

УДК 621.83.062.1

В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»,
А. І. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

ВПЛИВ ОБ'ЄМУ ГІДРОМОТОРА НА КІНЕМАТИЧНІ, СИЛОВІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ

У роботі наведені спрощені схеми гідрооб'ємно-механічних трансмісій зі всіма можливими з'єднаннями механічної та гідравлічної гілки з ланками триланкового планетарного механізму, визначено вплив об'єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб'ємно-механічних трансмісій.

Ключові слова: гідрооб'ємно-механічна трансмісія, гідрооб'ємна передача, планетарний механізм.

Вступ. У світовій практиці гідрооб'ємно-механічні трансмісії (ГОМТ) знайшли застосування на тих самохідних машинах, де механічні передачі не здатні ефективно і раціонально вирішувати завдання підведення і трансформації по заданих законах потужності від двигуна до робочих органів або рушіїв самохідних машин. До таких машин відносяться: транспортно-технологічні машини (самохідні багатокілісні автомобілі вантажопідйомністю 150 – 200 тон, важкі самоскиди (понад 50 тон), зчленовані колісні та гусеничні машини, аеродромні тягачі); лісотехнічні машини; будівельно-дорожні машини – крани, екскаватори, трубоукладачі, навантажувачі, бульдозери; малотоннажні плаваючі автомобілі високої прохідності і так далі.

Також ГОМТ застосовуються на сільськогосподарських машинах: зернозбиральних і кормозбиральних комбайнах, сільськогосподарських і промислових колісних та гусеничних тракторах.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

На даний момент основними виробниками техніки з ГОМТ є такі всесвітньо відомі транснаціональні корпорації як CNH, що об'єднує фірми Case IH, New Holland (США) і Steyr (Австрія); AGCO, що об'єднує фірми Fendt (Німеччина), Massey Ferguson, Challenger (США) і Valtra (Фінляндія); SDF, що об'єднує фірми Same, Lamborghini (Італія) і Deutz-Fahr (Німеччина), а також компанії John Deere (США), Claas (Німеччина) [1 – 2].

Активні роботи зі створення ГОМТ для автомобіле- і тракторобудівної галузі ведуться в Науково-дослідному автотракторному інституті (“НАТИ”) у Москві [2 – 3], а також у Харкові в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” в тісній співпраці з Індустріальною групою “УПЕК”, ВАТ “ХТЗ ім. Орджонікідзе”, Харківським заводом транспортного обладнання.

Фірма CNH в трансмісії, яка наведена на рис. 1 [1 – 2], фірма Fendt в трансмісії Fendt Vario (рис. 2)[1 – 2] використовують гідромашини різного об'єму. В ГОМТ змінної структури Auto Powr (рис. 3 [1 – 2]), WSG 500 (рис. 4 [1 – 2]) використовуються гідромашини рівних об'ємів.

Не зважаючи на величезну різноманітність ГОМТ самохідних машин, на даний момент мало вивчений вплив об'єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ.

