

УДК 621.83.062.1

САМОРОДОВ В.Б., д.т.н., професор (НТУ «ХПІ»),
БОНДАРЕНКО А.І., к.т.н., доцент (НТУ «ХПІ»)

Експериментальне дослідження робочих процесів у гідрооб'ємно-механічних трансмісіях з диференціалом на вході та з диференціалом на виході

Samorodov V., Dr. of Technical Sciences, Professor (NTU «KhPI»),
Bondarenko A., Ph.Dr. of Technical Sciences, Associated Professor (NTU «KhPI»)

Experimental research of working processes in hydrostatic-mechanical transmissions with a differential on the entrance and with a differential on an output

Вступ

Із-за необхідності безступінчастого регулювання швидкості, спрощення конструкції трансмісії, забезпечення плавності руху з місця, підвищення тягової динаміки та ергономічних властивостей при виконанні різноманітних технологічних операцій, підвищення середніх швидкостей руху, ефективного і раціонального вирішення завдання підведення та трансформації по заданих законах потужності від двигуна до робочих органів або рушіїв машини постійно збільшується кількість самохідних машин (СМ) з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ) та різноманіття виконуваних ними технологічних операцій.

В той же час з появою нових типів гідромашин об'ємного типу, підвищенням швидкостей руху СМ, особливо загострилась проблема збереження безпеки в режимі гальмування.

Теоретичне дослідження процесу гальмування СМ з ГОМТ різноманітного схемного виконання не можливе без попередньої перевірки адекватності існуючих математичних моделей, що описують динаміку ГОМТ, зокрема і в гальмівному режимі.

Аналіз досліджень і публікацій

Із літератури [1 – 6] відомий підхід зі складання математичних моделей для опису динаміки роботи ГОМТ, який рекомендується для використання як при розгоні СМ, так і їх гальмуванні, проте досі не досліджено на скільки доцільне використання даних математичних моделей (підходу).

Робочою групою кафедри автомобіле- і тракторобудування НТУ «ХПІ» під керівництвом завідувача кафедри, д.т.н., проф. Самородова В. Б. розроблений лабораторний стенд, за допомогою якого може виконуватися комплексне експериментальне дослідження робочих процесів у ГОМТ на різноманітних режимах роботи. Стенд швидко переналаштовується як на роботу за схемою «диференціал на виході», так і за схемою «диференціал на вході» [7, 8].

Постановка задачі

Мета роботи полягає у експериментальному дослідженні робочих процесів у ГОМТ з диференціалом на вході та з диференціалом на виході при реалізації процесу гальмування.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити вплив законів зміни параметрів регулювання гідромашин гід-

рооб'ємної передачі (ГОП) $e_1(t)$, $e_2(t)$ та законів зміни гальмівного моменту $M_g(t)$ на основні параметри ГОМТ різних структур (розглядалися дві схеми: одна з диференціалом на вході, друга – з диференціалом на виході) при реалізації процесу гальмування, а також перевірі адекватності математичних моделей ГОМТ (підхода до складання моделей), що наведені в роботах [5, 6].

Основний матеріал

На достовірність результатів випробувань значною мірою впливає методика дослідження, тобто вибір виду випробувань, оцінних критеріїв, умов і режимів проведення.

Необхідні умови при проведенні дослідів полягають в наступному:

- умови проведення випробувань повинні відповідати умовам роботи ГОМТ в складі СМ при виконанні різноманітних технологічних операцій;

- діапазон зміни параметрів регулювання e_1 , e_2 для схеми ГОМТ з диференціалом на виході – $e_1 \in [-1;1]$, $e_2 = 1$, з диференціалом на вході – $e_1 \in [0;1]$, $e_2 = 1$;

- забезпечення еквівалентності ланок лабораторного стенду елементам ГОМТ.

