

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА З БЕЗСТУПІНЧАСТОЮ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

Кожушко А. П., аспірант

*Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»*

В роботі наведені результати теоретичного дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Vario з безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією при виконанні технологічної операції «оранка» з різними законами зміни: коефіцієнту, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі, сили тяги на гаку. В ході теоретичного дослідження також встановлюється вплив зміни робочих об'ємів гідромоторів на такі показники, як перепад робочого тиску в гідрооб'ємній передачі, потужність двигуна внутрішнього згорання, коефіцієнту корисної дії трансмісії та буксування коліс трактора при виконанні технологічної операції «оранка» в процесі розгону колісного трактору.

Ключові слова: колісний трактор, розгін, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, оранка, буксування.

Вступ. Однією з найбільш важливих задач сільськогосподарського виробництва є підвищення ефективності роботи колісного трактора при виконанні технологічних операцій, за рахунок обрання ефективних законів керування колісним трактором, які впливають на зниження енергетичних втрат.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Існує ряд публікацій [1 – 2] присвячених розгляду питань пов'язаних з роботою колісних тракторів з гідрооб'ємно-механічною трансмісією (ГОМТ). Зокрема, в роботі [2] ідентифіковані основні параметри трансмісії, типорозмір гідромашин гідрооб'ємної передачі (ГОП) і т.д.

Процес розгону колісного трактора при виконанні технологічної операції «оранка» моделюється на основі публікацій [3 – 7]. Зокрема, матеріали з роботи [5 – 6] будуть використовуватись для складання математичної моделі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), яка буде враховувати завантаження двигуна внутрішнього згорання по крутному моменту, частоті обертання колінчастого валу, а також закон зміни коефіцієнту, котрий характеризує положення органу керування подачею палива. На основі робіт [3 – 4] буде моделюватись математична модель трансмісії, яка описуватиме динамічні процеси в ГОМТ та враховуватиме закони зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП. В даній роботі також використовуватимуться доволі розповсюджені математичні моделі, що наведені в публікаціях [3 – 4, 7], які описують взаємодію коліс з опорною поверхнею.

Мета та постановка завдань

Метою даної роботи є аналіз результатів теоретичного дослідження процесу розгону трактора з безступінчастою ГОМТ.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

– визначити вплив законів зміни: коефіцієнту, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, параметрів регулювання гідромашин ГОП, сили тяги на гаку, робочих об'ємів гідромоторів на показники перепаду робочого тиску в ГОП, потужності ДВЗ, коефіцієнту корисної дії (ККД) трансмісії та буксування коліс трактора при виконанні технологічної операції «оранка»;

– розглянути та проаналізувати розгін трактора при виконанні технологічної операції «оранка».

Результати теоретичного дослідження процесу розгону колісного трактора з безступінчастою гідрооб'ємно-механічною трансмісією

В ході теоретичного дослідження процесу розгону використовується колісний трактор Fendt 936 Vario, який оснащується ДВЗ потужністю 265 кВт та при цьому має оберти колінчастого валу 2200 об/хв., а також радіуси передніх коліс $r_{k1} = 0,8$ м, задніх коліс $r_{k2} = 0,98$ м, та має масу трактора 10830 кг.

За допомогою системи Matlab підсистеми моделювання динамічних процесів Simulink (рис. 1) складена програмна реалізація математичної моделі процесу розгону колісного трактора. Дана програмна реалізація дозволяє змоделювати розгін трактора з навісним обладнанням та без нього (блок «Навісне обладнання») при різних кутах підйому земельної поверхні, змінювати параметри трансмісії (блок «Математична модель ГОМТ»), змінювати характеристики двигуна внутрішнього згорання (блок «Математична модель двигуна»), змінювати силу тяги на гаку (блок «Навісне обладнання») і т.п. Також слід зазначити, що змінювати час процесу розгону, відповідно швидкість руху та значення сили тяги на гаку можна за допомогою блоків «Закон зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП (гідронасосу $e_1(t)$ та гідромотору $e_2(t)$)», «Закон зміни коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$, котрий характеризує положення органу керування подачею палива» та «Закон зміни сили тяги на гаку», який залежить від зміни коефіцієнту $h_p(t)$, котрий характеризує процес заглиблення плуга в ґрунт, в процесі виконання технологічної операції «оранка».

Результати теоретичного дослідження процесу розгону колісного трактору Fendt 936 Vario будуть розглядатися з законами зміни: коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, параметрів регулювання гідромашин ГОП $e_1(t)$ та $e_2(t)$, сили тяги на гаку (коефіцієнту $h_p(t)$), котрі будуть мати різний час зміни. Таким чином в табл. 1 наводяться чотири варіанти, протягом яких буде змінюватись закони зміни.

