УДК 621.83.062.1: 629.4-592

НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ГАЛЬМУВАННЯМ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ З БЕЗСТУПІНЧАСТИМИ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИМИ ТРАНСМІСІЯМИ

Бондаренко А.І., к.т.н., доцент
(Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут")

В роботі представлені результати дослідження розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних

структур, виявлено та систематизовано основні закономірності робочих процесів у такого типу безступінчастих трансмісій. Встановлено вплив способів службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма та законів зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі на основні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур, а також керованість та гальмівну ефективність. Синтезовано для службового та екстреного гальмування оптимальні закони керування процесом гальмування колісних тракторів з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями.

Вступ. Зростаючий обсяг виробництва сільськогосподарської продукції неможливий без збільшення об'ємів транспортних перевезень в даній галузі. Широка номенклатура вантажів, що перевозяться, різкі коливання в потребі транспорту протягом року є передумовами ефективного використання колісних тракторів в сільському господарстві. В той же час з появою нових типів гідромашин об'ємного типу, підвищенням транспортних швидкостей колісних тракторів особливо загострилась проблема збереження безпеки в режимі гальмування. На жаль, у даний час не виявлено та не систематизовано вплив способів службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма та законів зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі (ГОП) на кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій (ГОМТ) різних структур, а також керованість та гальмівну ефективність. Цьому перешкоджає відсутність системного підходу до визначення основних закономірностей робочих процесів у такого типу безступінчастих трансмісій, а також – відсутність необхідних критеріїв оцінки. Отже, розроблення теоретичних основ аналізу та керування гальмуванням колісних тракторів з безступінчастими ГОМТ становить важливу і актуальну науково-прикладну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням з розробки об'ємних гідромашин та ГОП, створення і дослідження ГОМТ для колісних та гусеничних тракторів, вантажних автомобілів, комбайнів, дорожньо-будівельних машин присвячені праці Айтцетмюллера Х., Аврунiна Г.А., Александрова Є.Є., Башти Т.М., Борисюка М.Д., Васильченка В.О., Городецького К.І., Деркача О.І, Домогарова В.В., Забелішинського З.Е., Каменова О.В., Кісточкіна Є.С., Комісарика С.Ф., Кононенка В.О., Крюкова А.П., Курмаєва Р.Х., Лебедєва А.Т., Ловцова Ю.І., Назарова Л.В., Панченка А.І., Петрова В.А., Пономаренка Ю.Ф., Прокофьєва В.М., Прочка Є.І., Рогова А.В., Самородова В.Б., Суковіна М.В., Тарана І.О., Токаря І.А., Філічкіна М.В., Monika M.I., Blake A.C., Kyle R.W., Weber M. та ін. [1 – 6].

Не зважаючи на чисельні праці вчених, що до створення та дослідження ГОМТ для самохідних машин [1 – 6], питанням системного аналізу та оптимального керування гальмуванням колісних тракторів з безступінчастими ГОМТ увага практично не приділяється.

На даний момент взагалі не відомі публікації, що стосуються дослідження

питання динаміки процесу гальмування колісних тракторів з ГОМТ, окрім робіт [4, 5], в яких наводиться методика визначення гальмівних характеристик самохідних сільськогосподарських машин з гідростатичним приводом ведучих коліс, на прикладі зернозбиральних комбайнів.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою дослідження є розробка науково-прикладних основ системного аналізу та оптимального керування гальмуванням колісних тракторів з безступінчастими ГОМТ для підвищення конструктивної надійності ГОМТ, а також керованості та гальмівної ефективності трактора за рахунок удосконалення керування процесом гальмування.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

– формалізувати розподіл кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ різних структур, виявити та систематизувати основні закономірності робочих процесів у такого типу безступінчастих трансмісій;

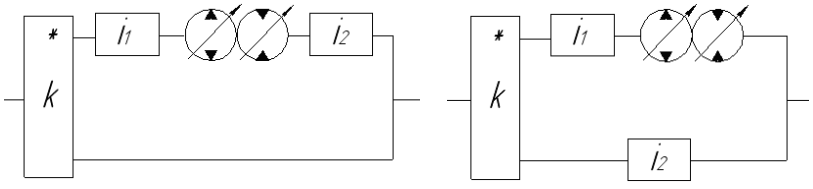
– виявити та систематизувати вплив способів службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма та законів зміни параметрів регулювання гідромашин ГОП на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ різних структур, а також керованість та гальмівну ефективність;

– синтезувати для службового та екстреного гальмування оптимальні закони керування процесом гальмування колісних тракторів з ГОМТ.

