

Логвин Валерій Олександрович, аспірант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», e-mail: logvyn_valerii@mail.ru.

Корінчук Катерина Олексіївна, аспірант, відділ теплофізичних процесів в котлах, Інститут технічної теплофізики НАНУ, e-mail: engecology@gmail.com.

Безносик Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Логвин Валерій Олександрович, аспірант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».
Корінчук Катерина Алексеевна, аспірант, отдел теплофизических процессов в котлах, Институт технической теплофизики НАНУ.

Beznosyk Yuriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: yu_beznosyk@ukr.net.

Logvyn Valeriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: logvyn_valerii@mail.ru.

Kotinchuk Kateryna, Institute of Engineering Thermophysics of NASU, e-mail: engecology@gmail.com

УДК 629.4.075

**Самородов В. Б.,
Бондаренко А. І.**

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ ТРАКТОРА-АНАЛОГА «БЕЛАРУС 3022 ДВ» З ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

У роботі визначено вплив законів зміни параметрів регулювання гідروоб'ємної передачі, робочих об'ємів гідромотора на основні параметри трансмісії та буксування коліс трактора при змінній силі тяги на гаку та розгоні на тяговому діапазоні, проведено порівняльний аналіз буксування коліс трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з гідрооб'ємно-механічною трансмісією з трактором, що має еквівалентні параметри, але механічну трансмісію. Також в роботі розглянуто та проаналізовано розгін трактора при виконанні транспортних робіт.

Ключові слова: розгін, колісний трактор, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, буксування, динаміка, тяговий режим.

1. Вступ

За даними досліджень тільки близько 12 % площі полів не підверглися дії рушіїв, а сумарна площа слідів рушіїв більш ніж в два рази перевищує площу поля. Недобір урожаю з цієї причини досягає за різними даними від 20 до 40 %. Найбільш помітним і ключовим чинником в ущільненні ґрунту є буксування. Особливо підвищене буксування спостерігається при роботі колісних тракторів на м'яких і вологих ґрунтах.

Останнім часом почали широко використовуватися трактори з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ) і, відповідно, постало питання пов'язане з можливістю зниження буксування коліс даних тракторів в порівнянні з тракторами, що мають еквівалентні параметри, але механічну трансмісію.

2. Аналіз останніх досягнень і публікацій

В роботах [1–7] визначені переваги та недоліки ГОМТ, області їх застосування, оцінено доцільність використання ГОМТ на сільськогосподарських машинах, визначені кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ, що розроблена для тракторів «Беларус 3022 ДВ» з потужністю двигуна 300–350 к. с. з диференціалом на виході і двома керованими гідроагрегатами та створена Індустріальною групою «Українська промислова енергетична компанія» в тісному

творчому контакті з НТУ «ХПІ» і ТОВ «Українське бюро трансмісій і шасі».

В роботах [8–10] наведена математична модель двигуна внутрішнього згоряння, модель ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ», опис взаємодії коліс з опорною поверхнею, фізичні та математичні моделі процесу розгону колісних тракторів при русі переднім та заднім ходом. Саме матеріали з робіт [8–10] і будуть використовуватися для моделювання процесу розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ.

3. Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є аналіз результатів моделювання процесу розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити вплив законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємної передачі (ГОП), робочих об'ємів гідромоторів на основні параметри трансмісії та буксування коліс трактора при змінній силі тяги на гаку та розгоні на тяговому діапазоні;
- провести порівняльний аналіз буксування коліс трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ з трактором, що має еквівалентні параметри, але механічну трансмісію;
- розглянути та проаналізувати розгін трактора при виконанні транспортних робіт.

4. Результати моделювання процесу розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ

Для моделювання процесу розгону колісного трактора та перехідних процесів в ГОМТ створена програмна реалізація, що розроблена в системі Matlab за допомогою підсистеми моделювання динамічних процесів Simulink (рис. 1).