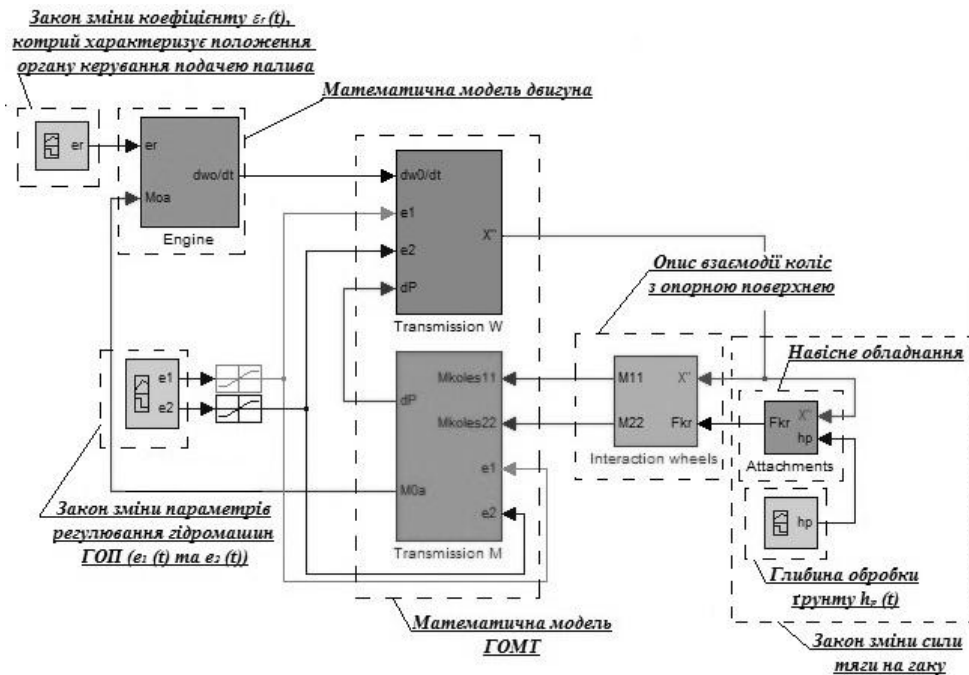


Рис. 1 - Програмна реалізація математичної моделі в системі Matlab за допомогою підсистеми моделювання динамічних процесів Simulink

Таблиця 1

Варіанти законів зміни колісного трактора Fendt 936 Vario в процесі розгону

Варіанти	Час, за який буде відбуватися зміна законів, с.		
	Коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$	Параметрів $e_1(t)$ та $e_2(t)$	Коефіцієнту $h_p(t)$
I	200		100
II	100		50
III	20		10
IV	10		5

Закони зміни коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, буде змінюватись в межах $\varepsilon_r \in [0,46; 1]$ в I варіанті (рис. 2 (а)) за період $t \in [0; 200]$ с., в II варіанті (рис. 2 (б)) за період $t \in [0; 100]$ с., в III варіанті (рис. 2 (в)) за період $t \in [0; 20]$ с., в IV варіанті (рис. 2 (г)) за період $t \in [0; 10]$ с.

Параметри $e_1(t)$ та $e_2(t)$, які характеризують закони зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП, змінюються в межах $e_1 \in [0,13; 1]$ та $e_2 \in [1; 0,09]$ в I варіанті (рис. 3 (а)) за період $t_1 \in [0; 100]$ с. та $t_2 \in [100; 200]$ с., в II варіанті (рис. 3 (б)) за період $t_1 \in [0; 50]$ с. та $t_2 \in [50; 100]$ с., в III варіанті (рис. 3 (в)) за період $t_1 \in [0; 10]$ с. та $t_2 \in [10; 20]$ с., в IV варіанті (рис. 3 (г)) за період $t_1 \in [0; 5]$ с. та $t_2 \in [5; 10]$ с.

