

УДК 621.83.062.1

*В роботі наведені схеми гідрооб'ємно-механічних трансмісій, що працюють за схемою "диференціал на виході" 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 виході", планетарний механізм*

*В работе приведены схемы гидрообъемно-механических трансмиссий, которые работают по схеме "дифференциал на выходе" с разным 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 выходе", планетарный механизм*

# ВПЛИВ ОБ'ЄМУ ГІДРОМОТОРА НА ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗА СХЕМОЮ "ДИФЕРЕНЦІАЛ НА ВИХОДІ"

**В.Б. Самородов**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри\*

Контактний тел.: (057) 707-64-64

E-mail: vadimsamorodov@mail.ru

**А.І. Бондаренко**

Кандидат технічних наук\*

Контактний тел.: (057) 707-64-64

E-mail: anatoliybon@rambler.ru

\*Кафедра "Автомобіле- і тракторобудування"

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут"

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

## 1. Вступ

Із року в рік збільшується кількість самохідних машин, обладнаних гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ). Це обумовлено перш за все: безступінчастим регулюванням швидкості, що істотно підвищує рухливість і ергономічність самохідних машин; підвищенням керованості машини в порівнянні з механічною ступінчастою трансмісією, оскільки з'являється можливість змінювати в широких інтервалах тягове зусилля на провідних колесах машини при достатньо малих, прийнятних для водія, зусиллях на органах керування; забезпеченням гальмування самохідної машини за рахунок гідрооб'ємної передачі (ГОП); спрощеним керуванням машини і т.п.

Не зважаючи на величезну різноманітність ГОМТ самохідних машин, на даний момент мало вивчений вплив об'єму гідромотора на основні параметри ГОМТ, що працюють за схемою "диференціал на виході".

## 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, комбай-

нів, 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., Monika M.I., Blake A.C., Kyle R.W., Weber M. та ін. [1-8].

У всіх ГОМТ, виконаних за схемою "диференціал на виході", як правило, використовується одна регульована і одна нерегульована гідромашини [9]. Перевагою таких ГОМТ є мала встановлююча потужність гідромашин завдяки використанню декількох піддіапазонів, на початку кожного піддіапазону потужність циркулює в замкнутому контурі трансмісії, спричиняючи зниження її коефіцієнта корисної дії (ККД), в кінці діапазонів циркуляція відсутня.

В роботах [9-10] наведені схеми ГОМТ, що найбільш часто використовуються та працюють за схемою "диференціал на виході", складені 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 (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 виході”:

– 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, ККД ГОП і трансмісії в цілому при різних об'ємах гідромотору;

– аналіз отриманих результатів.

Вплив об'єму гідромотора на основні параметри ГОМТ, що працюють за схемою “диференціал на виході”.

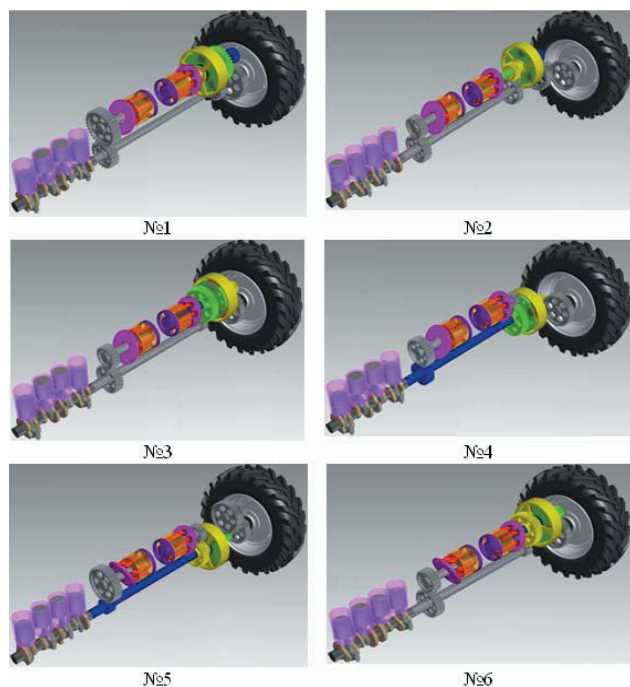


Рис. 1. Спрощене 3-D зображення схем ГОМТ з диференціалом на виході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

