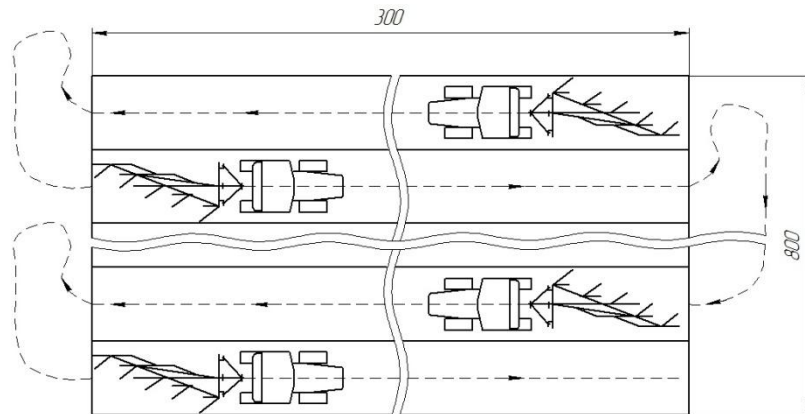


Рис. 4 – Умовна ділянка поля з розміром 300×800 м

Таблиця 2 – Результати теоретичного дослідження визначення продуктивності та витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну

Параметр	ГОМТ			
	З диференціалом на вході		З диференціалом на виході	
	Розмір поля, м			
	300×800	800×300	300×800	800×300
Довжина гону, м	300	800	300	800
Ширина гону, м	800	300	800	300
Кількість гонів	229	86	229	86
Час технологічної роботи для одного гону (для відповідної кількості гонів), с	107,6 (≈6,84 ч)	287,8 (≈6,88 ч)	104 (≈6,61 ч)	287,8 (≈6,88 ч)
Продуктивність машинно-тракторного агрегату за зміну, га/ч	2,77	3,175	2,75	3,176
Витрати палива за зміну, кг	207,0	189,0	265,0	238,5

Таким чином, встановлено, що при дослідженні операції оранки суттєвим чином на техніко-економічні показники машинно-тракторного агрегату впливає спосіб обробки.

Висновки. В роботі наведено підхід для визначення раціональних змін параметрів регулювання гідромашин ГОП в процесі розгону колісного трактора при виконанні операції оранка.

При зіставленні результатів, що отримано при застосуванні раціонального замість лінійного закону зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$), спостерігається:

- збільшення продуктивності машинно-тракторного агрегату за зміну на 0,03 % (для ГОМТ з «диференціалом на вході») та на 0,13 % (для ГОМТ з «диференціалом на виході»);
- зменшення витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну на 1,16 % (для ГОМТ з «диференціалом на вході») та на 1,26 % (для ГОМТ з «диференціалом на виході»).

Порівнюючи результати отримані при застосуванні раціонального закону зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП ($e_1(t)$ та $e_2(t)$) на

ділянці поля розміром 800×300 м замість ділянки поля розміром 300×800 м, спостерігається:

- зменшення продуктивності машинно-тракторного агрегату за зміну на 14,9% (для ГОМТ з «диференціалом на вході») та на 13,4% (для ГОМТ з «диференціалом на виході»);
- збільшення витрати палива машинно-тракторного агрегату за зміну на 9,52% (для ГОМТ з «диференціалом на вході») та на 11,1% (для ГОМТ з «диференціалом на виході»).

Список літератури

1. Самородов В.Б. Перспективні трансмісії колісних тракторів / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко, А.П. Кожушко, Є.С. Пеліпенко, М.О. Мітцель // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2014. – № 10 (1053). – С. 3 – 10.
2. Ijas, M, Mäkinen, E. Improvement of total efficiency of hydrostatic transmission by using optimized control / Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, 15–18 September 2008, Toyama. – P. 271–276. DOI: 10.5739/isfp.2008.271
3. Dasgupta, K. Steady state performance analysis of hydrostatic transmission system using two motor simulation drive / K. Dasgupta, N. Kumar, R. Kumar // Journal of the institution of engineers (India). – 2013. – 94 (4). – P. 357–363. DOI: 10.1007/s40032-013-0084-y