Завдання випробувань полягають у визначенні кутових швидкостей валів гідромотора ω_2 , асинхронного двигуна ω_0 (виходячи зі значення ω_0 встановлюється і кутова швидкість вала гідронасоса ω_1), порошкового гальмівного механізму ω_g ; тиску в нагнітаючій магістралі ГОП P , тиску усмоктування P_p , рівного за значенням тиску, що створюється насосом підпитки (в подальших розрахунках та порівняльному аналізі буде фігурувати значення перепаду робочого тиску в ГОП $\Delta P = P - P_p$, так як саме ΔP визначається в процесі теоретичних досліджень); крутного моменту на валу асинхронного двигуна M_0 та на валу порошкового гальмівного механізму M_g при здійсненні гальмування вала порошкового галь-

мівного механізму лише за рахунок зміни параметра регулювання гідронасосу e_1 , а також гальмування одночасно за рахунок зміни гальмівного моменту M_g та параметра регулювання гідронасосу e_1 при збереженні в усіх випадках кінематичного зв'язку з двигуном.

Об'єктом випробувань виступають ГОМТ з диференціалом на вході та з диференціалом на виході, кожна з яких складається з планетарного ряду (ПР), ГОП з максимальним робочим об'ємом гідромашин по 33 см³, редукторів та з'єднувальних валів.

Спрощені структурні схеми ГОМТ зі стендів наведені на рис. 1, схеми стендів на рис. 2 – 3, загальний вигляд стендів на рис. 4 – 5.

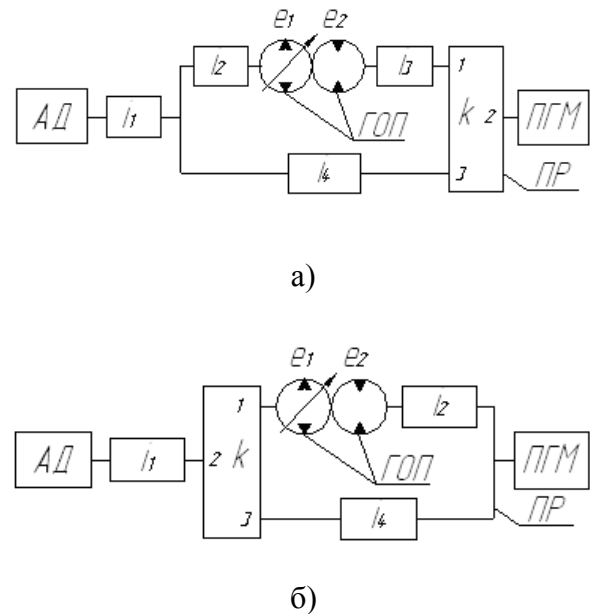


Рис. 1. Спрощені структурні схеми ГОМТ зі стендів:

а – з диференціалом на виході; б – з диференціалом на вході; АД – асинхронний двигун; ПГМ – порошковий гальмівний механізм; k – внутрішнє передавальне відношення ПР [9]; i_j – передавальне відношення редуктора.