Як було зазначено в роботах [9-10], у ГОМТ самохідних машин, що працюють за схемою “диференціал на виході”, 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

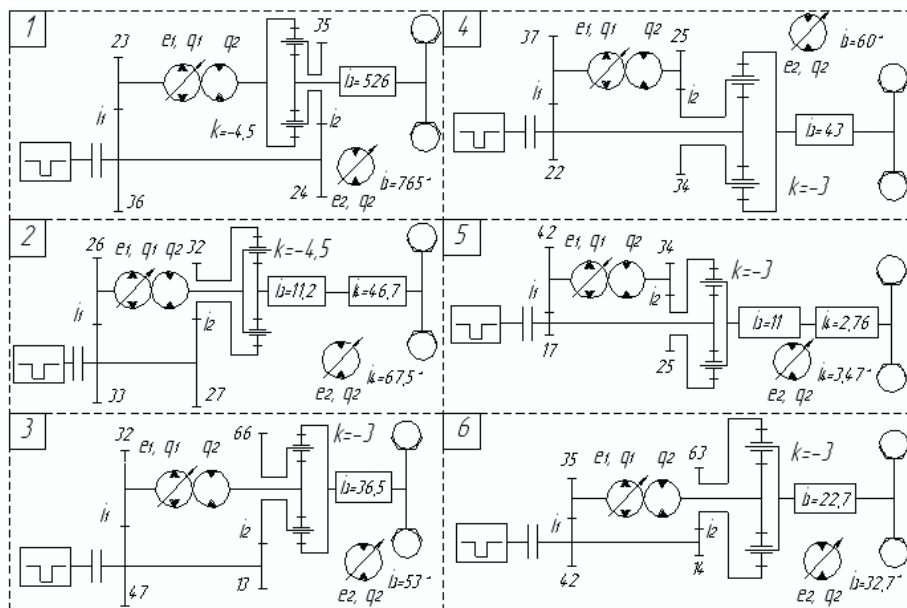


Рис. 2. Спрощені кінематичні схеми ГОМТ з диференціалом на виході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму:

\* – регульований гідромотор

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).

На рис. 2. наведені спрощені кінематичні схеми ГОМТ самохідних машин з диференціалом на виході 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>).

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 виході з нерегульованим гідромотором наведені на рис. 3 – 8, з регульованим гідромотором – на рис. 9 – 14 (позначення на рис. 3 – 14:  $\eta_0$  – 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).

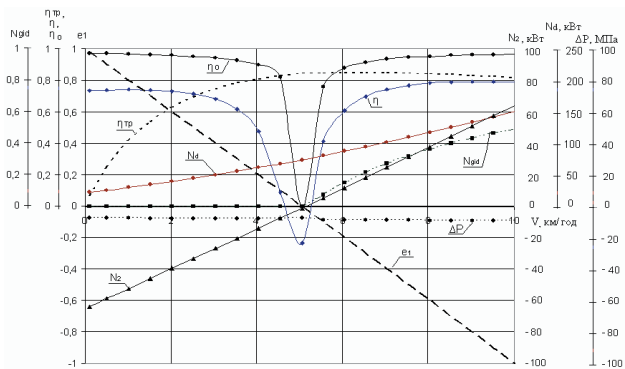


Рис. 3. Результати статичного аналізу ГОМТ № 1 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

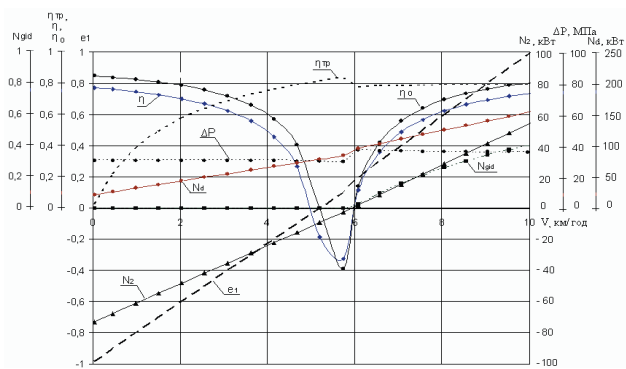


Рис. 7. Результати статичного аналізу ГОМТ № 5 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