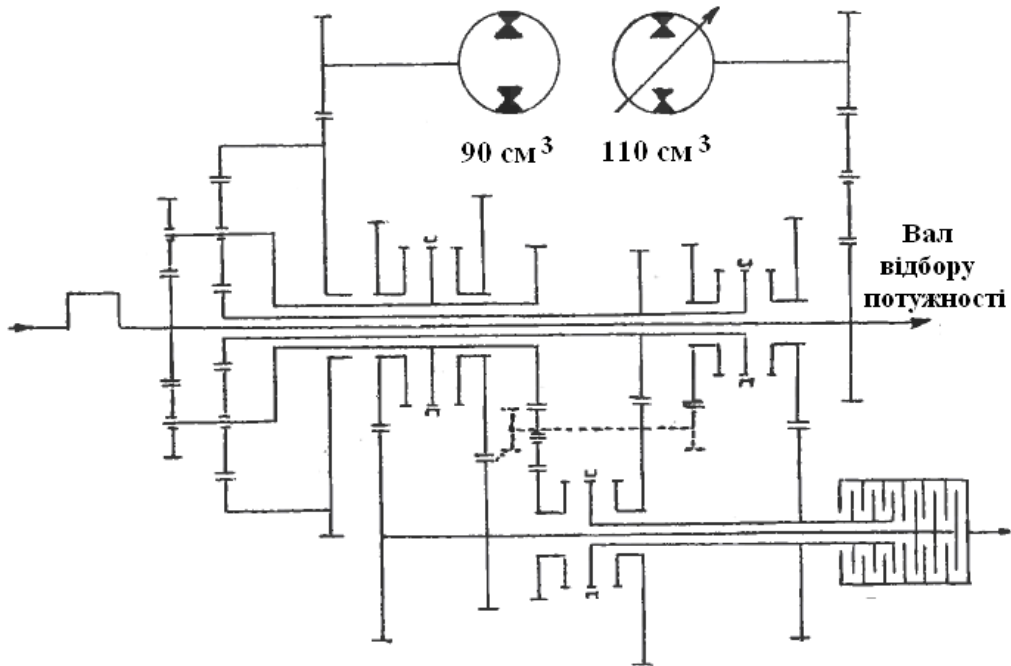


Рисунок 1 – Кінематична схема трансмісії CNH

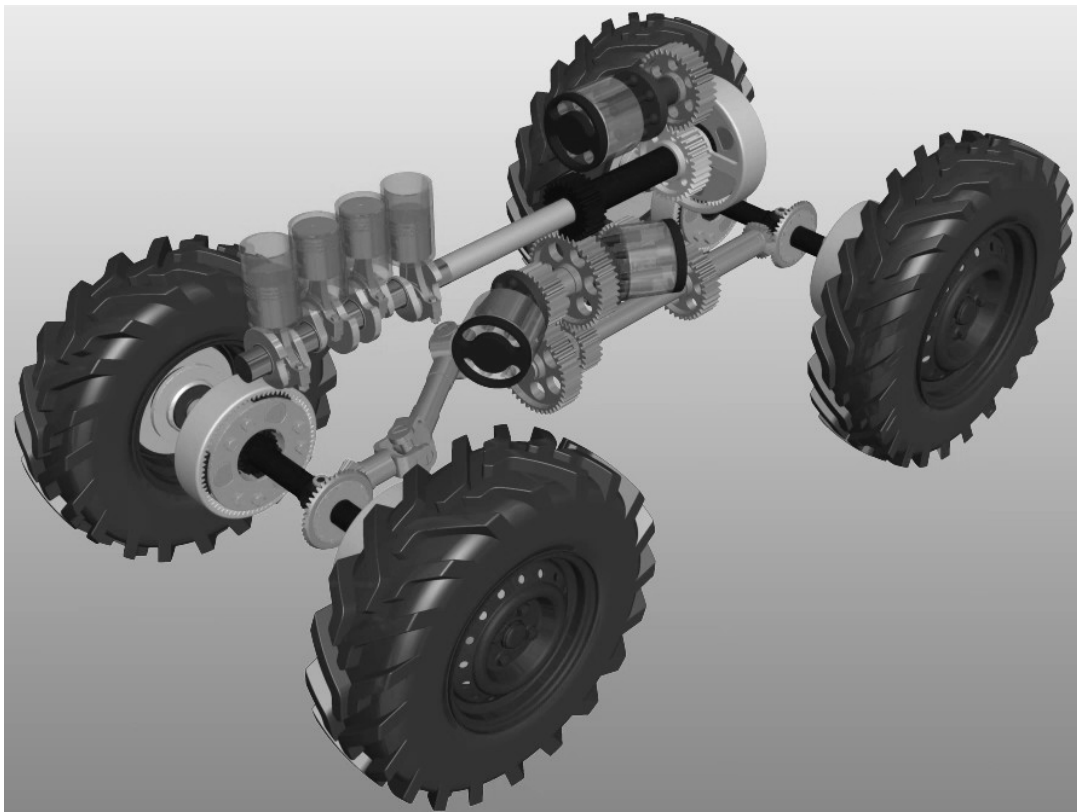


Рисунок 2 – Спрощена 3-D модель тракторів серії FENDT 900 VARIO

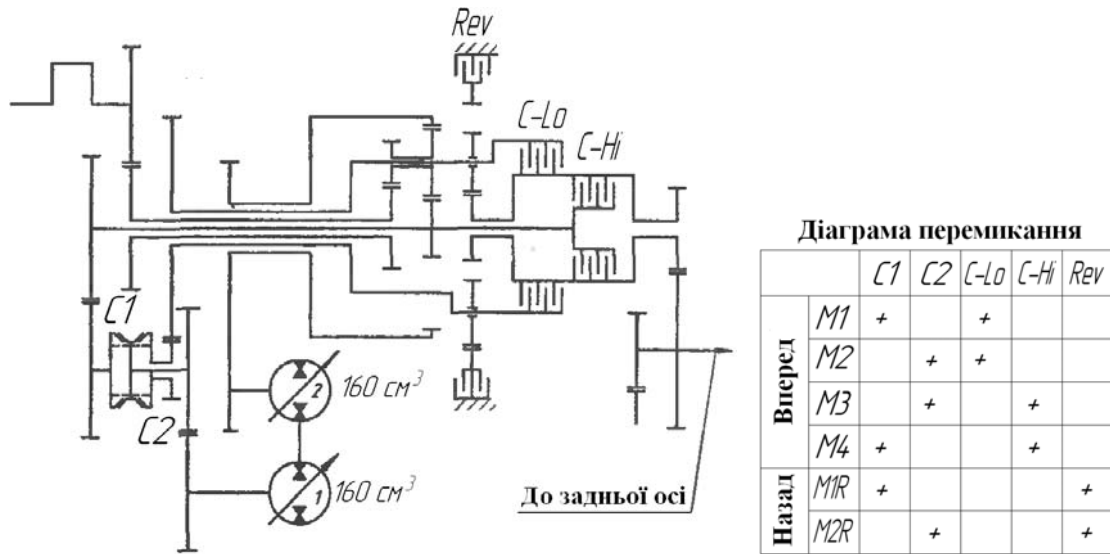


Рисунок 3 – Кінематична схема трансмісії John Deere Auto Powr 8345 R

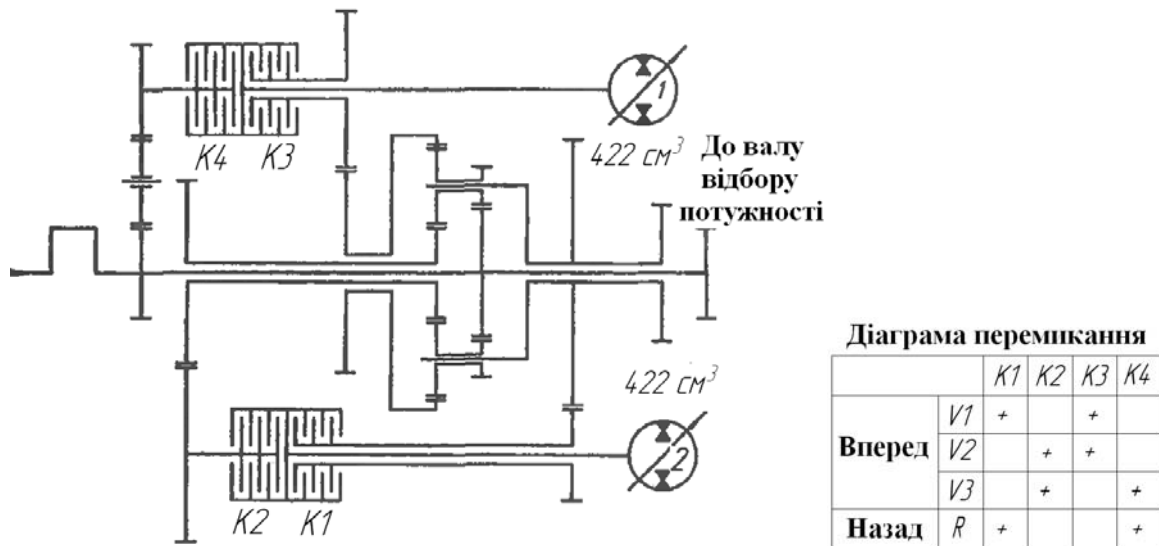


Рисунок 4 – Кінематична схема трансмісії MALI WSG 500

Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є дослідження впливу об'єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ:

- складання схем ГОМТ з різним з'єднанням механічної та гідравлічної гілки з ланками триланкового планетарного механізму (з сонячною шестернею, коронною шестернею, водилом);
- визначення кінематичних, силових та енергетичних параметрів даних трансмісій при різних об'ємах гідромотору;
- аналіз отриманих результатів.

Вплив об'єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ.

Як було зазначено в роботах [4 – 6], у ГОМТ самохідних машин, що працюють за схемою “диференціал на вході” та “диференціал на виході”, можливі по 6 варіантів з'єднання механічної і гідравлічної гілки з ланками триланкового планетарного механізму. В роботах [4 – 6] 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, 3-D зображення даних схем наведено на рис. 5, 6.