4. *Самородов В.Б.* Обоснование применения гидрообъемно-механических трансмиссий на колесных тракторах путем экспериментального определения основных эксплуатационных характеристик гидрообъемной передачи / *В.Б. Самородов, О.И. Деркач, С.А. Шуба, В.М. Шевцов, Н.А. Митцель* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 9 (1118). – С. 3 – 8.
5. *Самородов В.Б.* Разработка и анализ бесступенчатой двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссии по критерию наибольшего КПД, автомобиля для ремонта нефтегазовых скважин / *В.Б. Самородов, А.О. Островерх, А.П. Кожушко* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №60 (966). – С. 105 – 111.
6. *Самородов В.Б.* Анализ технологического режима работы бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссии с использованием отечественных гидроагрегатов автомобиля для ремонта нефтегазовых скважин / *В.Б. Самородов, А.О. Островерх, А.П. Кожушко* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №30 (1003). – С. 23 – 31.
7. *Самородов В.Б.* Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на входе” / *В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 2/7 (56). – С. 25 – 35.
8. *Самородов В.Б.* Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме “дифференциал на выходе” / *В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 3/7 (57). – С. 4 – 12.
9. *Кожушко А.П.* Особливості роботи колісних тракторів з гідрооб’ємно-механічними трансмісіями / *А.П. Кожушко* // Сільськогосподарські машини. – 2015. – №31. – С. 70 – 82.
10. *Кожушко А.П.* Результати моделювання роботи колісного трактора з гідрооб’ємно-механічними трансмісіями, що працюють по схемі «диференціал на вході» / *А.П. Кожушко* // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: Науковий журнал. – 2015. – №1 (3). – С. 93 – 102.
11. *Самородов А.П.* Визначення оптимального закону зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб’ємної передачі в процесі розгону колісних тракторів з гідрооб’ємно-механічною трансмісією / *А.П. Кожушко* // Вісник Сумського національного аграрного університету. – Суми: СНАУ, 2014. – №11 (26). – С. 108 – 114.
12. *Samorodov V.* Formation of a rational change in controlling continuously variable transmission at the stages of a tractor’s acceleration and braking / *V. Samorodov, A. Kozhushko, E. Pelipenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. – № 4/7 (82). – P. 37 – 44. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75402.
13. *Taran I.O.* Substantiating of Rational Law of Hydrostatic Drive Control Parameters While Accelerating of Wheeled Tractors with Hydrostatic and Mechanical Transmission / *I.O. Taran, A.P. Kozhushko* // Mechanics, Materials Science and Engineering, September 2016 – ISSN 2412 – 5954. – Vol. 6, Part II: Mechanical Engineering and Physics. – P. 70 – 76. DOI: 10.13140/RG.2.1.3590.9362.
4. *Samorodov V. B., Derkach O. I., Shuba S. A., Shevtsov V. M., Mittsel N.A.* Obosnovanie primeneniya gidroob'emno-mehanicheskih transmissiy na kolesnyih traktorah putem eksperimentalnogo opredeleniya osnovnyih ekspluatatsionnyih harakteristik gidroob'emnoy peredachi [The justification for applying hydrostatic-mechanical transmissions on wheeled tractors by experimental determination of basic performance of hydrostatic transmission]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». [The bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2015, vol. 9, issue 1118, pp. 3 – 8.
5. *Samorodov V. B., Ostroverch O. O., Kozhushko A. P.* Razrabotka i analiz besstupenchatoy dvuhpotочноy gidroob'emno-mehanicheskoy transmissii po kriteriyu naibolshego KPD, avtomobilya dlya remonta neftegazovyih skvazhin [Development and analysis of a continuously variable double-split hydrostatic mechanical transmission by the criterion of the highest efficiency, the vehicle for repair of oil and gas wells]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». [The bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2012, vol. 60, issue 966, pp. 105 – 111.
6. *Samorodov V.B., Ostroverch O. O., Kozhushko A. P.* Analiz tehnologicheskogo rezhima raboty besstupenchatoy gidroob'emno-mehanicheskoy transmissii s ispolzovaniem otechestvennyih gidroagregatov avtomobilya dlya remonta neftegazovyih skvazhin [Analysis of the technological mode of a continuously variable hydrostatic-mechanical transmission with the use of native car repair hydraulic units for oil and gas wells]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"]. 2013, vol. 30, issue 1003, pp. 23 – 31.
7. *Samorodov V. B., Bondarenko A. I.* Osnovnyie parametry gidroob'emno-mehanicheskih transmissiy, rabotayuschih po sheme “differentsial na vhode” [Basic parameters of hydrostatic-mechanical transmissions, workings on chart “differential on entrance”]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016, vol. 2/7, issue 56, pp. 25 – 35.
8. *Samorodov V. B., Bondarenko A. I.* Osnovnyie parametry gidroob'emno-mehanicheskih transmissiy, rabotayuschih po sheme “differentsial na vihode” [Basic parameters of hydrostatic-mechanical transmissions, workings on chart “differential on exit”]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016, vol. 3/7, issue 57, pp. 4 – 12.
9. *Kozhushko A. P.* Osoblyvosti roboty kolisnykh traktoriv z hidroob'iemno-mekhanichnyimi transmissiyami [Features of work wheeled tractors with hydrostatic mechanical transmissions]. Silskohospodarski mashyny, 2015, vol. 31, pp. 70 – 82.
10. *Kozhushko A. P.* Rezultaty modelivannya roboty kolisnoho traktora z hidroob'iemno-mekhanichnyimi transmissiyami, shcho pratsiuut po skhemi «dyferentsial na vkhodi» [Simulation results of work wheel tractor with hidrostatic mechanical transmissions working on schemes for “planetary gear input”] Modern technologies in engineering and transport, 2015, vol. 1, issue 3, pp. 93 – 102
11. *Kozhushko, A. P.* Vyznachennia optymalnoho zakonu zminy parametriv rehulivannya hidromashyn hidroob'iemnoi peredachi v protsesi rozgonu kolisnykh traktoriv z hidroob'iemno-mekhanichnoiu transmissiieiu.[Determining the optimal parameters for controlling law change of hydraulic fluid transfer during acceleration wheeled tractors hydrostatic mechanical transmissions] Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu, 2014, vol. 11, pp. 108 – 114.
12. *Samorodov V., Kozhushko A., Pelipenko E.* Formation of a rational change in controlling continuously variable transmission at the stages of a tractor’s acceleration and braking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, vol. 4/7, issue 82, pp. 37 – 44. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75402.
13. *Taran I.O., Kozhushko, A. P.* Substantiating of Rational Law of Hydrostatic Drive Control Parameters While Accelerating of Wheeled Tractors with Hydrostatic and Mechanical Transmission. Mechanics, Materials Science and Engineering, September 2016 – ISSN 2412 – 5954. – Vol. 6, Part II: Mechanical Engineering and Physics. – pp. 70 – 76. DOI: 10.13140/RG.2.1.3590.9362