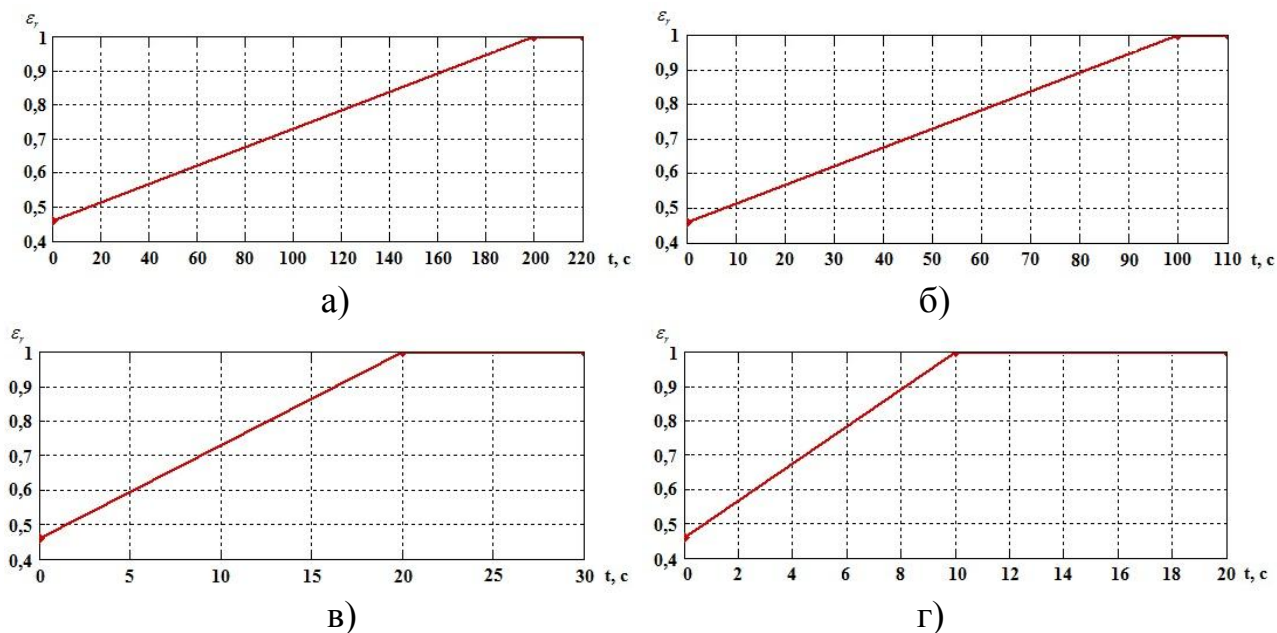


Рис. 2 - Закони зміни коефіцієнтів $\varepsilon_r(t)$, котрі характеризують положення органу керування подачею палива та мають залежність коефіцієнтів ε_r від часу t :

а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.

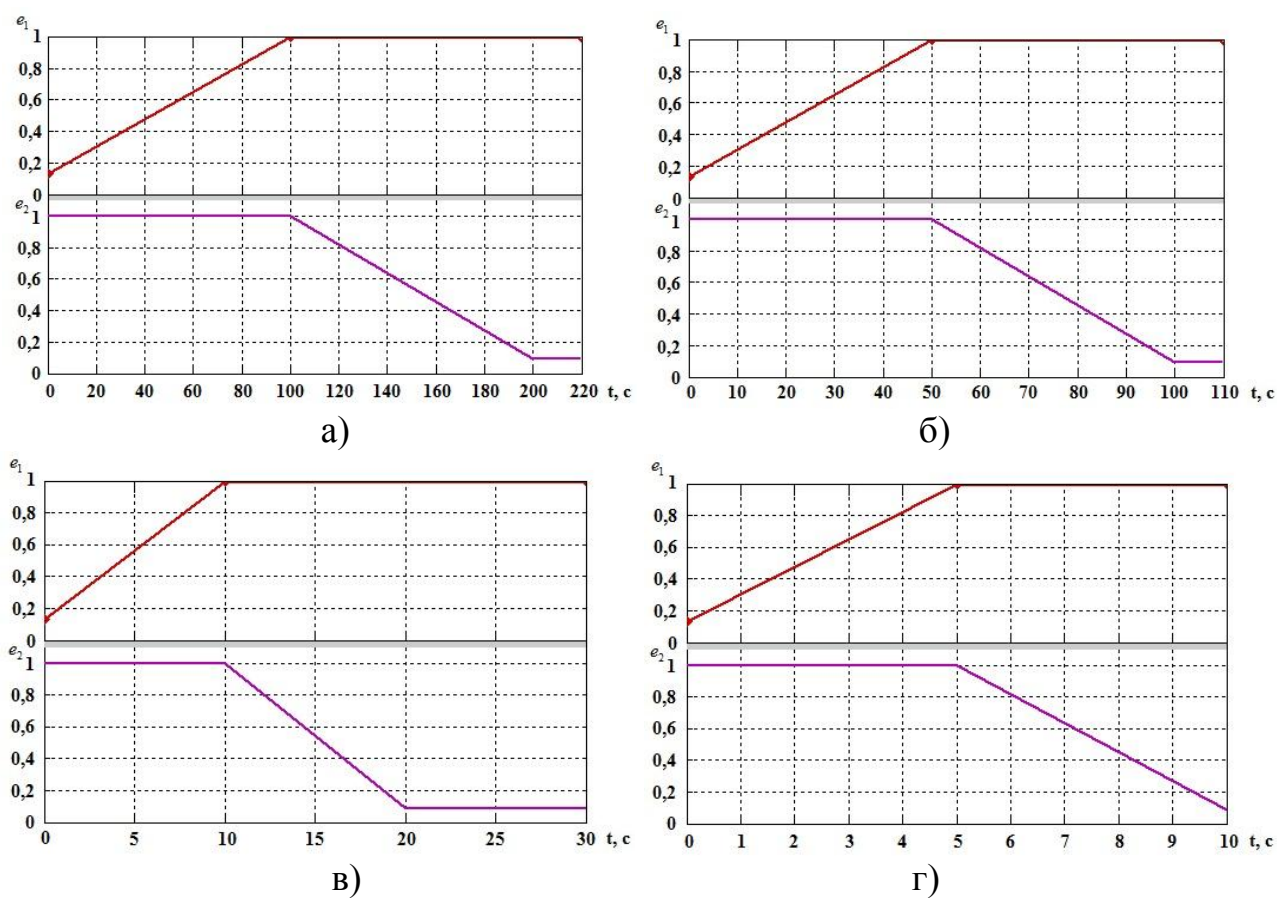


Рис. 3 - Закони зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП $e_1(t)$ та $e_2(t)$ (залежність параметрів e_1, e_2 від часу t):

а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.