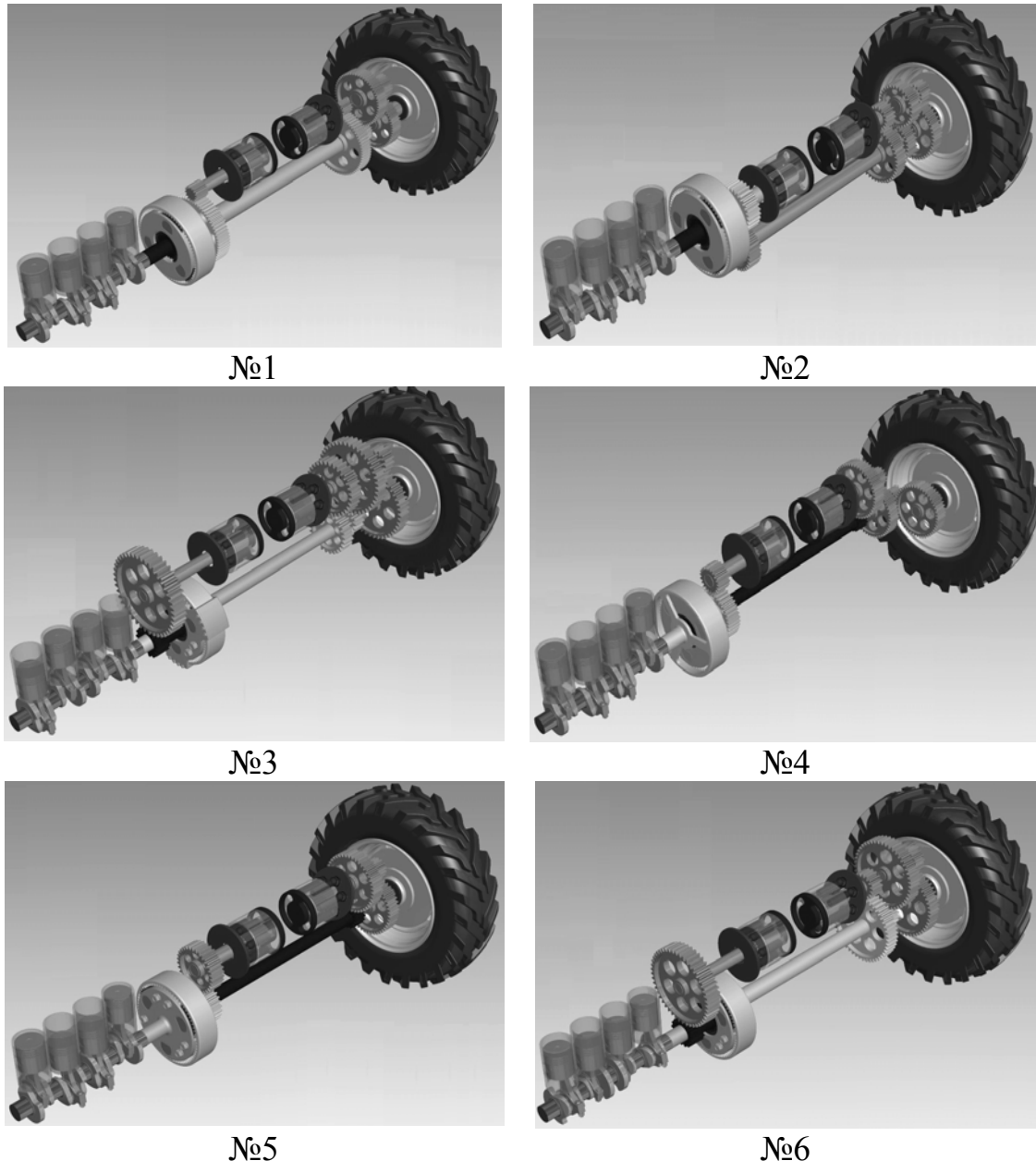


Рисунок 5 – Спрощене 3-D зображення схем ГОМТ з диференціалом на вході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