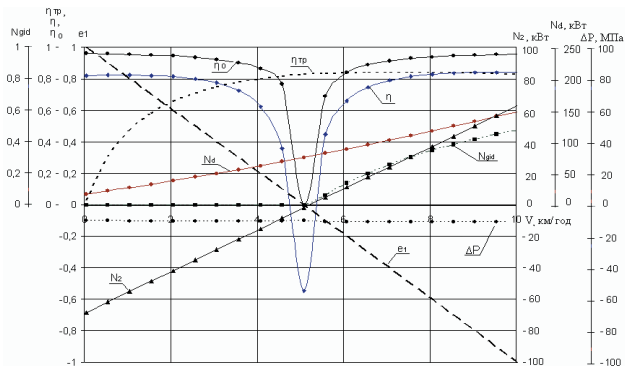


Рис. 4. Результати статичного аналізу ГОМТ № 2 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

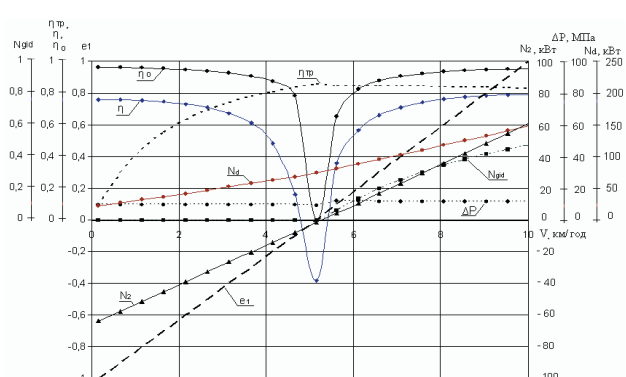


Рис. 8. Результати статичного аналізу ГОМТ № 6 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

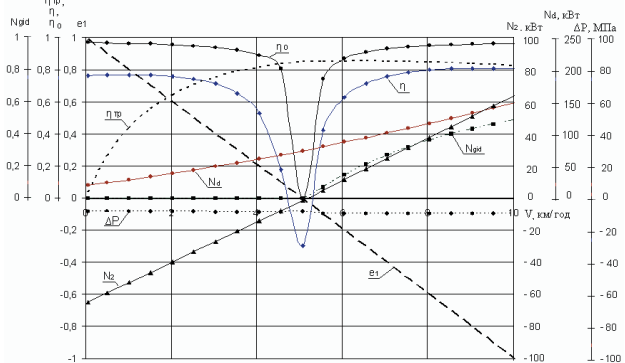


Рис. 5. Результати статичного аналізу ГОМТ № 3 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

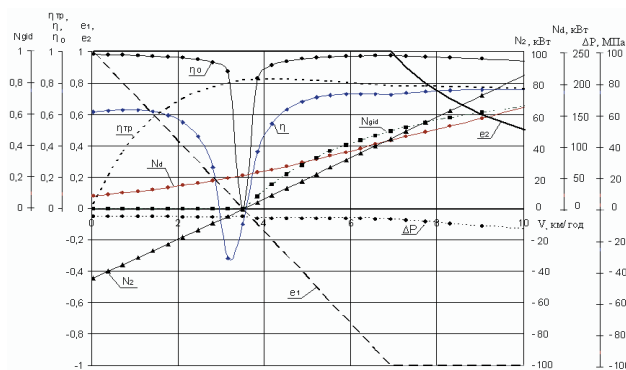


Рис. 9. Результати статичного аналізу ГОМТ № 1 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

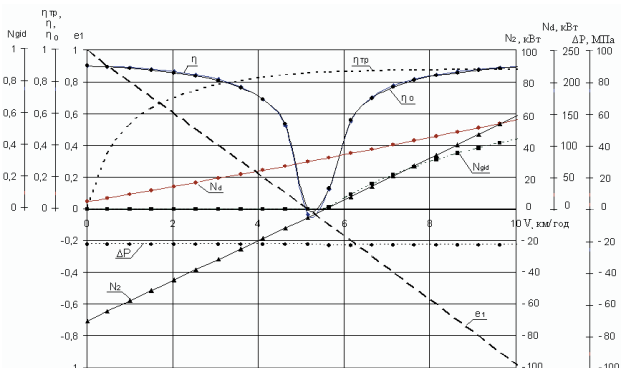


Рис. 6. Результати статичного аналізу ГОМТ № 4 з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором

