

*В роботі наведені схеми гідрооб'ємно-механічних трансмісій, що працюють за схемою "диференціал на вході" з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму, визначені основні параметри розглянутих трансмісій при різних об'ємах гідромотору, зроблені відповідні висновки*

*Ключові слова: гідрооб'ємно-механічна трансмісія, схема "диференціал на вході", планетарний механізм*

*В работе приведены схемы гидрообъемно-механических трансмиссий, которые работают по схеме "дифференциал на входе" с различным соединением механической и гидравлической ветви со звеньями планетарного механизма, определены основные параметры рассмотренных трансмиссий при различных объемах гидромотора, сделаны соответствующие выводы*

*Ключевые слова: гидрообъемно-механическая трансмиссия, схема "дифференциал на входе", планетарный механизм*

# ВПЛИВ ОБ'ЄМУ ГІДРОМОТОРА НА ПАРАМЕТРИ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ (СХЕМА "ДИФЕРЕНЦІАЛ НА ВХОДІ")

**В. Б. Самородов**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

E-mail: vadimsamorodov@mail.ru

**А. І. Бондаренко**

Кандидат технічних наук\*

E-mail: anatoliybon@rambler.ru

\*Кафедра "Автомобіле- і тракторобудування"

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут"

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

## 1. Вступ

В процесі створення нової гідрооб'ємно-механічної трансмісії (ГОМТ), перед розробниками постає ряд складних питань: вибір оптимальної конструктивної схеми, визначення необхідних параметрів гідрооб'ємної передачі (ГОП) та багато інших. Саме від того, наскільки кваліфіковано дані питання будуть вирішені, і залежить конкурентноздатність проектурної техніки.

## 2. Аналіз останніх досягнень 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., Авруніна Г. А., Александрова Є. Є., Башти Т. М., Борисюка М. Д., Васильченка В. О., Городецького К. І., Григорова О. В., Забелішинського З. Е., Завадського А. М., Каменова О. В., Кісточкіна Є. С., Комісарика С. Ф., Кононенка В. О., Курмаєва Р. Х., Лебедева А. Т., Назарова Л. В., Панченка А. І., Петрова В. А., Пономаренка Ю. Ф., Пономарьова Є. П., Прокоф'єва В. М., Прочка Є. І., Рогова А. В., Самородова В. Б., Суковіна М. В., Тарана І. О., Філічкіна М. В., Моніка М. І., Blake A. C., Kyle R. W., Weber M. та ін. [1-8].

В роботах [9-10] наведені схеми ГОМТ, що найбільш часто використовуються та працюють за схемою "диференціал на вході", складені спрощені кінематич-

ні та структурні їх схеми, наведений математичний опис зміни кінематичних, силових та енергетичних параметрів, визначені основні параметри розглянутих трансмісій при рівних об'ємах гідромашин (гідронасоса та гідромотора).

## 3. Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є визначення впливу об'єму гідромотора на основні параметри ГОМТ, що працюють за схемою "диференціал на вході":

- складання кінематичних схем ГОМТ з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом);
- визначення кінематичних, силових та енергетичних параметрів даних трансмісій, коефіцієнта корисної дії (ККД) ГОП і трансмісії в цілому при різних об'ємах гідромотору;
- аналіз отриманих результатів.

## 4. Вплив об'єму гідромотора на основні параметри ГОМТ, що працюють за схемою "диференціал на вході"

Схема "диференціал на вході" рідко застосовується в ГОМТ, частіше у складі ГОМТ зі змінною структурою. Особливістю даної схеми є те, що вона може достійно покривати весь діапазон регулювання (трансмісія Fendt-Vario) при збереженні достатньо високого

ККД ГОМТ (до 0,82) за рахунок збільшення об'ємів гідромашин.