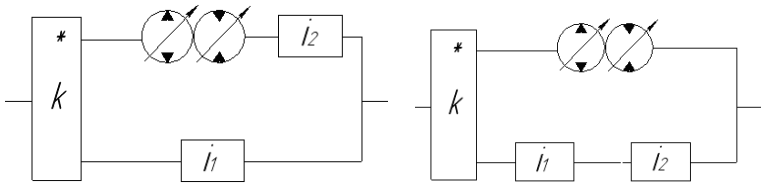
Основна частина. В зв’язку з тим, що конструкції ГОМТ розвиваються у бік зменшення числа фрикційних багатодискових муфт, відповідно зменшення кількості піддіапазонів і складних механічних частин, проаналізуємо схеми «диференціал на вході», «диференціал на виході», як такі, що найчастіше використовуються і є складовою будь-якої ГОМТ.

У ГОМТ, що працюють за схемами «диференціал на вході», «диференціал на вході» можливі по 6 варіантів з’єднання механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного ряду (ПР), які можуть реалізовуватися у вигляді 24 схем замкнутих контурів ГОМТ (рис. 1, 2).

За результатами комплексного дослідження розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ різних структур, виявлено та систематизовано основні закономірності робочих процесів у такого типу безступінчастих трансмісій [1, 2], а також визначено кінематичні схеми перспективних ГОМТ, ідентифіковані їх основні конструктивні параметри, типорозміри гідромашин ГОП, встановлено кінематичні, силові та енергетичні параметри трансмісій [3].

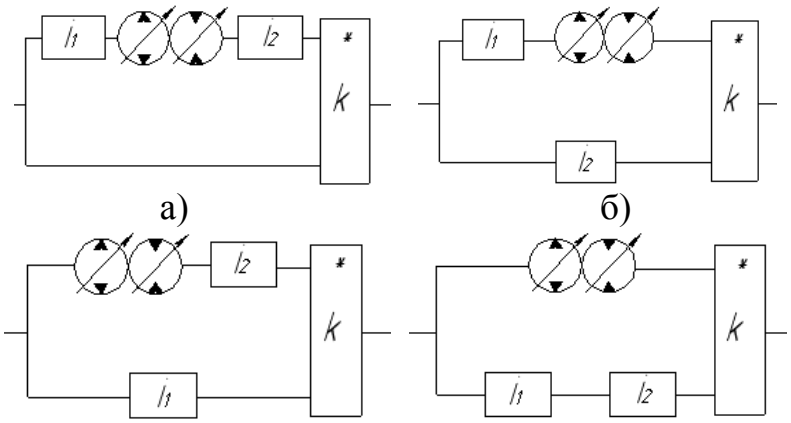


а) б)



в) г)

Рисунок 1. Варіанти структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на вході:
а – два редуктори в гідравлічній гілці; б – один редуктор перед ГОП, другий в механічній гілці; в – один редуктор за ГОП, другий в механічній гілці; г – два редуктори в механічній гілці; * – ПР; i_j – передавальне відношення редуктора; k – внутрішнє передавальне відношення ПР.



а) б)

в) г)

Рисунок 2. Варіанти структурних схем замкнутих контурів ГОМТ з диференціалом на виході (позначення аналогічні рис. 1)

Результати дослідження розподілу кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ різних структур наведено в висновках.

Швидкість руху сучасних тракторів з ГОМТ досягає 60 км/год, саме тому в схеми ГОМТ [3] введемо додатковий діапазон – транспортний, перемикання на який дозволить реалізовувати при коефіцієнті опору руху $f = 0,05$ максимальну швидкість 60 км/год.