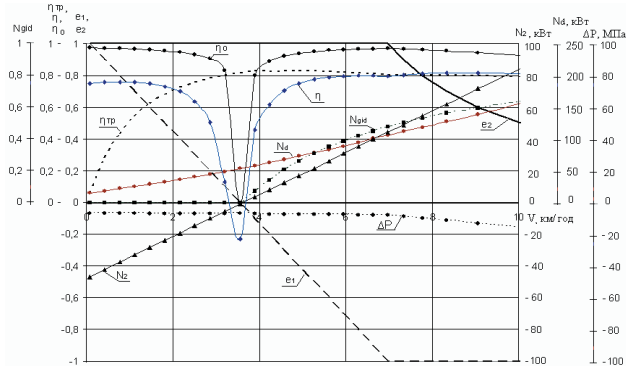


Рис. 10. Результати статичного аналізу ГОМТ № 2 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

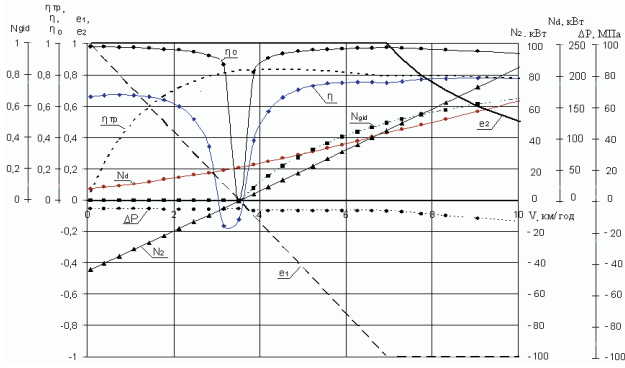


Рис. 11. Результати статичного аналізу ГОМТ № 3 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

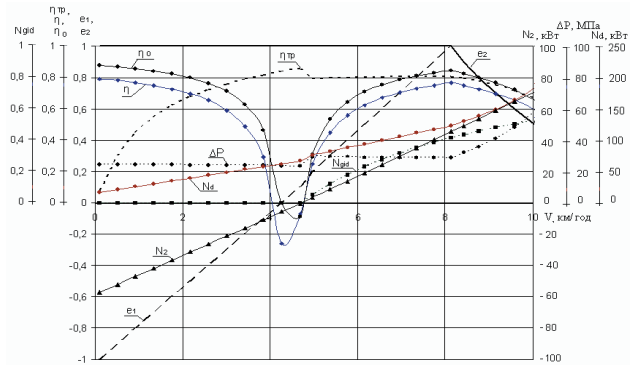


Рис. 13. Результати статичного аналізу ГОМТ № 5 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

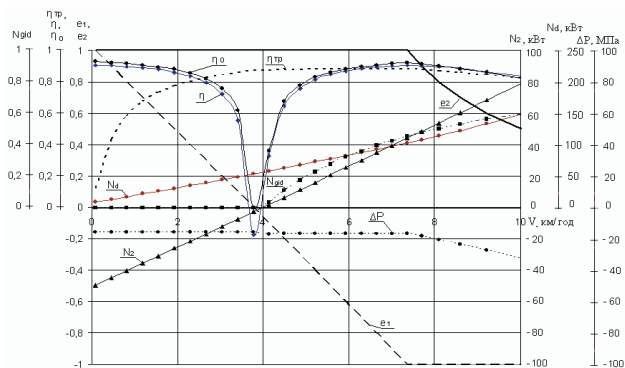


Рис. 12. Результати статичного аналізу ГОМТ № 4 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