Коефіцієнт $h_p(t)$, який характеризує процес заглиблення плуга в ґрунт та, відповідно, і закон зміни сили тяги на гаку, змінюється в межах $h_p \in [0; 1]$ в I варіанті (рис. 4 (а)) за період $t \in [0; 100]$ с., в II варіанті (рис. 4 (б)) за період $t \in [0; 50]$ с., в III варіанті (рис. 4 (в)) за період $t \in [0; 10]$ с., в IV варіанті (рис. 4 (г)) за період $t \in [0; 5]$ с.

В зв'язку з тим, що трактор буде досягати швидкості 10 км/год, а максимальна глибина обробки ґрунту складатиме $h_{II} = 0,28$ м при виконанні технологічної операції «оранка», максимальне значення сили тяги на гаку буде дорівнювати $F_{kp} = 54,5$ кН.

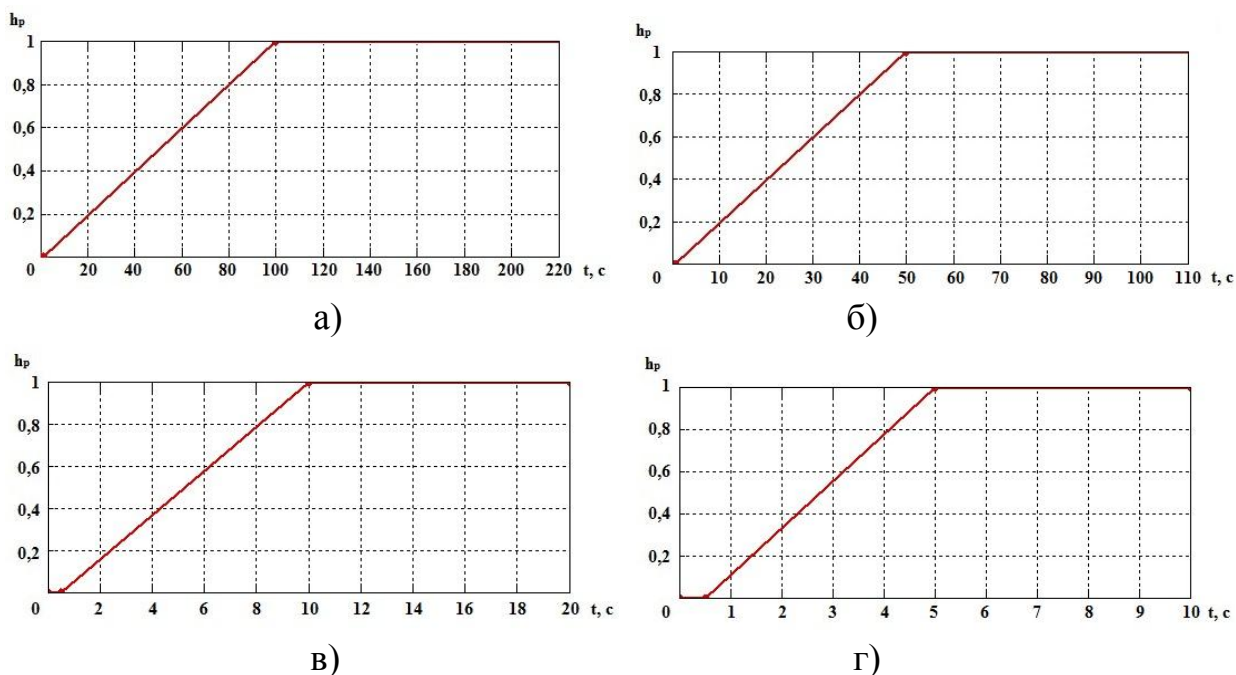
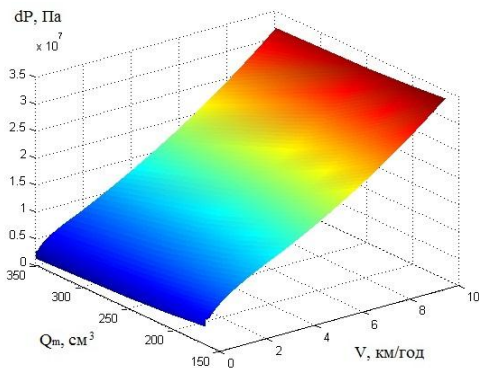
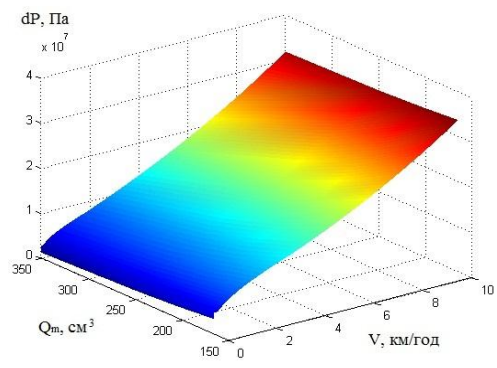