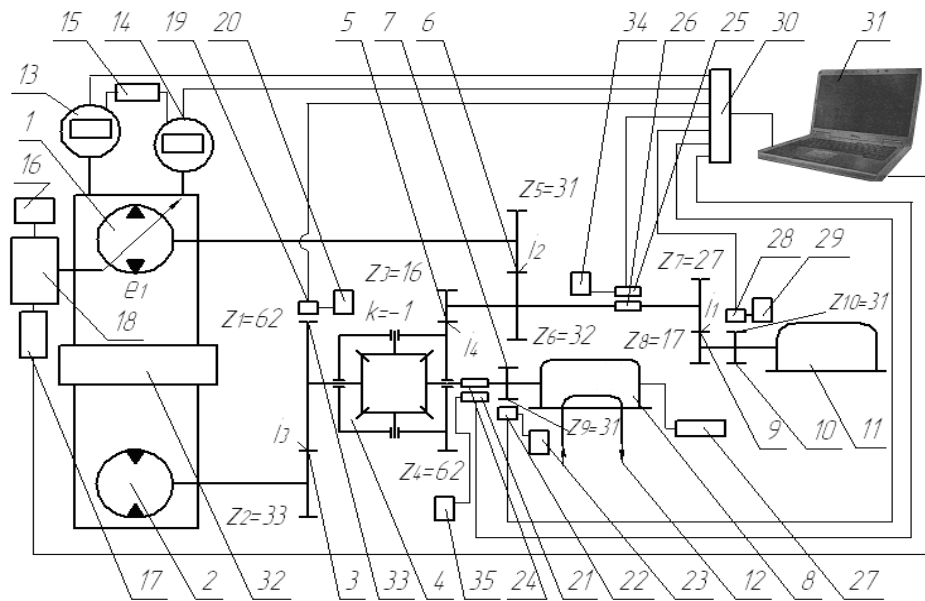


Рис. 2. Схема стенду ГОМТ з диференціалом на виході:

- 1 – регульований гідронасос; 2 – нерегульований гідромотор; 3, 5, 6, 9 – редуктор; 4 – ПР; 7, 10, 33 – зубчастий венець для індуктивного датчика частоти обертів; 8 – порошковий гальмівний механізм; 11 – асинхронний двигун; 12 – система охолодження порошкового гальмівного механізму; 13, 14 – датчик надлишкового тиску; 15 – джерело живлення датчиків надлишкового тиску (36 В); 16 – джерело живлення крокового двигуна (40 В); 17 – драйвер крокового двигуна; 18 – кроковий двигун; 19, 22, 28 – індуктивний датчик частоти обертів; 20, 23 – джерело живлення індуктивного датчика частоти обертів (12 В); 21, 25 – блок прийому по радіоканалу, обробки та цифро-аналогового перетворення сигналів з тензомоста; 24, 26 – блок підсилення сигналів тензомоста, аналого-цифрового перетворення та передачі по радіоканалу; 27 – джерело живлення порошкового гальмівного механізму; 29 – джерело живлення індуктивного датчика частоти обертів (5 В); 30 – аналого-цифровий перетворювач; 31 – ноутбук; 32 – система охолодження мастила в ГОП; 34, 35 – джерело живлення блоку прийому по радіоканалу, обробки та цифро-аналогового перетворення сигналів з тензомоста (5 В).

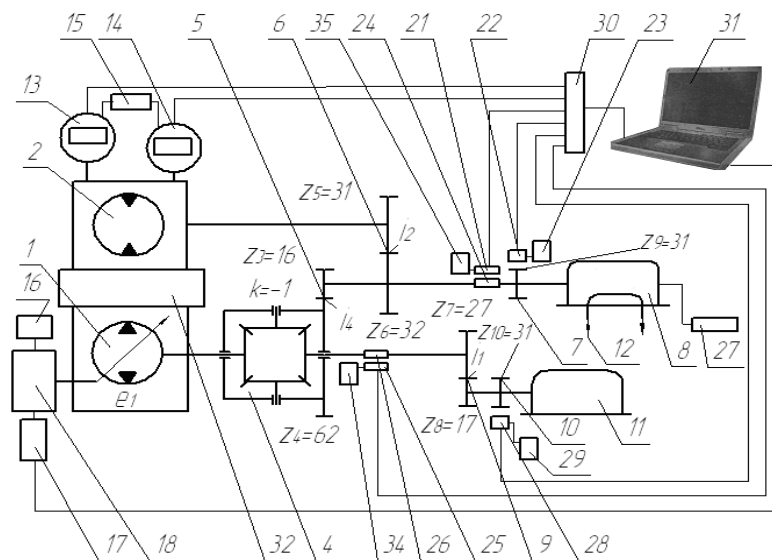


Рис. 3. Схема стенду ГОМТ з диференціалом на вході (позначення аналогічні рис. 2)