Як було зазначено в роботах [9-10], у ГОМТ самохідних машин, що працюють за схемою “диференціал на вході”, можливі 6 варіантів з'єднання механічної і гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму. В роботах [9-10] наведені спрощені кінематичні та структурні їх схеми, наведений математичний опис зміни кінематичних, силових та енергетичних параметрів, визначені основні параметри розглянутих трансмісій при рівних об'ємах гідромашин (гідронасос та гідромотор мають максимальний об'єм по 130 см<sup>3</sup>, 3-D зображення даних схем наведено на рис. 1).

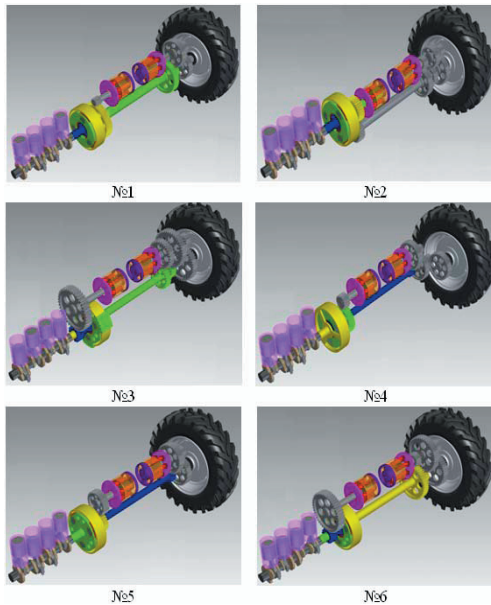
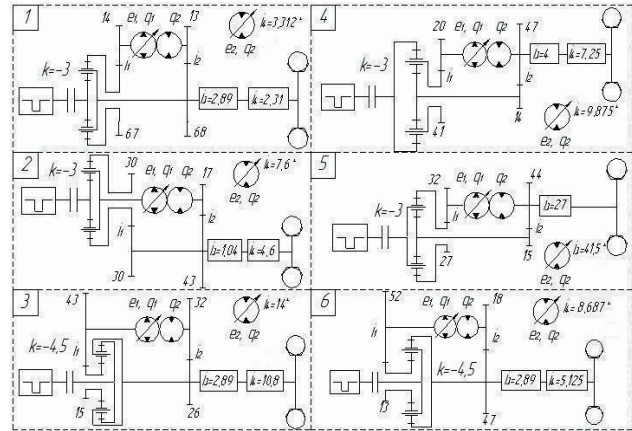


Рис. 1. Спрощене 3-D зображення схем ГОМТ з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

На рис. 2 наведені спрощені кінематичні схеми ГОМТ самохідних машин з диференціалом на вході з однією регульованою і однією нерегульованою гідромашинами, двома регульованими гідромашинами (гідронасос має максимальний об'єм 130 см<sup>3</sup>, гідромотор – 250 см<sup>3</sup>). Відмінність кінематичних схем ГОМТ з рівними та різними об'ємами гідромашин полягає в значеннях передавального числа редуктора  $i_4$  для схем № 1, 3, 4, 6, а для схеми № 5 – редуктора  $i_3$ .

Особливістю схеми № 2 (рис. 2) є те, що вона працездатна лише при підвищених рівних об'ємах гідромашин ГОП: робочий об'єм гідронасоса та гідромотора для даної схеми повинен бути по 390 см<sup>3</sup>. В подальшому аналізі дана схема не використовується.

Значення передавальних чисел вище зазначених редукторів ( $i_4$  – для схем № 1, 3, 4, 6;  $i_3$  – для схеми № 5) в ГОМТ з різними об'ємами гідромашин з однією регульованою і однією нерегульованою гідромашинами (гідронасос має максимальний об'єм 130 см<sup>3</sup>, гідромотор – 250 см<sup>3</sup>) зменшилося на 21,74-39,71% (в залежності від схеми) в порівнянні з відповідними редукторами в ГОМТ з рівними об'ємами гідромашин (гідронасос та гідромотор мають максимальний об'єм по 130 см<sup>3</sup>), а в разі використання обох регульованих гідромашин – на 13,58-31,19%.