Рис. 4 - Закони зміни сили тяги на гаку $h_p(t)$ (залежність коефіцієнтів h_p від часу t):
а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.

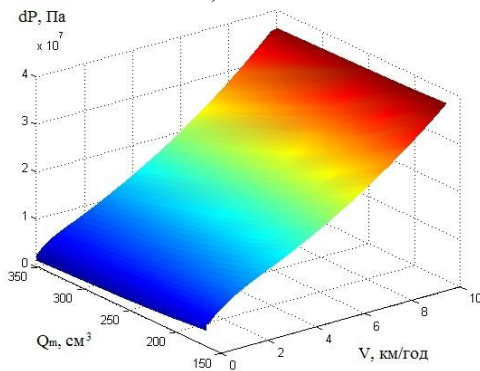
Результати моделювання в ході теоретичного дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varjo при виконанні технологічної операції «оранка» та при законах зміни: коефіцієнтів $\varepsilon_r(t)$, котрі характеризують положення органу керування подачею палива (рис. 2), параметрів регулювання гідромашин ГОП $e_1(t)$ та $e_2(t)$ (рис. 3), сили тяги на гаку, за допомогою коефіцієнту $h_p(t)$ (рис. 4), а також при різних робочих об'ємах гідромоторів Q_m (від 166 до 350 см³) та при змінній швидкості $V \in [0; 10]$ км/год, наведені на рис. 5 – 8.



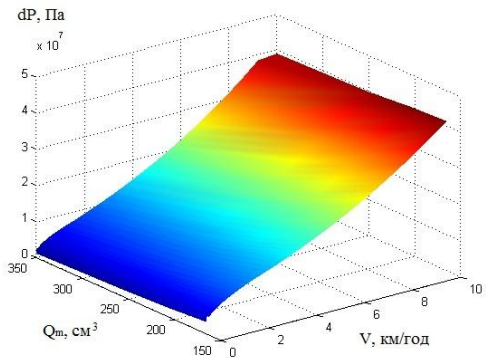
а)



б)

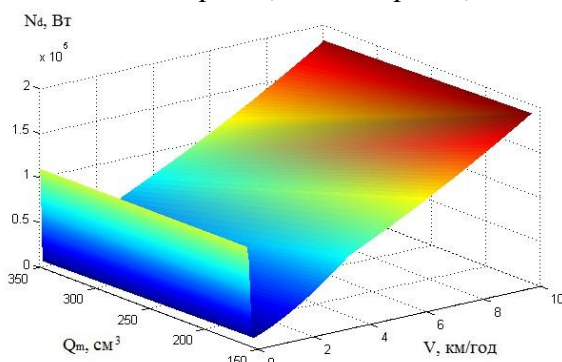


в)

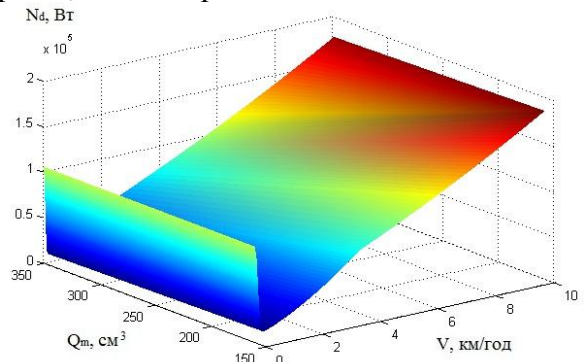


г)

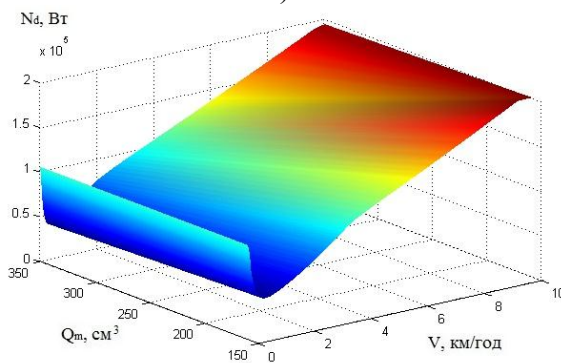
Рис. 5 - Поверхня перепаду робочого тиску в ГОП dP в координатах робочих об'ємів гідромоторів Q_m та швидкості трактора V при законах зміни (рис. 2 – 4): а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.