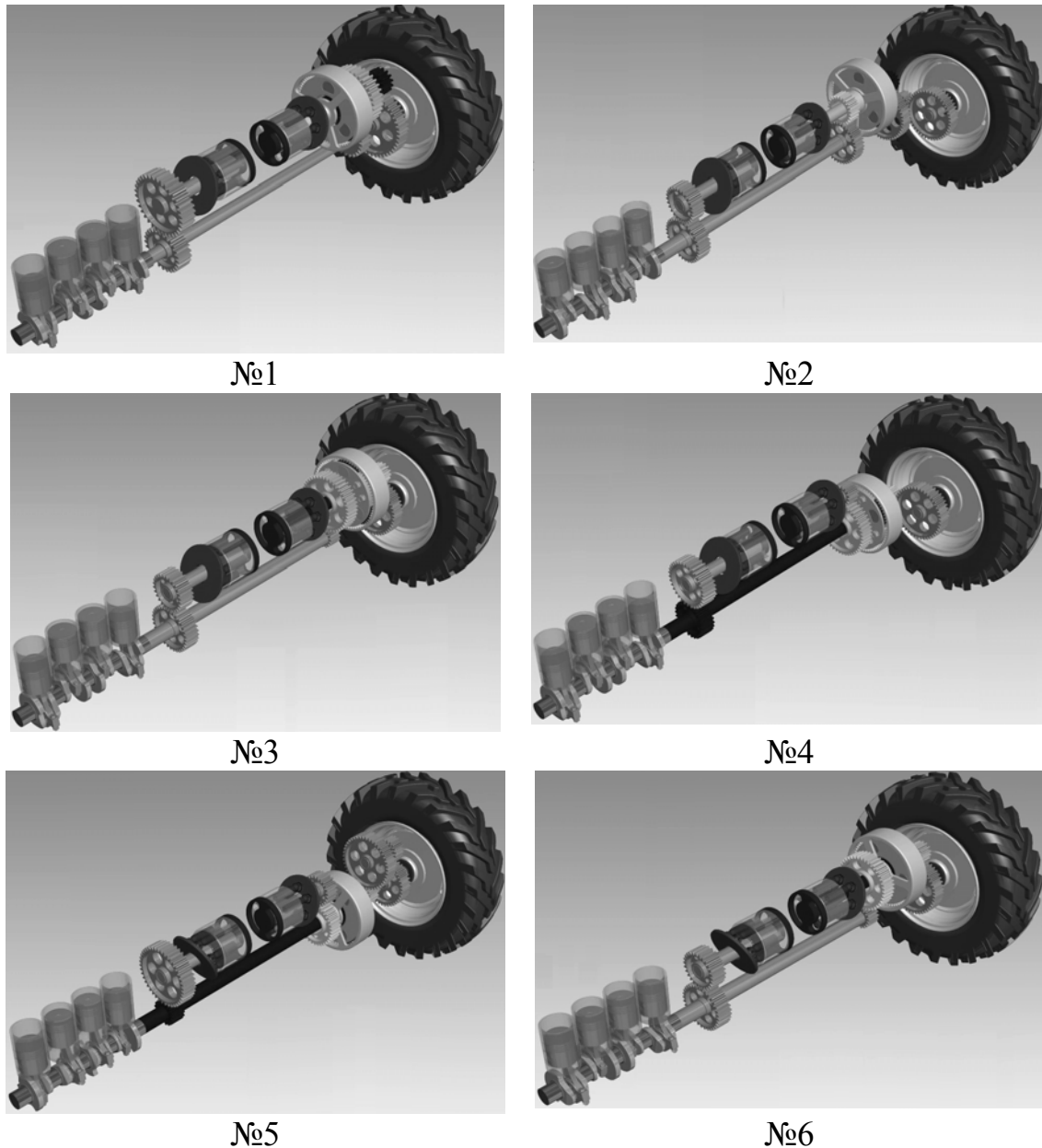


Рисунок 6 – Спрощене 3-D зображення схем ГОМТ з диференціалом на виході при різних з'єднаннях механічної та гідравлічної гілки з ланками планетарного механізму

В якості початкових даних для аналізу ГОМТ при різних об'ємах гідромашин вибрані наступні параметри (параметри аналогічні тим, які використовувались при аналізі ГОМТ з рівними об'ємами гідромашин): 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^3 , робочий об'єм гідромотора – $130 \div 250 \text{ см}^3$.

Узагальнені результати розрахунків основних параметрів ГОМТ з диференціалом на вході та виході з різними об'ємами гідромашин зведені до табл. 1 та 2.

Позначення в табл. 1, 2: $\eta_{TP\max}$ – максимальне значення коефіцієнта корисної дії (ККД) трансмісії; $N_{d\max}$ – максимальна потужність двигуна, кВт; Δp – перепад робочого тиску в гідрооб’ємній передачі; Δp_{\max} – максимальне значення перепаду робочого тиску в гідрооб’ємній передачі; $N_{gid\min}$ – мінімальне значення відношення потужностей у відсотках, що передаються через гідравлічну гілку до вихідної потужності із замкнутого контуру.