\* – регульований гідромотор

Рис. 2. Спрощені кінематичні схеми ГОМТ з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

Для визначення основних параметрів ГОМТ, що наведені на рис. 2, з гідронасосом максимальним об'ємом 130 см<sup>3</sup>, гідромотором – 250 см<sup>3</sup>, використані математичні описи зміни кінематичних, силових та енергетичних параметрів, що представлені в роботі [9].

В якості початкових даних для аналізу вибрані наступні параметри: максимальні оберти колінчастого валу двигуна 2250 об/хв; радіус коліс  $r = 0,85$  м; маса трактора 9000 кг; швидкість, що реалізується на тяговому діапазоні при коефіцієнті опору руху 0,5 – від 0 до 10 км/год; робочий об'єм гідронасоса – 130 см<sup>3</sup>, робочий об'єм гідромотора – 250 см<sup>3</sup>; гідромашини виробництва “Sauer-Danfoss”.

Результати статичного аналізу ГОМТ з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором наведені на рис. 3 – 7, з регульованим гідромотором – на рис. 8 – 12 (позначення на рис. 3 – 12:  $\eta_0$  – загальний об'ємний ККД ГОП;  $\eta$  – загальний ККД ГОП;  $\eta_{TP}$  – ККД трансмісії;  $N_d$  – потужність двигуна, кВт;  $N_2$  – потужність, що виходить з ГОП, кВт;  $e_1, e_2$  – відносний параметр регулювання ГОП;  $\Delta p$  – перепад робочого тиску в ГОП;  $N_{gid}$  – відношення потужностей у відсотках, що передаються через гідравлічну гілку до вихідної потужності із замкнутого контуру).

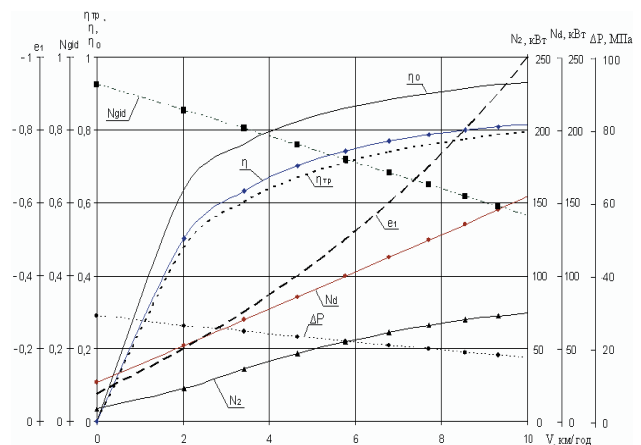


Рис. 3. Результати статичного аналізу ГОМТ № 1 з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_0$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta p$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

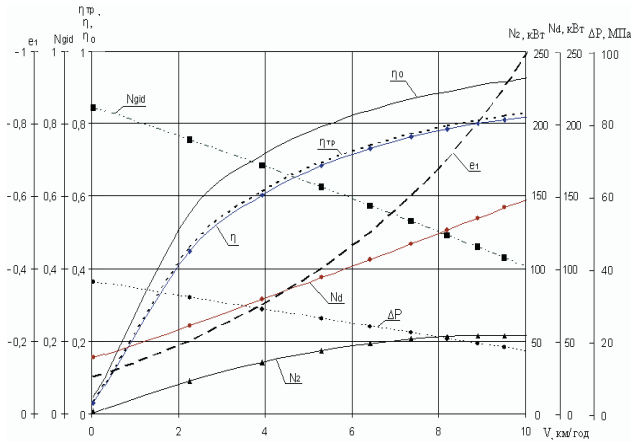


Рис. 4. Результати статичного аналізу ГОМТ № 3 з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