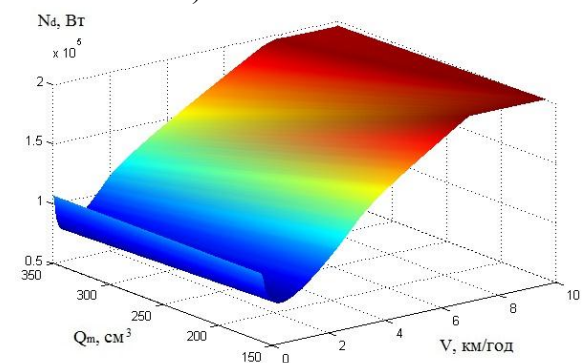
а)



б)

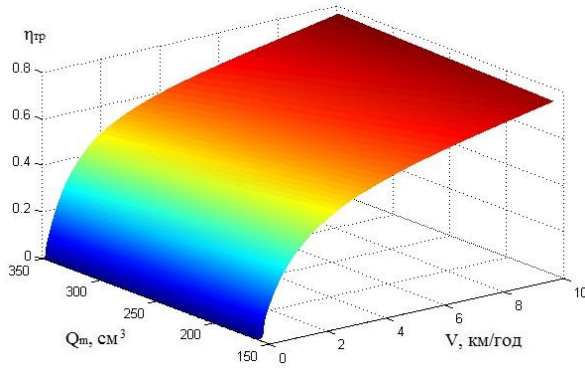


в)

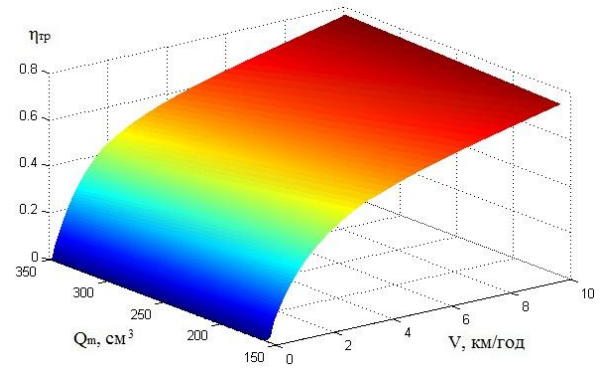


г)

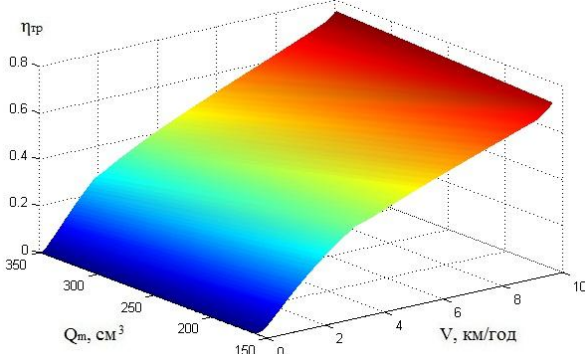
Рис. 6 - Поверхня потужності ДВЗ N_d в координатах робочих об'ємів гідромоторів Q_m та швидкості трактора V при законах зміни (рис. 2 – 4): а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.



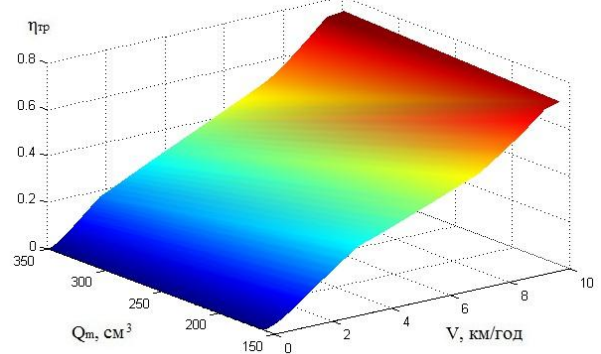
а)



б)

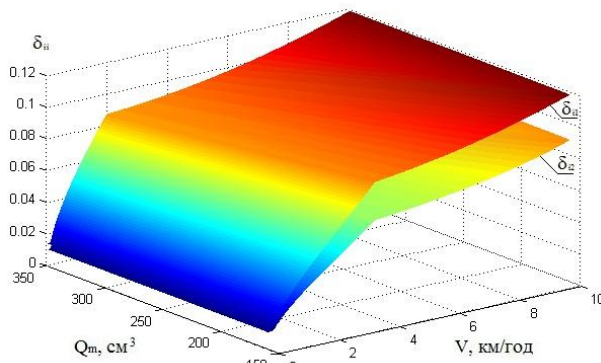


в)