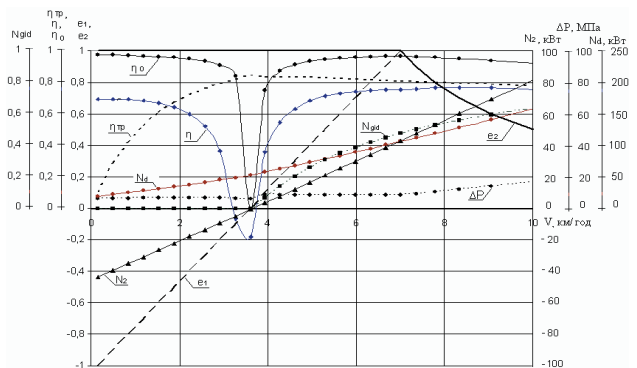


Рис. 14. Результати статичного аналізу ГОМТ № 6 з диференціалом на виході з регульованим гідромотором

Таблиця 1

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

Схема	Δр, МПа	η <sub>ГРmax</sub>	Кутова швидкість сателітів, рад/с	N <sub>dmax</sub> , кВт	Кутова швидкість валу, рад/с	
					гідронасоса	гідромотора
з нерегульованим гідромотором						
1	-7,63 – -9,28	0,849	-81,2 – 891,3	150,7	-368,6	-193,1 – 185,4
2	-10,12 – -11,09	0,843	-95,9 – -893,6	148,2	-298,9	-161,4 – 149,1
3	-8,23 – -9,81	0,855	137,1 – -219,9	149,0	-345,9	-183,5 – 173,5
4	-22,26 – -22,71	0,877	-176,7 – -283,4	141,6	-140,0	-79,9 – 65,1
5	30,60 – 36,00	0,834	-235,1 – -135,9	154,5	-95,3	57,3 – -39,9
6	9,59 – 11,84	0,856	-153,5 – 66,1	148,4	-282,6	152,3 – -140,4
з регульованим гідромотором						
1	-4,97 – -13,49	0,823	-81,2 – 1341,0	161,7	-368,6	-193,1 – 360,4
2	-6,78 – -15,87	0,827	-95,9 – -1251,0	155,8	-298,9	-161,4 – 288,3
3	-5,43 – -14,2	0,833	137,1 – -383,3	159,1	-345,9	-183,5 – 336,9
4	-15,81 – -32,67	0,883	-176,7 – -323,8	149,0	-140,0	-79,9 – 120,1
5	24,24 – 58,05	0,856	-235,1 – -110,2	184,0	-95,3	57,3 – -69,1
6	6,45 – 17,03	0,845	-153,5 – 163,9	158,7	-282,6	152,3 – -270,8

Узагальнені результати розрахунків основних параметрів ГОМТ з диференціалом на виході 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 2**

**Зміна параметрів ГОМТ, %**

Схема	$\Delta p_{max}$	$\eta_{TPmax}$	Максимальна кутова швидкість сателітів, рад/с	$N_{dmax}$	Максимальна кутова швидкість валу, рад/с	
					гідронасоса	гідромотора
з нерегульованим гідромотором						
1	-6,55	0,12	-48,45	-2,71	0,00	-49,21
2	-7,43	0,72	-46,59	-2,31	0,00	-46,34
3	-15,43	-1,27	-39,49	-0,93	15,72	-41,13
4	-0,04	0,80	0,78	-0,14	0,00	-49,33
5	-2,52	-0,24	-0,08	-0,58	0,00	-49,74
6	-8,57	0,23	-46,22	-1,46	1,25	-46,60
з нерегульованим гідромотором						
1	-11,19	-0,24	-46,36	-7,65	0,00	-44,54
2	-9,93	0,36	-46,03	-6,54	0,00	-45,94
3	-17,92	-2,23	-36,12	-3,05	15,72	-36,96
4	-4,97	0,57	4,15	-5,10	0,00	-44,40
5	-1,38	0,23	-0,08	-3,21	0,00	-39,39
6	-10,51	0,00	-44,48	-5,03	1,25	-45,06

**4. Висновки**

В результаті аналізу ГОМТ з диференціалом на виході було встановлено:

– не дивлячись на те, що внутрішнє передавальне відношення планетарного ряду схем № 1, 2 в розрахунках прийнято  $k = -4,5$ , кутові швидкості сателітів досягають 891,3 і -893,6 рад/с (з нерегульованим гідромотором), 1341,0 і -1251,0 рад/с (з регульованим гідромотором) при швидкості 10 км/год (допустимо не більше 600 рад/с), що свідчить про неприцездатність даних трансмісії;