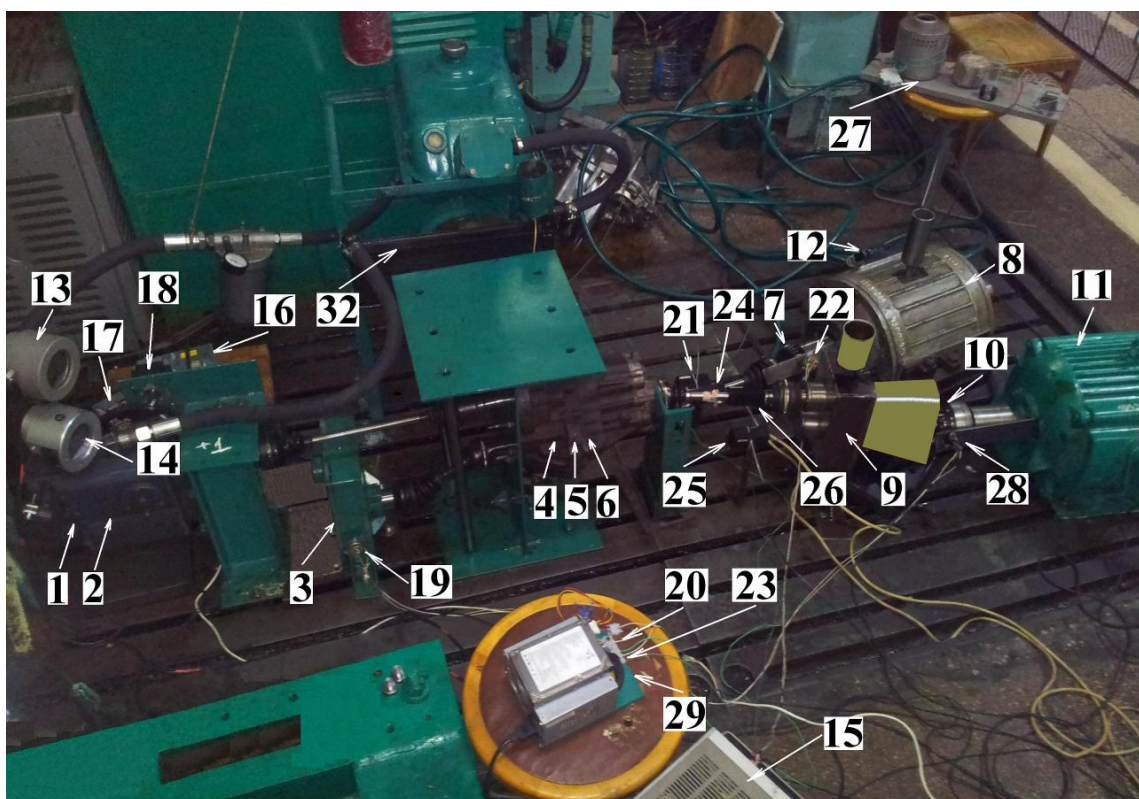


Рис. 4. Загальний вигляд стану ГОМТ з диференціалом на виході (позначення аналогічні рис. 2)