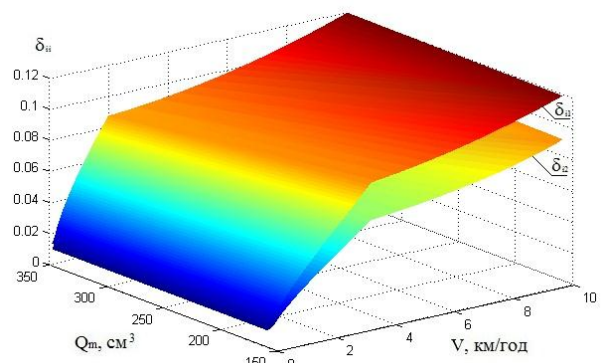


г)

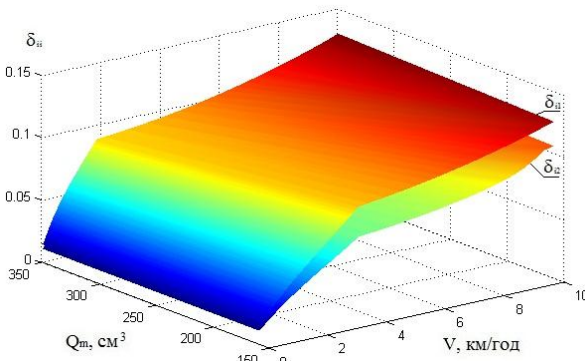
Рис. 7 - Поверхня ККД трансмісії $\eta_{тр}$ в координатах робочих об'ємів гідромоторів Q_m та швидкості трактора V при законах зміни (рис. 2 – 4):
а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.



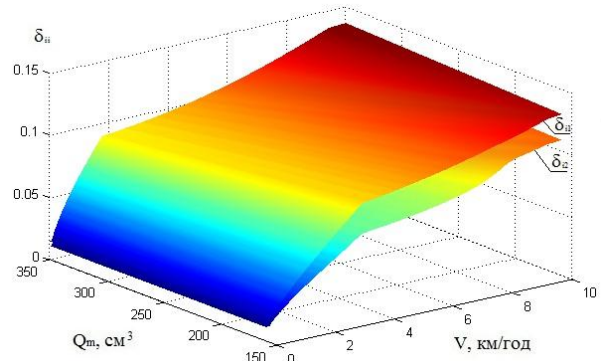
а)



б)



в)



г)

Рис. 8 - Поверхні буксування передніх δ_{i1} та задніх δ_{i2} коліс в координатах робочих об'ємів гідромоторів Q_m та швидкості трактора V при законах зміни (рис. 2 – 4):
а – I варіант; б – II варіант; в – III варіант; г – IV варіант.

В зв'язку з тим, що в ході теоретичного дослідження процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varіо при виконанні технологічної операції «оранка» обирається прямолінійний рух трактора та ідеальні умови роботи, то значення буксування на передніх колесах будуть однаковими, тобто $\delta_{11} = \delta_{21}$, а також на задніх колесах – $\delta_{12} = \delta_{22}$.

В результаті моделювання процесу розгону колісного трактора Fendt 936 Varіо було з'ясовано, що в залежності від законів зміни коефіцієнтів $\varepsilon_r(t)$ та $h_p(t)$, параметрів $e_1(t)$, $e_2(t)$, відбувається наступне:

– при використанні регульованих гідромоторів максимальним об'ємом 350 см^3 замість 166 см^3 в I варіанті спостерігається: зниження перепаду робочого тиску в ГОП dP на 4,86 %; зниження потужності ДВЗ N_d на 3,27 %; підвищення ККД трансмісії η_{TP} на 3,54 %; підвищення буксування передніх коліс δ_{i1} на 0,34 %, задніх коліс δ_{i2} на 0,78 %; підвищення часу розгону на 8,33 %;

– при використанні регульованих гідромоторів максимальним об'ємом 350 см^3 замість 166 см^3 в II варіанті спостерігається: зниження перепаду робочого тиску в ГОП dP на 3,82 %; зниження потужності двигуна N_d на 3,28 %; підвищення ККД трансмісії η_{TP} на 4,61 %; підвищення буксування передніх коліс δ_{i1} на 1,01 %, задніх коліс δ_{i2} на 2,21 %; підвищення часу розгону на 8,28 %;

– при використанні регульованих гідромоторів максимальним об'ємом 350 см^3 замість 166 см^3 в III варіанті спостерігається: зниження перепаду робочого тиску в ГОП dP на 2,73 %; зниження потужності двигуна N_d на 2,57 %; підвищення ККД трансмісії η_{TP} на 5,99 %; підвищення буксування передніх коліс δ_{i1} на 4,01 %, задніх коліс δ_{i2} на 3,23 %; підвищення часу розгону на 7,89 %;

– при використанні регульованих гідромоторів максимальним об'ємом 350 см^3 замість 166 см^3 в IV варіанті спостерігається: зниження перепаду робочого тиску в ГОП dP на 4,05 %; зниження потужності двигуна N_d на 2,05 %; підвищення ККД трансмісії η_{TP} на 5,71 %; підвищення буксування передніх коліс δ_{i1} на 5,99 %, задніх коліс δ_{i2} на 4,73 %; підвищення часу розгону на 7,37 %;

– при використанні IV варіанту замість I варіанту для гідромоторів з робочим об'ємом $166 - 350 \text{ см}^3$, спостерігається: підвищення перепаду робочого тиску в ГОП dP на 23,93 – 25 %; підвищення потужності двигуна N_d на 10,59 – 12 %; зниження ККД трансмісії η_{TP} на 5,64 – 3,67 %; підвищення буксування передніх коліс δ_{i1} на 9,08 – 15,22 %, задніх коліс δ_{i2} на 20,56 – 25,28 %.