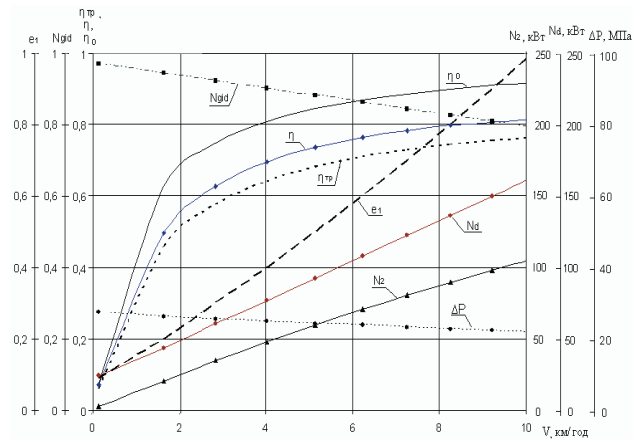


Рис. 7. Результати статичного аналізу ГОМТ № 6 з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

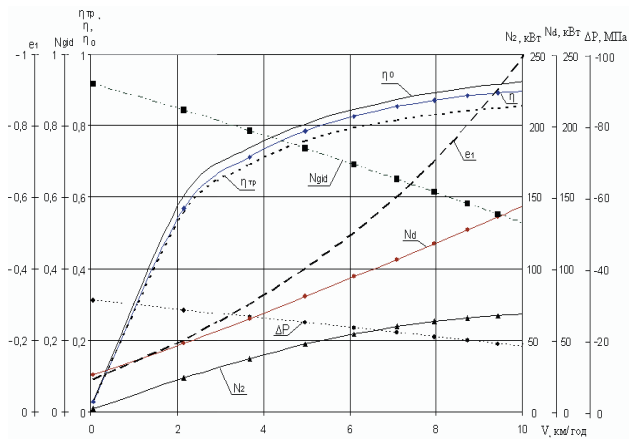


Рис. 5. Результати статичного аналізу ГОМТ № 4 з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

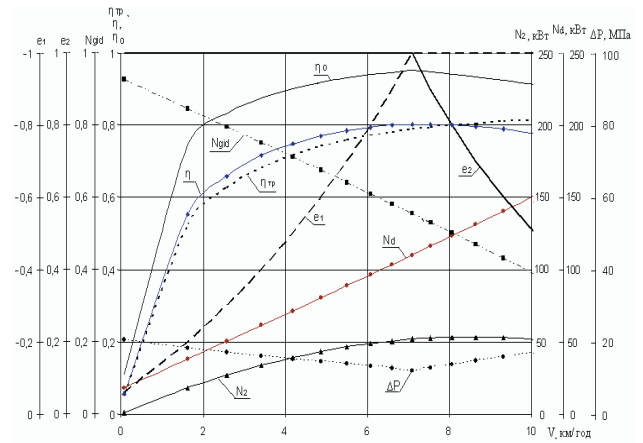


Рис. 8. Результати статичного аналізу ГОМТ № 1 з диференціалом на вході з регульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

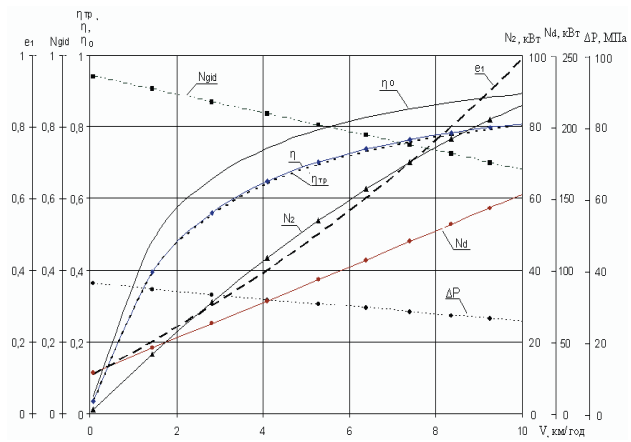


Рис. 6. Результати статичного аналізу ГОМТ № 5 з диференціалом на вході з нерегульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