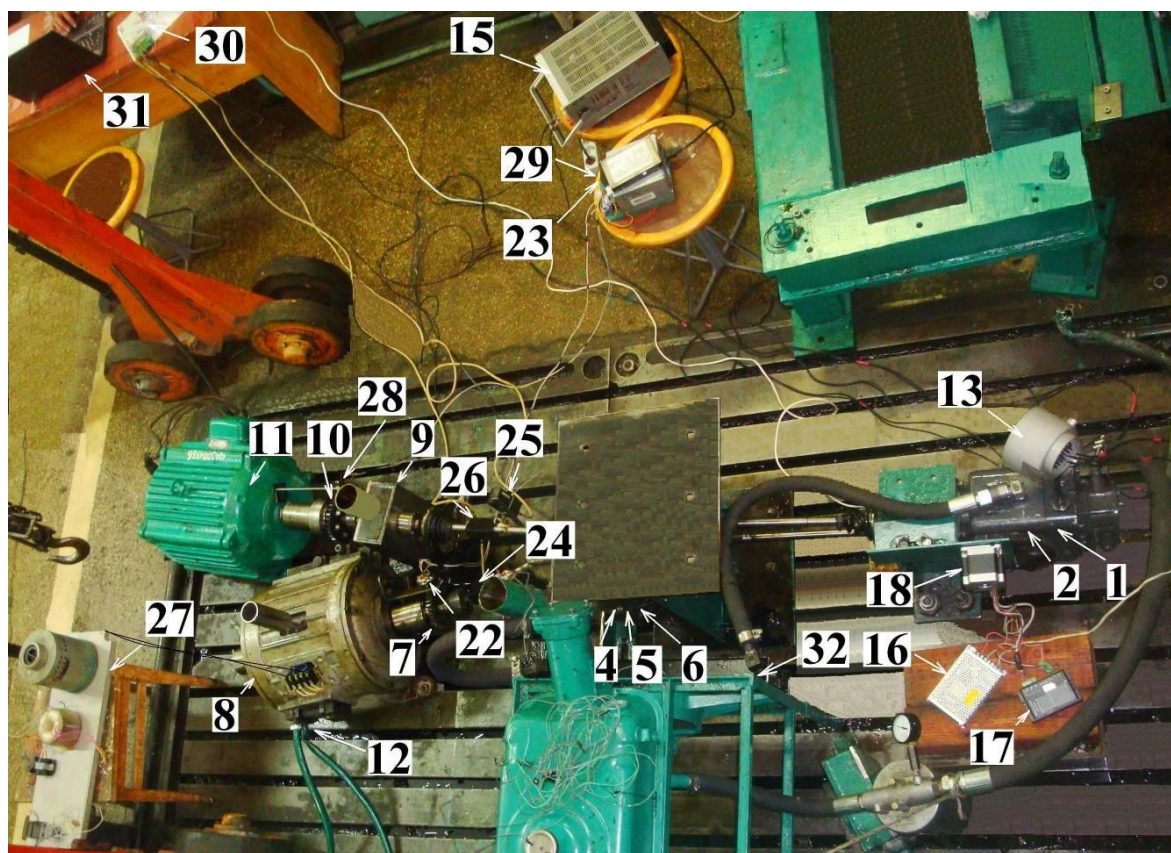


Рис. 5. Загальний вигляд стану ГОМТ з диференціалом на вході (позначення аналогічні рис. 2)

Випробування виконуються на стендах, схема яких наведена на рис. 2 – 5, в два етапи:

– на першому етапі збирається схема ГОМТ з диференціалом на виході (рис. 1 а, 2, 4) та виконується гальмування валу порошкового гальмівного механізму спочатку лише за рахунок зміни параметра регулювання гідронасосу e_1 (при різних законах $e_1(t)$), а потім одночасно за рахунок зміни гальмівного моменту M_g та параметра регулювання гідронасосу e_1 (при різних законах $M_g(t)$ та $e_1(t)$) зі збереженням в усіх випадках кінематичного зв'язку з двигуном;

– на другому етапі відбувається переналаштування стенду з метою отримання схеми ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 1 б, 3, 5) і вже для нової схеми реалізуються ті ж самі варіанти гальмування, що і для схеми ГОМТ з диференціалом на виході.

Значення гальмівного моменту M_g , що створюється порошковим гальмівним механізмом, на пряму залежить від напруги U_g , яка задається уручну за допомогою джерела живлення 27 (рис. 2 – 5).

В зв'язку з тим, що використання ГОП в процесі гальмування відбувається у випадку виникнення необхідності лише знизити швидкість СМ, і в рідших випадках – добитися її повної зупинки, потреба в максимальному уповільненні відсутня. Саме тому час, за який змінюється e_1 від положення, що характеризується максимальною кутовою швидкістю вала порошкового гальмівного механізму, до положення, яке відповідає повній зупинці вала, приймаємо 10 та 20 секунд, залежність $e_1(t)$ носить лінійний характер. На порошковий гальмівний механізм подається напруга 0 В.