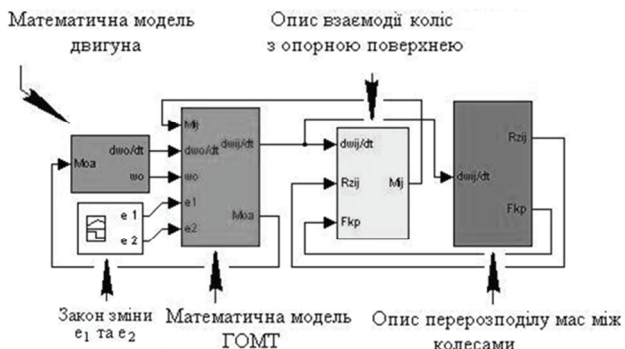


Рис. 1. Програмна реалізація процесу розгону трактора

Програмна реалізація процесу розгону колісного трактора (рис. 1) дозволяє моделювати рух переднім та заднім ходом, з причепом та без нього при різних кутах підйому дорожньої поверхні, різних трансмісіях (заміняється блок «математична модель ГОМТ»), різних двигунах (заміняється блок «математична модель двигуна»), різною силою тяги на гаку і т. п. Блок «закон змін e_1 та e_2 » дозволяє варіювати швидкістю руху трактора, часом розгону до заданої швидкості.

Результати моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» (двигун потужністю 300–350 к. с., максимальні оберти колінчастого валу двигуна 2100 об/хв., радіус передніх коліс $r_{i1}=0,703$ м, радіус задніх коліс $r_{i2}=0,923$ м; маса трактора 16000 кг) на тяговому діапазоні руху при законі зміни коефіцієнта $\epsilon_r(t)$, що характеризує положення органу керування подачею палива (рис. 2), та при різних законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ (рис. 3), які задаються з допомогою блоку Simulink – Signal Builder, різних робочих об'ємах гідромотора Q_m (від 250 до 350 см³), змінній силі тяги на гаку F_{kr} , представлені на рис. 4–13 (при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а та зміною сили тяги на гаку $F_{kr} \in [0; 49,5]$ кН по лінійному закону в діапазоні часу $t \in [10; 100]$ секунд на рис. 4–8; при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б та зміною сили тяги на гаку $F_{kr} \in [0; 49,5]$ кН по лінійному закону в діапазоні часу $t \in [10; 25]$ секунд на рис. 9–13).

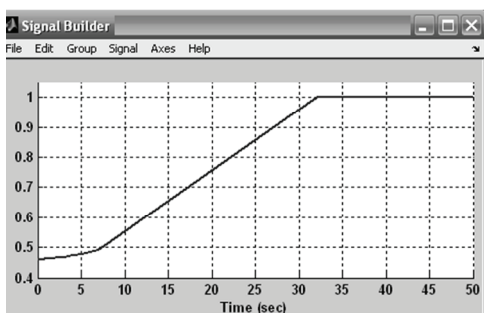


Рис. 2. Закон зміни коефіцієнта $\epsilon_r(t)$ (залежність коефіцієнта, що характеризує положення органу керування подачею палива ϵ_r від часу t)

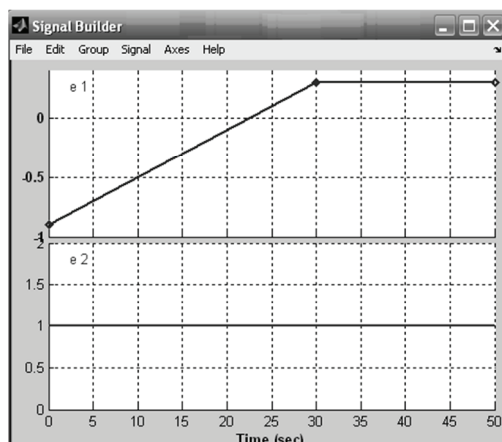
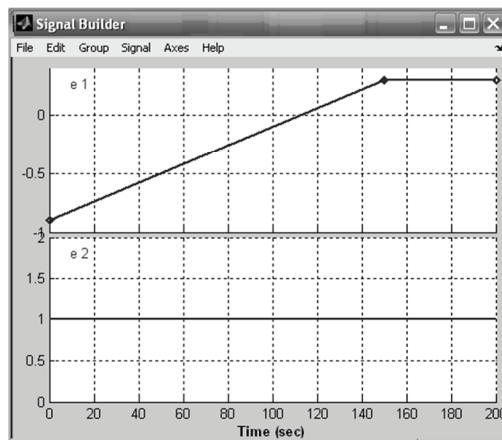