– оберти валу регульованого гідромотора схеми № 1 та перепад робочого тиску в ГОП схеми № 5 (з регульованим гідромотором) перевищують максимально допустимі значення, що свідчить про неприцездатність даних трансмісії;

– при використанні гідромотора максимальним об'ємом 250 см<sup>3</sup> замість 130 см<sup>3</sup> спостерігається, в залежності від схеми, зниження  $\Delta p_{max}$  на 0,04 – 17,92%,  $N_{dmax}$  на 0,14 – 6,54%, максимальної кутової швидкості валу гідромотора на 36,96 – 49,74%; підвищення максимальної кутової швидкості валу гідронасоса на 0,0 – 15,72%; зміна  $\eta_{TPmax}$  в діапазоні -2,23 – 0,80%, зміна максимальної кутової швидкості сателітів в діапазоні -48,45 – 4,15%.

У ГОМТ з диференціалом на виході з нерегульованим гідромотором, що розглядаються, при русі переднім ходом зі швидкістю 5,5 – 10 км/год (для схем № 1 – 4, 6), 6,0 – 10,0 км/год (для схеми № 5) в замкнутому контурі трансмісії циркуляція потужності відсутня – потужність передається по паралельних гілках двопотокової трансмісії.

При русі зі швидкістю 0 – 5,5 км/год (для схем № 1 – 4, 6), 0 – 6,0 км/год (для схеми № 5) в замкнутому контурі з'являється циркуляція потужності, що приводить до перевантаження механічної гілки.

У ГОМТ з диференціалом на виході з регульованим гідромотором, що розглядаються, при русі переднім ходом зі швидкістю 3,9 – 10 км/год (для схем № 1 – 4, 6), 4,9 – 10,0 км/год (для схеми № 5) в замкнутому контурі трансмісії циркуляція потужності відсутня – потужність передається по паралельних гілках двопотокової трансмісії. При русі зі швидкістю 0 – 3,9 км/год (для схем № 1 – 4, 6), 0 – 4,9 км/год (для схеми № 5) в замкнутому контурі з'являється циркуляція потужності, що приводить до перевантаження механічної гілки.

Якнайкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на виході (рис. 2) є схема № 4 (можна використовувати її як з нерегульованим, так і з регульованим гідромотором), на другому місці № 6, третє місце ділять схеми № 3, 5 (схема 5 – тільки з нерегульованим гідромотором).

Схеми № 1, 2 (з нерегульованим гідромотором), № 1 – 2, 5 (з регульованим гідромотором) – не працездатні.

**Література**

1. 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.
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 выходе” [Текст] / В.Б. Самородов, А.И. Бондаренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/7 (57). – С. 4 – 12.
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.

### **Abstract**

*Every year the number of selfpropelled machines equipped with hydrovolumetric mechanical transmissions increases. In the process of creation of new hydrovolumetric mechanical transmission the designers faced a number of difficult issues: the choice of optimal structural chart, determination of necessary parameters of hydrovolumetric transmission, etc. The article examines the influence of hydromotor volume on the main parameters of hydrovolumetric mechanical transmissions working according to the scheme “output differential.” The article represents the kinematic scheme of hydrovolumetric mechanical transmissions with different connection of mechanical and hydraulic strand with units of planetary train (sun gear, crown gear, cage). There are definitions of kinematic, force and energy parameters of given transmission, efficiency of hydrovolumetric transmission and transmission in general at different volumes of hydromotors. The analysis of hydrovolumetric mechanical transmission with output differential showed that using hydromotor of maximum volume of 250 cm<sup>3</sup> instead of 130 cm<sup>3</sup> we can observe the reduction of the maximum pressure to 0.04 - 17.92% , the maximum power output to 0.14 - 6.54%, the maximum angular velocity of hydromotor shaft to 36.96 - 49.74%, the increase of maximum angular velocity of the shaft of hydropump to 0.0 - 15.72%, the change of maximum efficiency value in the range 2.23 - 0.80%, the change of maximum angular velocity of satellites in the range -48.45 - 4.15%*

**Keywords:** hydrovolumetric mechanical transmission, scheme “differential output”, planetary train