Гальмування одночасно за рахунок зміни гальмівного моменту M_g та параметра регулювання гідронасосу e_1 при збереженні кінематичного зв'язку з двигуном майже не використовується в процесі експлуатації СМ з ГОМТ, а якщо і застосовується, то лише у випадку екстреного гальмування, тому час зміни гальмівного моменту від нульового (в якості нульового значення

приймається момент 12 Нм – створюється порошковим гальмівним механізмом за відсутності керуючої напруги) до максимального значення повинен бути як найменшим, прийемо 0,5 секунд. Розглянемо додатково випадок, що імітує більш повільніше гальмування – зміна гальмівного моменту від нульового до максимального значення відбувається за 5 секунд. Останній випадок досліджується лише з метою в подальшому додатково перевірити адекватність математичної моделі ГОМТ в процесі гальмування. Напруга U_g , що подається на порошковий гальмівний механізм, в обох випадках змінюється від 0,5 В до 3,0 В з кроком 0,5 В. Залежність $M_g(t)$ носить лінійний характер.

Кожен вимір проводився 3 рази. Фіксація даних припинялася в момент повної зупинки вала порошкового гальмівного механізму.

Теоретичне моделювання процесу гальмування не можливе без наявності інформації стосовно функціональної залежності між керуючим сигналом U_g та гальмівним моментом M_g на валу порошкового гальмівного механізму. В процесі теоретичного дослідження максимальне значення створюваного гальмівного моменту M_g для кожного значення керуючого сигналу бралися саме із результатів, що отримані експериментальним шляхом, закони зміни $M_g(t)$ (як теоретичний, так і експериментальний) при цьому максимально зберегли наближеність один до одного.

За результатами порівняльного аналізу було встановлено, що розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями крутного моменту на валу порошкового гальмівного механізму не перевищує 1,41%.

З метою збереження працездатності стендів, максимальний гальмівний момент задавався $M_g = 40$ Нм. Збільшення гальмівного моменту M_g призводить до зменшення часу від початку гальмування до повної зупинки вала порошкового гальмівного механізму та суттєвого підвищення перепаду робочого тиску в ГОП ДР.

Висновки

1. Чим вище інтенсивність зміни параметра регулювання гідронасосу e_1 та повільніше наростання гальмівного моменту, тим менше перепад робочого тиску в ГОП, на інші параметри розглянутих ГОМТ закони $e_1(t)$ та $M_g(t)$ в процесі гальмування суттєво не впливали.

2. В результаті порівняння теоретичних результатів з експериментальними було встановлено, що не залежно від схеми ГОМТ, найбільша похибка не перевищує 8,82% [10] при визначенні максимального перепаду робочого тиску в ГОП, 8,97% – для крутного моменту на валу асинхронного двигуна, 1,41% – для крутного моменту на валу порошкового гальмівного механізму, 7,46% – для кутової швидкості вала гідронасоса, 2,74% – для кутової швидкості вала гідромотора, 1,80% – для кутової швидкості вала асинхронного двигуна, 5,56% – для кутової швидкості вала порошкового гальмівного механізму, 2,13% – для часу від початку гальмування до повної зупинки вала порошкового гальмівного механізму.

3. Експериментальним шляхом повністю доведена адекватність математичних моделей ГОМТ (підходу до складання математичних моделей) [3, 4], що використовувалися для моделювання роботи стану в гальмівному режимі. Саме цей підхід для складання математичних моделей рекомендується і для опису ГОМТ в ході моделювання процесу гальмування СМ з трансмісіями даного типу.

Список літератури:

1. Самородов В. Б. Динаміка процесу розгону колісних тракторів серії Fendt 900 Vario / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/3 (61). – С. 4 – 11.

2. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости: в 10 томах. Том 3: Трансмиссии. Книга 2: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования/Е.Е.Александров, В.Б.

Самородов, Д.О. Волонцевич, А.С. Палащенко – Харьков: ХГПУ, 1997. – 185 с.

3. Самородов В. Б. Динаміка процесу розгону колісного трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з гідрооб'ємно-механічною трансмісією / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/7 (60). – С. 15 – 19.