Рис. 3. Закони зміни відносних параметрів регулювання ГОП $e_1(t)$, $e_2(t)$ (залежність параметрів регулювання ГОП e_1 , e_2 від часу t)
а — повільний розгін; б — прискорений розгін

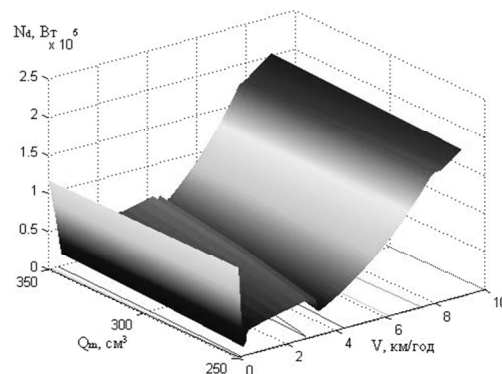


Рис. 4. Поверхня потужності двигуна N_d в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а

Моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на транспортному та тяговому діапазонах руху при коефіцієнті опору коченню $f=0,05$ відбувається без урахування буксування в зв'язку з тим, що цей параметр не суттєво впливає на параметри ГОМТ та динаміку розгону трактора при експлуатації без сили тяги на гаку, при прямолінійному русі, та за відсутності нахилу дорожньої поверхні.

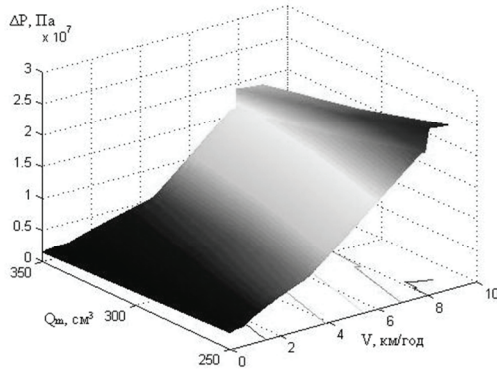


Рис. 5. Поверхня перепаду робочого тиску в ГОП Δp в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а

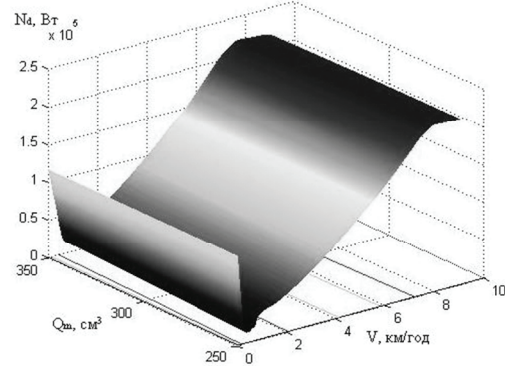


Рис. 9. Поверхня потужності двигуна N_d в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б

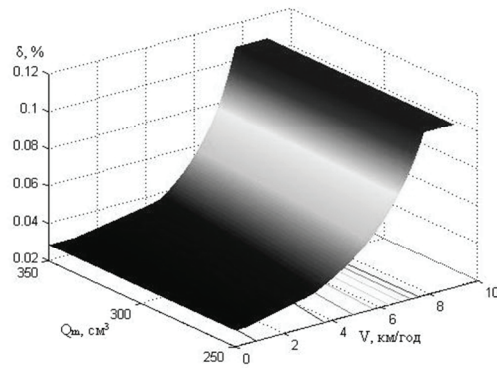


Рис. 6. Поверхня буксування передніх коліс δ в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а

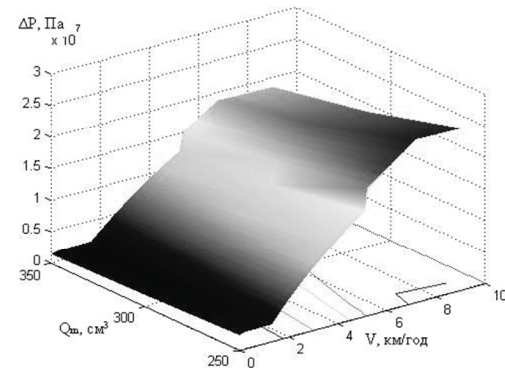


Рис. 10. Поверхня перепаду робочого тиску в ГОП Δp в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б