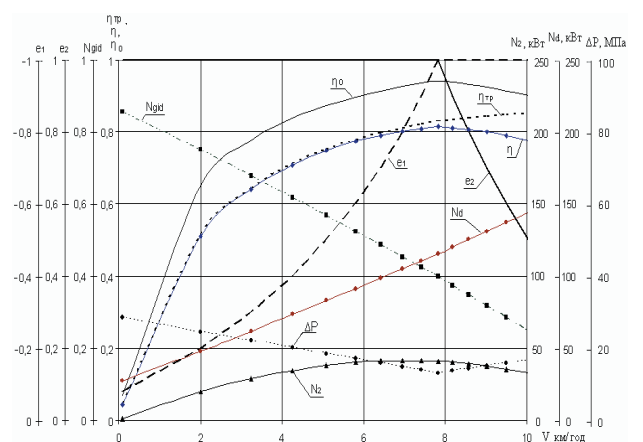


Рис. 9. Результати статичного аналізу ГОМТ № 3 з диференціалом на вході з регульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta P$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

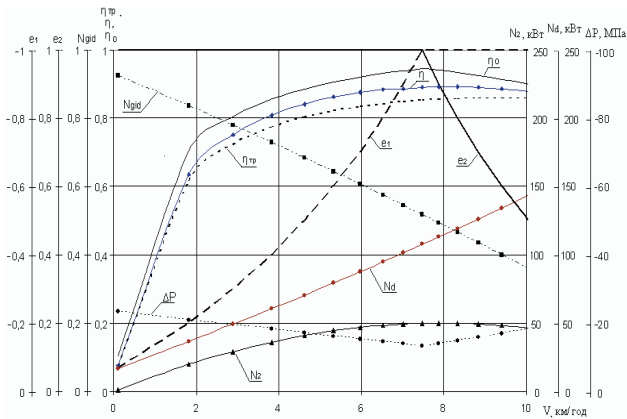


Рис. 10. Результати статичного аналізу ГОМТ № 4 з диференціалом на вході з регульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta p$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

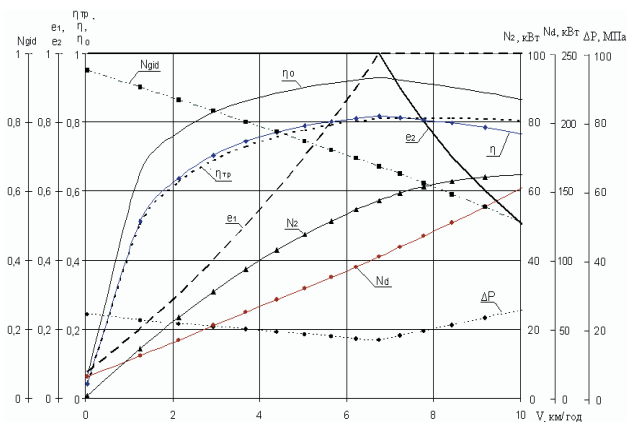


Рис. 11. Результати статичного аналізу ГОМТ № 5 з диференціалом на вході з регульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta p$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

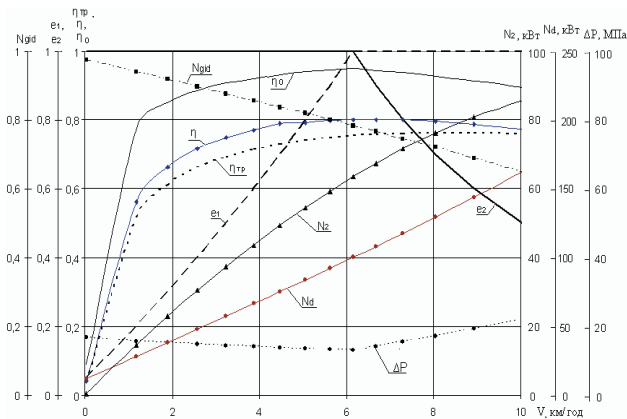


Рис. 12. Результати статичного аналізу ГОМТ № 6 з диференціалом на вході з регульованим гідромотором: залежність кінематичних, силових та енергетичних параметрів ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $N_{gid}$ ,  $\eta_{TP}$ ,  $\eta$ ,  $\eta_o$ ,  $N_2$ ,  $N_d$ ,  $\Delta p$ ) від швидкості руху трактора ( $V$ )