4. Рогов А. В. Развитие методов расчета систем «двигатель – трансмиссия» автомобилей и тракторов: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / Рогов Андрей Владимирович. – Харків, 2006. – 168 с.

5. 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.

6. Самородов В. Б. Динаміка процесу гальмування колісного трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з гідрооб'ємно-механічною трансмісією / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 2/3 (62). – С. 26 – 30.

7. Самородов В. Б. Исследование свойств шагового электропривода как системы управления двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссией / В. Б. Самородов, Н. А. Митцель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 5/7 (70). – С. 52 – 58.

8. Самородов В. Б. Система керування гідрооб'ємно-механічною трансмісією на базі крокового двигуна // Збірка тез міжнародної науково-практичної конференції з нагоди Дня автомобіліста і шляховика: «Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту і експертизи автомобіля», 15 – 16 жовтня 2014 р., м. Харків) / Міністерство освіти і науки України, ХНАДУ. – Харків: ХНАДУ, 2014. – С. 57 – 59.

9. Красеньков В. И. Проектирование планетарных механизмов транспортных

машин / В. И. Красеньков, А. Д. Вашец. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.

10. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений: учебн. [для студ. высш. учебн. зав.] / О. Н. Кассандрова, В. В. Лебедев. – М.: «Наука», 1970. – 104 с.

Spysok literatury:

1. Samorodov V. B. Dynamika procesu rozgonu kolisnyx traktoriv seriyi Fendt 900 Vario / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovix tehnologyj. – 2013. – № 1/3 (61). – P. 4 – 11.

2. Kolesnye i gusenichnye mashiny vysokoj prohodimosti: v 10 tomah. Tom 3: Transmissii. Kniga 2: Besstupenchatye transmissii: raschet i osnovy konstruirovaniya / E. E. Aleksandrov, V. B. Samorodov, D. O. Voloncevich, A. S. Palashhenko – Harkov: HGPU, 1997. – 185 p.

3. Samorodov V. B. Dynamika procesu rozgonu kolisnogo traktora-analoga «Belarus 3022 DV» z gidroobъемno-mexanichnoyu transmissiyeyu / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovix tehnologyj. – 2012. – № 6/7 (60). – P. 15 – 19.

4. Rogov A. V. Razvytye metodov rascheta system «dvygatel – transmyssyya» avtomobylej i traktorov: dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. texn. nauk: specz. 05.22.02 «Avtomobili ta traktory» / Rogov Andrej Vladymyrovych. – Harkiv, 2006. – 168 p.

5. Samorodov V. B. Dynamika procesu galmuvannya kolisnyx traktoriv seriyi Fendt 900 Vario / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovix tehnologyj. – 2013. – № 1/7 (61). – P. 4 – 11.

6. Samorodov V. B. Dynamika procesu galmuvannya kolisnogo traktora-analoga «Belarus 3022 DV» z gidroobъемno-mexanichnoyu transmissiyeyu / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovix tehnologyj. – 2013. – № 2/3 (62). – P. 26 – 30.

7. Samorodov V. B. Yssledovanye svojstv shagovogo elektroprivoda kak sistemy upravlenya dvuxpotочноj gidroobъемno-mexanicheskoj transmyssyey / V. B. Samorodov, N. A. Mytcel // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovix tehnologyj. – 2014. – № 5/7 (70). – P. 52 – 58.

8. Samorodov V. B. Systema keruvannya gidroobъемno-mexanichnoyu transmissiyeyu na bazi krokovogo dvyguna // Zbirka tez mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi z nagody Dnya avtomobilista i shlyaxovyka: «Novitni tehnologiyi rozvytku konstrukciji, vyrobnyctva, ekspluataciji, remontu i ekspertyzy avtomobilya», 15 – 16 zhovtnya 2014 r., m. Harkiv) / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, XNADU. – Harkiv: XNADU, 2014. – P. 57 – 59.

9. Krasnenkov V. Y. Proektyrovanye planetarnix mexanzmov transportnix mashyn / V. Y. Krasnenkov, A. D. Vashecz. – M.: Mashynostroenye, 1986. – 272 p.