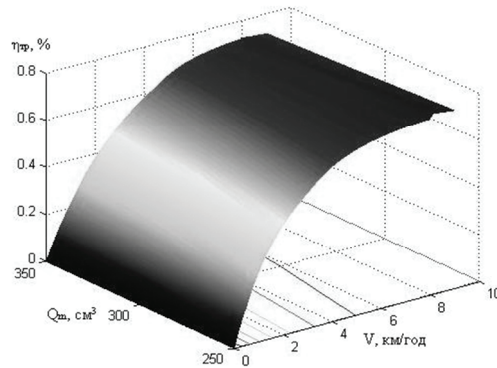


Рис. 7. Поверхня коефіцієнта корисної дії (ККД) трансмісії $\eta_{тр}$ в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а

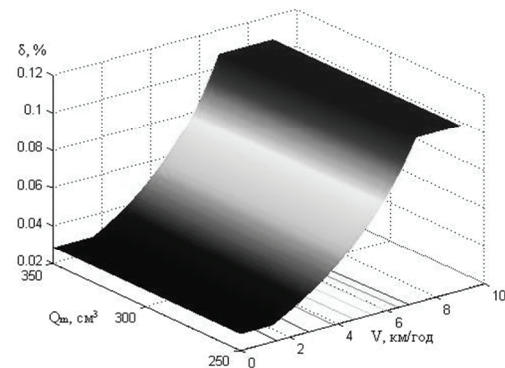


Рис. 11. Поверхня буксування передніх коліс δ в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б

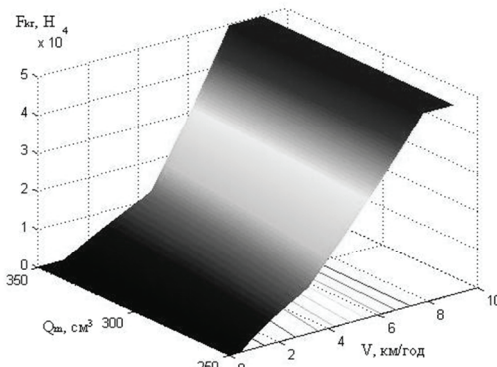


Рис. 8. Поверхня сили тяги на гаку F_{kr} в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а

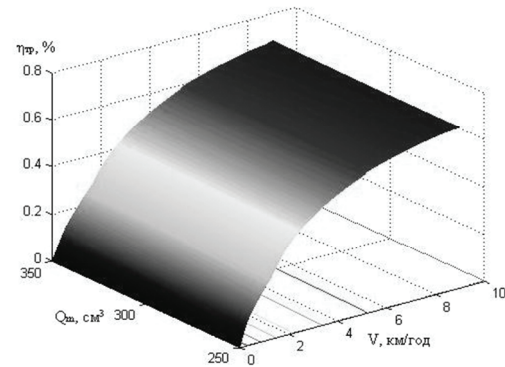


Рис. 12. Поверхня ККД трансмісії $\eta_{тр}$ в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б

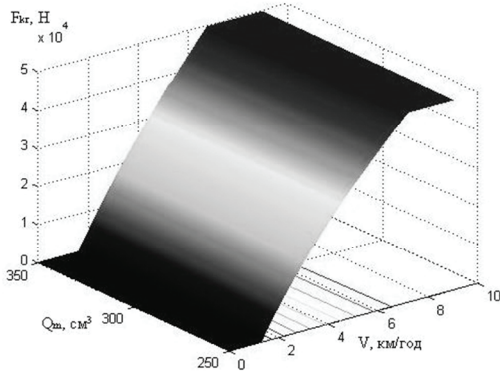


Рис. 13. Поверхня сили тяги на гаку F_{kr} в координатах робочих об'ємів гідромотора Q_m та швидкості трактора V при законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б

Результати моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на транспортному та тяговому діапазонах руху при $f=0,05$ і різних законах зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ представлені на рис. 14–17.