Узагальнені результати розрахунків основних параметрів ГОМТ з диференціалом на вході з різними

об'ємами гідромашин зведені до табл. 1. В процесі порівняльного аналізу визначено як змінюються параметри ГОМТ з різними об'ємами гідромашин (гідронасос має максимальний об'єм 130 см<sup>3</sup>, гідромотор – 250 см<sup>3</sup>) відносно параметрів ГОМТ з рівними об'ємами гідромашин (гідронасос та гідромотор мають максимальний об'єм по 130 см<sup>3</sup>) [9-10]. Результати дослідження наведені в табл. 2. В табл. знак “-” характеризує зменшення параметра ГОМТ з різними об'ємами гідромашин відносно параметрів ГОМТ з рівними об'ємами гідромашин, знак “+”, відповідно, збільшення.

Таблиця 1

Узагальнені результати статичного аналізу ГОМТ з диференціалом на вході (гідронасос має максимальний об'єм 130 см<sup>3</sup>, гідромотор – 250 см<sup>3</sup>)

Схема	$\Delta p$ , МПа	$\eta_{TPmax}$	Кутова швидкість сателітів, рад/с	$N_{dmax}$ , кВт	$N_{gidmin}$	Кутова швидкість валу, рад/с		k
						гідронасоса	гідромотора	
з нерегульованим гідромотором								
1	29,05 – 17,36	0,796	-235,4 – -231,6	154,4	0,565	375,0 – 236,1	-0,6 – -114,4	3,0
2	не працює							
3	36,22 – 17,08	0,831	600,0 – 341,6	148,3	0,403	369,2 – 172,9	-0,2 – -83,3	-4,5
4	-31,09 – -18,03	0,8536	180,8 – 416,7	144,5	0,525	-360,0 – -198,0	0,8 – -95,4	3,0
5	36,37 – 25,61	0,803	234,6 – -25,7	154,1	0,678	-264,7 – -191,5	-0,1 – -89,1	3,0
6	27,43 – 21,85	0,763	-600,0 – -479,0	162,9	0,792	-322,1 – -268,6	-2,0 – -128,2	-4,5
з регульованим гідромотором								
1	12,11 – 20,58	0,815	-235,4 – -203,9	151,8	0,387	375,0 – 174,3	-0,6 – -165,1	3,0
2	не працює							
3	13,13 – 28,63	0,852	600,0 – 264,1	144,4	0,247	369,2 – 115,1	-0,2 – -107,8	-4,5
4	-13,21 – -23,32	0,859	180,8 – 503,5	143,6	0,357	-360,0 – -138,7	0,8 – -129,8	3,0
5	16,71 – 25,57	0,811	234,6 – -165,7	153,5	0,507	-264,7 – -152,1	-0,1 – -136,8	3,0
6	23,02 – 21,85	0,759	-600,0 – -393,3	163,9	0,649	-322,1 – -231,1	-2,0 – -215,3	-4,5

Таблиця 2

Зміна параметрів ГОМТ, %

Схема	$\Delta p_{max}$	$\eta_{TPmax}$	$N_{dmax}$	$N_{gidmin}$	Максимальна кутова швидкість валу гідромотора
з нерегульованим гідромотором					
1	-19,82	-3,16	2,32	40,20	-29,51
2	-	-	-	-	-
3	-21,38	-3,03	2,99	55,00	-21,86
4	-22,66	-0,63	0,77	43,44	-25,47
5	-15,54	-1,35	2,26	29,89	-33,56
6	-11,23	-1,04	2,20	19,64	-38,92
з регульованим гідромотором					
1	-27,51	-3,09	4,12	57,96	-21,34
2	-	-	-	-	-
3	-29,01	-2,52	1,83	70,34	-14,10
4	-30,53	-0,35	0,77	58,67	-17,38
5	-22,56	-1,46	2,33	46,11	-25,69
6	-1,18	-1,81	1,54	33,54	-32,51