References (transliterated)

1. *Samorodov V. B., Bondarenko A. I., Kozhushko A. P., Pelipenko E. S., Mittsel M. O.* Perspektivni transmissii kolisnykh traktoriv [Perspective transmissions of the wheeled tractors]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» [The bulletin of the National Technical University "KhPI"], 2014, vol. 10, pp. 3 – 10.
2. *Ijas, M., Mäkinen, E.* Improvement of total efficiency of hydrostatic transmission by using optimized control. Proceedings of the 7th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2008, pp. 271–276. DOI: 10.5739/isfp.2008.271
3. *Dasgupta, K., Kumar, N., Kumar, R.* Steady state performance analysis of hydrostatic transmission system using two motor simulation drive. Journal of the institution of engineers (India), 2013, vol. 94 (4), pp. 357–363. DOI: 10.1007/s40032-013-0084-y

Надійшло (received): 19.01.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Теоретичне дослідження процесу розгону колісного трактора з безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією при оранці / А. П. Кожушко, О. М. Агапов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 5 (1227). – С. 19 – 25. – Бібліогр.: 13 Назв. – ISSN 2079-0066.

Теоретическое исследование процесса разгона колесного трактора с бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией на пахоте / А. П. Кожушко, О. Н. Агапов // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 5 (1227). – С. 19 – 25. – Библиогр.: 13 Назв. – ISSN 2079 0066.

Theoretical investigation of the acceleration wheeled tractor with continuously variable transmission for plowing / A. P. Kozhushko, O. N. Agarov // The bulletin of the National Technical University "KhPI". – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – № 5 (1227). – P. 19 – 25. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-0066.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кожушко Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автомобіле- та тракторобудування, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com

Кожушко Андрей Павлович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры автомобиле- и тракторостроения, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com

Kozhushko Andriy Pavlovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Lecturer at the Department of Car and Tractor Industry, tel.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com

Агапов Олег Миколайович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автомобіле- та тракторобудування, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Agarovoleg@gmail.com

Агапов Олег Николаевич – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры автомобиле- и тракторостроения, тел.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Agarovoleg@gmail.com

Agarov Oleg Nikolayevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associated Professor at the Department of Car and Tractor Industry, tel.: (057) 707 – 64 – 64; e-mail: Agarovoleg@gmail.com