Проаналізуємо динаміку процесу гальмування на дорозі з сухим асфальтом та снігом трактора з усіма перспективними схемами ГОМТ [3] при криволінійному русі та роботі на транспортному діапазоні з використанням математичної моделі та підходів, що наведені в роботі [6]. Даний режим цікавий з точки зору наукового дослідження, так як гальмування зі швидкості 60 км/год супроводжується наявністю великої сили інерції трактора, що суттєво відображається на значеннях кінематичних, силових та енергетичних параметрів ГОМТ. Під криволінійним рухом мається на увазі фіксування керованих коліс на рівні 5^0 одразу після початку гальмування.

В процесі дослідження гальмування трактора з ГОМТ та синтезу для службового та екстреного гальмування оптимальних законів керування процесом гальмування в якості оціночних критеріїв виступали гальмівна ефективність,

траєкторна керованість та конструктивна надійність ГОМТ. Для оцінки гальмівної ефективності використовували в якості показника гальмівний шлях, траєкторну керованість оцінювали за величиною відхилення трактора від заданої траєкторії, а для оцінки конструктивної надійності ГОМТ в якості показників використовували силові (перепад робочого тиску в ГОП) та кінематичні (кутова швидкість сателітів, кутова швидкість валу гідронасоса та гідромотора, а також розбіжність між значеннями кутових швидкостей ведучого та веденого валів зчеплення) параметри ГОМТ.

Результати дослідження впливу способів службового та екстреного гальмування, умов експлуатації, законів натиснення на педаль гальма та законів зміни параметрів регулювання гідромашин ГОМТ на основні параметри ГОМТ різних структур, а також керованість та гальмівну ефективність наведено в висновках.

Висновки.

1. В процесі системного аналізу ГОМТ були виявлені наступні закономірності:

• для схем з диференціалом на вході:

– при використанні ГОМТ з регульованим гідромотором замість нерегульованого спостерігається зниження перепаду робочого тиску в ГОП, підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) трансмісії та збільшення кутової швидкості валу гідромотора;

– з підвищенням максимального об’єму гідромотора спостерігається зниження перепаду робочого тиску в ГОП та зменшення кутової швидкості валу гідромотора;

– швидкість при якій включається в роботу регульований гідромотор ГОМТ з диференціалом на вході не завжди відповідає максимальному значенню ККД трансмісії;

• для схем з диференціалом на виході:

– при використанні ГОМТ з регульованим гідромотором замість нерегульованого спостерігається підвищення: перепаду робочого тиску в ГОП, кутової швидкості сателітів, потужності двигуна, кутової швидкості валу гідромотора;

– з підвищенням максимального об’єму гідромотора спостерігається зниження: перепаду робочого тиску в ГОП, потужності двигуна, кутової швидкості валу гідромотора, кутової швидкості сателітів;

– діапазон зміни параметра регулювання гідронасоса e_1 та значення передавальних чисел редукторів ГОМТ необхідно підбирати такими, щоб при $e_1 \approx 0$ (ККД ГОМТ при цьому максимальне) швидкість руху трактора відповідала робочій швидкості на якій виконується основний вид робіт.

2. За результатами комплексного дослідження процесу гальмування колісних тракторів з ГОМТ було встановлено, що не існує єдиного оптимального способу та закону керування процесом гальмування як при службовому, так і екстреному гальмуванні:

– найбільш прийнятним службовим способом гальмування, з точки зору навантаження на оператора-водія, є гальмування за рахунок зміни відносного параметра регулювання ГОП при збереженні кінематичного зв'язку з двигуном;

– за результатами дослідження екстреного гальмування, яке може реалізовуватися лише при кінематичному відриві двигуна від ведучих коліс, було встановлено:

• єдиного універсального оптимального закону зміни відносного параметра регулювання ГОП для всіх схем ГОМТ не існує. Це пов'язано в першу чергу з тим, що мінімальні значення перепаду робочого тиску в ГОП, кутової швидкості сателітів, кутової швидкості валу гідронасоса та гідромотора не завжди відповідають мінімальному значенню розбіжності між значеннями кутових швидкостей ведучого та веденого валів зчеплення;