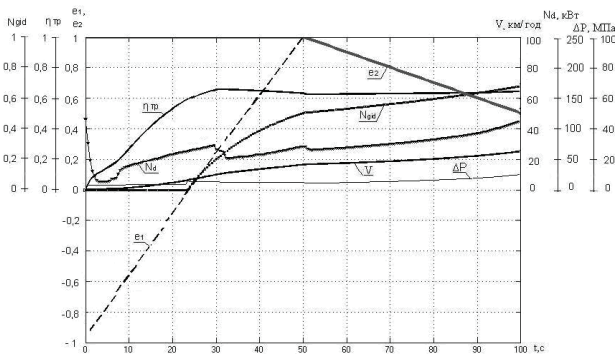


Рис. 14. Результати аналізу ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на тяговому діапазоні руху, час розгону 100 с. (залежність основних параметрів трансмісії e_1 , e_2 , N_{gid} , η_{TP} , ΔP , швидкості трактора V та потужності двигуна N_d від часу t)

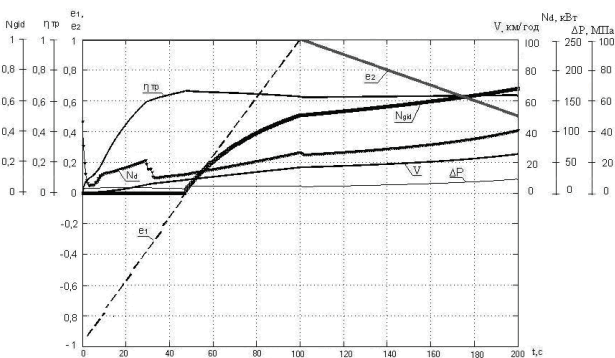


Рис. 15. Результати аналізу ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на тяговому діапазоні руху, час розгону 200 с (залежність основних параметрів трансмісії e_1 , e_2 , N_{gid} , η_{TP} , ΔP , швидкості трактора V та потужності двигуна N_d від часу t)

На рис. 18 наведено буксування передніх коліс трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» при різних робочих об'ємах гідромотора та змінній силі тяги на гаку (лінії 1–6), буксування тих же коліс трактора з механічною трансмісією і еквівалентними параметрами (лінія 7).

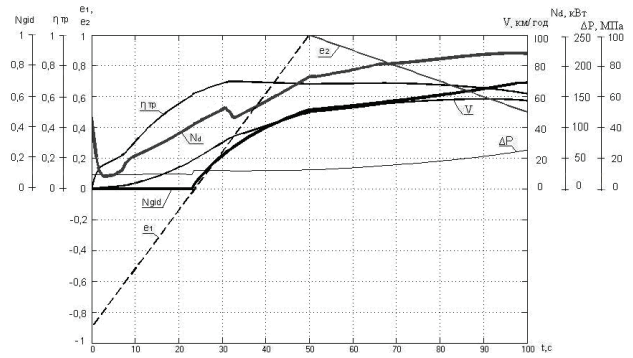


Рис. 16. Результати аналізу ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на транспортному діапазоні руху, час розгону 100 с (залежність основних параметрів трансмісії e_1 , e_2 , N_{gid} , η_{TP} , ΔP , швидкості трактора V та потужності двигуна N_d від часу t)

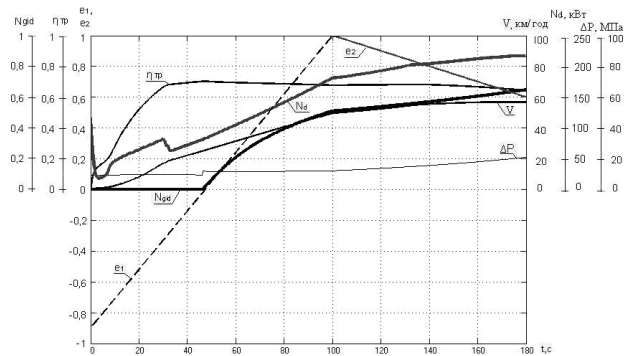


Рис. 17. Результати аналізу ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на транспортному діапазоні руху, час розгону 180 с (залежність основних параметрів трансмісії e_1 , e_2 , N_{gid} , η_{TP} , ΔP , швидкості трактора V та потужності двигуна N_d від часу t)