Висновки

При використанні гідромотору з робочим об'ємом 350 см^3 замість 166 см^3 , при різних законах зміни: коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, параметрів регулювання

гідромашин ГОП $e_1(t)$ та $e_2(t)$, сили тяги на гаку (коефіцієнту $h_p(t)$), відбувається зменшення значень перепаду робочого тиску в ГОП та потужності ДВЗ, а також підвищення ККД трансмісії та буксування, як передніх коліс, так і задніх.

Зменшення часу розгону колісного трактора з безступінчастою ГОМТ, за допомогою законів зміни: коефіцієнту $\varepsilon_r(t)$, котрий характеризує положення органу керування подачею палива, параметрів регулювання гідромашин ГОП $e_1(t)$ та $e_2(t)$ та сили тяги на гаку (коефіцієнту $h_p(t)$), призводить до збільшення перепаду робочого тиску в ГОП, потужності ДВЗ, буксування коліс, а також зменшення ККД трансмісії за рахунок збільшення прискорення трактору.

Список використаних джерел

1. Самородов В.Б. Безступінчасті гідрооб'ємно-механічні трансмісії як невід'ємний елемент сучасних тракторів / В.Б. Самородов, В.В. Єпіфанов, А.І. Бондаренко // Вісник СевНТУ. – 2012. – № 135. – С. 244 – 247.
2. Самородов, В.Б. Анализ бесступенчатой трансмиссии тракторов серии Fendt 900 Vario: что скрывается за рекламой? / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // “Тракторы и сельхозмашины”. – 2012. – № 6. – С. 48 – 52.
3. Самородов В.Б. Динаміка процесу розгону колісних тракторів серії Fendt 900 Vario / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. Серія: Прикладна механіка. – 2013. – № 1 (61). – С. 4 – 11.
4. Самородов В.Б. Динаміка процесу розгону колісного трактора-аналога “Беларус 3022 ДВ” з гідрооб'ємно-механічною трансмісією / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. Серія: Прикладна механіка. – 2012. – № 6 (60). – С. 15 – 19.
5. Ребров А.Ю. Математическая модель дизельного двигателя в безразмерных величинах с учетом его загрузки и подачи топлива / А.Ю. Ребров, Т.А. Коробка, С.В. Лахман // Вісник НТУ «ХП». Серія: «Транспортне машинобудування». – 2012. – № 19. – С. 31 – 36.
6. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора / Кутьков Г.М. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
7. Самородов В.Б. Развитие классических методов тягового расчета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА / В.Б. Самородов, А.Ю. Ребров // Вісник НТУ «ХП». Серія: «Автомобіле- та тракторобудування». – 2008. – № 58 – С. 11 – 20.

Аннотация

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗГОНА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С БЕССТУПЕНЧАТОЙ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Кожушко А. П.

В работе приведены результаты теоретического исследования процесса разгона колесного трактора Fendt 936 Vario с бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией при выполнении технологической операции «пахота» с различными законами изменения: коэффициента, который характеризует положение органа управления подачей топлива, параметров регулирования гидромашин гидрообъемной передачи, силы тяги на крюке. В ходе теоретического исследования также устанавливается влияние изменения рабочих объемов гидромоторов на такие показатели, как перепад рабочего давления в гидрообъемной передаче, мощность двигателя внутреннего сгорания, коэффициента полезного действия трансмиссии и буксования колес трактора при выполнении технологической операции «пахота» в процессе разгона колесного трактора.

Abstract

RESULTS OF THEORETICAL RESEARCH OF ACCELERATION WHEELED TRACTOR STEPLESS HYDROSTATIC MECHANICAL TRANSMISSIONS

A. Kozhushko

This paper presents the results of theoretical research of process acceleration wheel tractor Fendt 936 Vario with stepless hydrostatic mechanical transmission in the performance of technological operations "plowing" with different laws change: coefficient, which characterizes the position of the controls fuel delivery, parameters for controlling fluid of hydraulic transmission, traction on the hook. During the theoretical research also established the effect of changes in working volume hydraulic indicators such as the drop in operating pressure of hydraulic transmission, power of the internal combustion engine, the efficiency of transmission and slipping wheel tractor in the performance of technological operations "plowing" during acceleration wheeled tractor.