• використання закону зміни відносного параметра регулювання ГОП в процесі гальмування колісних тракторів з безступінчастими ГОМТ при кінематичному відриві двигуна від ведучих коліс, при якому значення параметрів регулювання гідромашин ГОП відповідають зміні дійсної швидкості трактора, прийнятне для всіх варіантів схем ГОМТ, що підтверджено і теоретичними дослідженнями;

• характер зміни відносного параметра регулювання ГОП від швидкості в процесі гальмування повинен бути аналогічним тому, як змінюється відносний параметр регулювання ГОП в залежності від швидкості в процесі статичного аналізу – це доведено теоретичними дослідженнями;

• трансмісія зберігає працездатність та всі параметри знаходяться в рекомендованих межах лише за відсутності блокування коліс трактора.

Не залежно від схем ГОМТ, варіанту розміщення зчеплення та умов експлуатації, при гальмуванні з АБС, в порівнянні з екстреним гальмуванням за рахунок гальмівної системи при кінематичному відриві двигуна від ведучих коліс, спостерігається підвищення гальмівної ефективності та зниження відхилення від заданої траєкторії (при збереженні силових та кінематичних параметрів трансмісії в межах допустимих значень).

Список літератури

1. Самородов В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме «дифференциал на входе» / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/7 (56). – С. 25 – 35.
2. Самородов В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме «дифференциал на выходе» / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/7 (57). – С. 4 – 12.
3. Самородов В.Б. Перспективні гідрооб'ємно-механічні трансмісії для колісних тракторів сільськогосподарського призначення / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Автомобильный транспорт. – 2013. – № 32. – С. 12 – 17.

4. Митрофанов О. Випробування гальмівних систем сучасних зернозбиральних комбайнів за новою методикою / О. Митрофанов, І. Лілевман, О. Лілевман, З. Терещук // Техніка і технології АПК. – 2010. – № 9 (12). – С. 16 – 19.
5. Митрофанов О. Дослідження характеристик та особливостей взаємодії гальмівних систем самохідних сільгоспмашин з гідростатичним приводом ведучих коліс // Збірник наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2008. – № 11 (25). – С. 25 – 31.
6. Самородов В.Б. Динаміка процесу гальмування колісних тракторів серії Fendt 900 Vario / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/7 (61). – С. 4 – 11.

Аннотация

НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ С БЕССТУПЕНЧАТЫМИ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКИМИ ТРАНСМИССИЯМИ

Бондаренко А.И.

В работе представлены результаты исследования распределения кинематических, силовых и энергетических параметров гидрообъемно-механических трансмиссий различных структур, выявлены и систематизированы основные закономерности рабочих процессов такого типа бесступенчатых трансмиссий. Установлено влияние способов служебного и экстренного торможения, условий эксплуатации, законов нажатия на педаль тормоза и законов изменения параметров регулирования гидромашин гидрообъемной передачи на основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий различных структур, а также управляемость и тормозную эффективность. Синтезированы для служебного и экстренного торможения оптимальные законы управления процессом торможения колесных тракторов с гидрообъемно-механическими трансмиссиями.

Abstract

SCIENTIFICALLY-APPLIED BASES OF SYSTEMS ANALYSIS AND OPTIMUM MANAGEMENT BY BRAKING OF THE WHEELED TRACTORS WITH HYDROSTATIC-MECHANICAL TRANSMISSIONS

Bondarenko A.I.

In work the presented results of research of division of kinematics, power and power parameters of hydrostatic-mechanical transmissions of different structures, it is discovered and systematized basic conformities to the law of working processes in such as transmissions. Influence of methods of the official and urgent braking, external

environments, laws of pressure, is set on the pedal of brake and laws of change of parameters of adjusting of pump and a hydromotor on the basic parameters of hydrostatic-mechanical transmissions of different structures, and also dirigibility and brake efficiency. The optimum laws of process control of braking of the wheeled tractors are synthesized for the official and urgent braking with hydrostatic-mechanical transmissions.