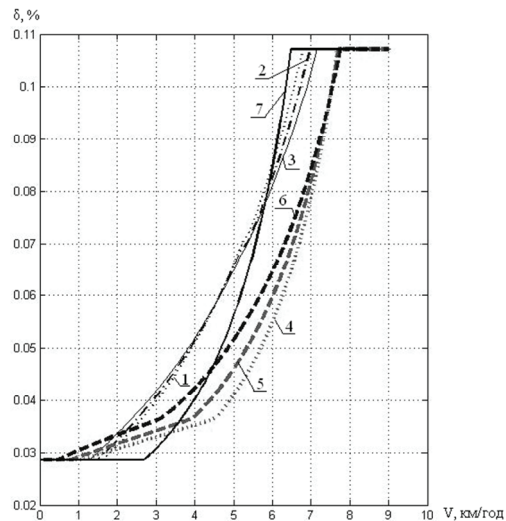


Рис. 18. Залежність буксування передніх коліс δ від швидкості руху трактора V : 1 — робочий об'єм гідромотора 350 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б; 2 — робочий об'єм гідромотора 300 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б; 3 — робочий об'єм гідромотора 250 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,б; 4 — робочий об'єм гідромотора 350 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а; 5 — робочий об'єм гідромотора 300 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а; 6 — робочий об'єм гідромотора 250 см^3 , закон зміни $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а; 7 — трактор з механічною трансмісією

В результаті моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на тяговому діапазоні руху було встановлено:

— при використанні гідромотора максимальним об'ємом 350 см^3 замість 250 см^3 спостерігається, в залежності від закону зміни $e_1(t)$, зниження Δp_{\max} на 28,11 %; зміна $N_{d\max}$ в діапазоні — 1,80–5,80 %, зміна $\eta_{\text{ТР}\max}$ в діапазоні — 1,8–5,5 %; сила тяги на гаку $F_{kr\max}$ та буксування коліс δ суттєво не змінюються;

— при застосуванні закону зміни відносних параметрів регулювання ГОП $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 3,а замість рис. 3,б спостерігається, в залежності від максимального об'єму гідромотора, зниження Δp_{\max} на 0,67–2,72 %, $N_{d\max}$ на 5,76–13,78 %, підвищення $\eta_{\text{ТР}\max}$ на 4,22–10,02 %, буксування коліс δ від 0 % до більш ніж 100 %; сила тяги на гаку $F_{kr\max}$ суттєво не змінюється;

— використання ГОМТ замість механічної трансмісії при певному законі зміни відносного параметру регулювання ГОП $e_1(t)$ призводить до зниження буксування коліс. Чим менше інтенсивність зміни параметру регулювання $e_1(t)$, тим менше буксування.

В результаті моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на тяговому діапазоні руху при $f=0,05$ та застосуванні закону зміни відносних параметрів регулювання ГОП $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 15 замість рис. 14 спостерігається зниження Δp_{\max} на 1,10 %, $N_{d\max}$ на 9,20 %; значення $\eta_{\text{ТР}\max}$ та потужності у відсотках, що передається через гідравлічну гілку до вихідної потужності із замкнутого контуру, майже не змінюються.

В результаті моделювання розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» на транспортному діапазоні руху при $f=0,05$ та застосуванні закону зміни відносних параметрів регулювання ГОП $e_1(t)$, $e_2(t)$ з рис. 17 замість рис. 16 спостерігається зниження Δp_{\max} на 20,10 %, $N_{d\max}$ на 1,30 %, значення $\eta_{\text{ТР}\max}$ та потужності у відсотках, що передається через гідравлічну гілку до вихідної потужності із замкнутого контуру, майже не змінюються.