10. Kassandrova O. N., Lebedev V. V. Obrabotka rezultatov nablyudenyj: uchebn. [dlya stud. vissh. uchebn. zav.] / O. N. Kassandrova, V. V. Lebedev. – M.: «Наука», 1970. – 104 p.

Анотації:

У статті визначено вплив законів зміни параметрів регулювання гідромашин гідрооб'ємної передачі та законів зміни гальмівного моменту на основні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій різних структур (розглядалися дві схеми: одна з диференціалом на вході, друга – з диференціалом на виході) при реалізації процесу гальмування, а також експериментальним шляхом повністю доведена адекватність математичних моделей гідрооб'ємно-механічних трансмісій (підходу до складання математичних моделей), що використовувалися для моделювання роботи ственду в гальмівному режимі.

Ключові слова: експериментальне дослідження, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, гідрооб'ємна передача, диференціал на вході, диференціал на виході, математична модель, гальмування.

В статье установлено влияние законов изменения параметров регулирования гидромашин гидрообъемной передачи и законов изменения тормозного момента на основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий различных

структур (рассматривались две схемы: одна с дифференциалом на входе, другая - с дифференциалом на выходе) при реализации процесса торможения, а также экспериментальным путем полностью доказана адекватность математических моделей гидрообъемно-механических трансмиссий (подхода к составлению математических моделей), которые использовались для моделирования работы стенда в тормозном режиме.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, гидрообъемно-механическая трансмиссия, гидрообъемная передача, дифференциал на входе, дифференциал на выходе, математическая модель, торможение.

In the article certainly influence of laws of change of parameters of adjusting of a pump and a motor of hydrostatic transmission and laws of change of brake moment on the basic parameters of hydrostatic-mechanical transmissions of different structures (two charts were examined: one with a differential on the entrance, other - with a differential on an output) during realization of braking process, and also experimental way the fully proved adequacy of mathematical models of hydrostatic-mechanical transmission (approach to drafting of mathematical models), which were used for the design of work of stand in the brake mode.

Keywords: experimental research, hydrostatic-mechanical transmission, hydrostatic transmission, differential on the entrance, differential on an output, mathematical model, braking.

УДК 662.93

СКАЛЫГА Н.Н., к.т.н., доцент (Луцкий НТУ),
РУДИНЕЦ Н.В., к.т.н., доцент (Луцкий НТУ)

К вопросу использования на железнодорожном транспорте пиролизных сжигающих устройств, как автономных источников тепловой энергии

Skalyga N., Ph.D. of Technical Sciences, St. Lecturer (Lutsk NTU)
Rudinets N., Ph.D. of Technical Sciences, St. Lecturer (Lutsk NTU)

To the question about of using on the railway transport of the pyrolysis firing devices like as independed heat energy sources

Введение

Специфика эксплуатации железнодорожного транспорта требует применения различных вспомогательных источников тепловой энергии. Использование подобных устройств для подвижного состава, прежде всего, продиктовано необходимостью наличия возможности предпускового и стояночного прогрева теплоносителя (воды и масла) в соответствующих системах тепловозного двигателя (дизеля).

Так, в частности, на двигателях дизель-поездов Д1, ДР1, для этих целей используется котел-нагреватель, встроенный в систему охлаждения [1]. Кроме того, котел-нагреватель используется также для за-

питки системы отопления кабины экипажа и салона вагонов. Для работы котла-нагревателя используется штатное топливо из системы питания двигателя.

На настоящий момент времени, в целях экономии топлива и снижения количества токсических выбросов от его сжигания, осуществляется практически повсеместная замена котлов-нагревателей устройствами электрического или парового нагрева. Для первого случая характерно применение электрических ТЭНов, запитываемых от тягового генератора и (или) специальной линии электропередачи. Во втором – используется водяной пар, вырабатываемый котельными депо или станций, подводимый к месту отстоя тепловоза по специ-