## 5. Висновки

В результаті аналізу ГОМТ з диференціалом на вході було встановлено:

– розглянуті ГОМТ з нерегульованим гідромотором (не залежно від того максимальний об'єм гідромотора  $130 \text{ см}^3$  чи  $250 \text{ см}^3$ ) по всіх параметрах (ККД трансмісії, потужності двигуна, перепаду тиску) поступають аналогічними ГОМТ з регульованим гідромотором;

– при використанні гідромотора максимальним об'ємом  $250 \text{ см}^3$  замість  $130 \text{ см}^3$  спостерігається, в залежності від схеми, зниження  $\Delta p_{\text{max}}$  на  $1,18\text{--}20,53\%$ ,  $\eta_{\text{ГПmax}}$  на  $0,35\text{--}3,16\%$ , максимальної кутової швидкості валу гідромотора на  $17,38\text{--}38,92\%$ ; підвищення  $N_{\text{dmax}}$  на  $0,77\text{--}4,12\%$ ,  $N_{\text{gidmin}}$  на  $19,64\text{--}70,34\%$ ; інші параметри

не зазнали суттєвих змін (максимальна кутова швидкість сателітів, максимальна кутова швидкість валу гідронасоса);

– у розглянутих ГОМТ з диференціалом на вході (не залежно від того максимальний об'єм гідромотора  $130 \text{ см}^3$  чи  $250 \text{ см}^3$ ) при русі переднім ходом зі швидкістю до  $10 \text{ км/год}$  в замкнутому контурі трансмісії циркуляція потужності відсутня – потужність передається по паралельних гілках двопотокової трансмісії [9];

– якнайкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 2), при заданих початкових даних, є схема № 4, на другому місці № 1, на третьому – схема № 5 (не залежно від того максимальний об'єм гідромотора  $130 \text{ см}^3$  чи  $250 \text{ см}^3$ ). Схеми № 3, 6 використовувати не рекомендується, № 2 – не працездатна.

## Література

1. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости: в 10 томах. Том 3: Трансмиссии. Книга 2: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования [Текст] / Е.Е. Александров, В.Б. Самородов, Д.О. Волонцевич, А.С. Палащенко – Харьков: ХГПУ, 1997. – 185 с.
2. 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» [Текст] / Рогов Андрей Владимирович. – Харків, 2006. – 168 с.
3. 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.
4. Комисарик, С.Ф. Гидравлические объемные трансмиссии [Текст] / С.Ф. Комисарик, Н.А. Ивановский. – М.: МАШГИЗ, 1963. – 155 с.
5. Петров, В.Г. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин [Текст] / В.Г. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
6. Городецкий, К.И. Конструирование и расчет составных частей объемного гидропривода [Текст] / К.И. Городецкий, Л.Н. Крумбольдт, Н.А. Щельцын; под ред. В.М. Шарипова. – М.: МАМИ, 1994. – 139 с.
7. Прочко, Е.И. Методы построения систем силовых гидрообъемных приводов колес полноприводных автомобилей: дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» [Текст] / Прочко Евгений Игнатьевич. – Москва, 2006. – 213 с.
8. Суковин, М.В. Система автоматизации проектирования устройства управления гидрообъемной трансмиссией цепного траншейного экскаватора: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (промышленность)» [Текст] / М.В. Суковин. – Омск, 2010. – 19 с.
9. Самородов, В.Б. Основные параметры гидрообъемно-механических трансмиссий, работающих по схеме «дифференциал на входе» [Текст] / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/7 (56). – С. 25 – 35.
10. Самородов, В.Б. Аналіз безступінчастих двопотокових гідрооб'ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем [Текст] / В.Б. Самородов, О.В. Григоров, А.І. Бондаренко // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2012. – № 20. – С. 24 – 46.