5. Висновки

1. Підвищення інтенсивності зміни параметрів регулювання $e_1(t)$, $e_2(t)$ призводить до збільшення буксування коліс, перепаду робочого тиску в ГОП, потужності двигуна за рахунок збільшення дії сили опору, прискоренню трактора.
2. Збільшення робочого об'єму гідромотора призводить до зменшення перепаду робочого тиску в ГОП.
3. Розрахунково-теоретичним шляхом підтверджена гіпотеза, що однією з переваг ГОМТ є забезпечення меншого буксування, ніж при ступінчастих трансмісіях на аналогічних режимах роботи. Чим менше інтенсивність зміни параметрів регулювання $e_1(t)$, $e_2(t)$, тим яскравіше проявляється різниця в значенні буксування.

Література

1. Самородов, В. Б. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий [Текст] : сб. научн. трудов. / В. Б. Самородов, А. В. Рогов, М. Б. Бурлыга, Б. В. Самородов // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск: «Автомобиле- и тракторостроение». — 2003. — № 4. — С. 3–19.
2. Щельцын, Н. А. Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов [Текст] / Н. А. Щельцын, Л. А. Фрумкин, И. В. Иванов // «Тракторы и сельхозмашины». — 2011. — № 11. — С. 18–26.

3. Рогов, А. В. Развитие методов расчета систем «двигатель — трансмиссия» автомобилей и тракторов [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / А. В. Рогов. — Харків, 2006. — 24 с.
4. Айтцетмюллер, Х. Функциональные свойства и экономичность тракторной и специальной техники с трансмиссиями VDC [Текст] / Х. Айтцетмюллер // Механика машин, механизмов и материалов. — 2009. — № 1(6). — С. 20–24.
5. Самородов, В. Б. Тенденції та перспективи застосування в автомобіле- і тракторобудуванні безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісій [Текст] : сб. научн. трудов / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Автомобильный транспорт. — 2012. — № 30. — С. 13–22.
6. Самородов, В. Б. Безступінчасті гідрооб'ємно-механічні трансмісії як невід'ємний елемент сучасних тракторів [Текст] : зб. наук. пр. / В. Б. Самородов, В. В. Єпіфанов, А. І. Бондаренко // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. — 2012. — № 135. — С. 244–247.
7. Самородов, В. Б. Аналіз безступінчастих двопотоківих гідрооб'ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем [Текст] : зб. наук. праць / В. Б. Самородов, О. В. Григоров, А. І. Бондаренко // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. — 2012. — № 20. — С. 24–46.
8. Самородов, В. Б. Динаміка процесу розгону колісного трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з гідрооб'ємно-механічною трансмісією [Текст] / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — Т. 6, № 7(60). — С. 15–19.
9. Самородов, В. Б. Динаміка процесу розгону колісних тракторів серії Fendt 900 Vario [Текст] / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — Т. 1, № 3(61). — С. 4–11.
10. Чудаков, Д. А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля [Текст] / Д. А. Чудаков. — М.: «Колос», 1972. — 384 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗГОНА ТРАКТОРА-АНАЛОГА «БЕЛАРУС 3022 ДВ» С ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

В работе определено влияние законов изменения параметров регулирования гидрообъемной передачи, рабочих объемов гидромотора на основные параметры трансмиссии и буксование колес трактора при переменной силе тяги на крюке и разгоне на тяговом диапазоне, проведен сравнительный анализ буксования колес трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» с гидрообъемно-механической трансмиссией с трактором, который имеет эквивалентные параметры, но механическую трансмиссию. Также в работе рассмотрен и проанализирован разгон трактора при выполнении транспортных работ.

Ключевые слова: разгон, колесный трактор, гидрообъемно-механическая трансмиссия, буксование, динамика, тяговый режим.

Самородов Вадим Борисович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».

Бондаренко Анатолій Ігорович, кандидат технічних наук, кафедра «Автомобіле- і тракторобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: anatoliybon@rambler.ru.

Самородов Вадим Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобиле- и тракторостроения», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

Бондаренко Анатолий Игоревич, кандидат технических наук, кафедра «Автомобиле- и тракторостроения», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт».

Samorodov Vadim, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute».

Bondarenko Anatoliy, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», e-mail: anatoliybon@rambler.ru