Таблиця 1 – Узагальнені результати статичного аналізу ГОМТ з диференціалом на вході (гідронасос має максимальний об’єм 130 см³, гідромотор – 250 см³)

Схема	Δp , МПа	$\eta_{TP\max}$	Кутова швидкість сателітів, рад/с	$N_{d\max}$, кВт	$N_{gid\min}$	Кутова швидкість валу, рад/с	
						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
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	-31,09 – -18,03	0,8536	180,8 – 416,7	144,5	0,525	-360,0 – -198,0	0,8 – 95,4
5	36,37 – 25,61	0,803	234,6 – -25,7	154,1	0,678	-264,7 – -191,5	-0,1 – -89,1
6	27,43 – 21,85	0,763	-600,0 – -479,0	162,9	0,792	-322,1 – -268,6	-2,0 – -128,2
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
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	-13,21 – -23,32	0,859	180,8 – 503,5	143,6	0,357	-360,0 – -138,7	0,8 – 129,8
5	16,71 – 25,57	0,811	234,6 – -165,7	153,5	0,507	-264,7 – -152,1	-0,1 – -136,8
6	13,02 – 21,85	0,759	-600,0 – -393,3	163,9	0,649	-322,1 – -231,1	-2,0 – -215,3

В процесі порівняльного аналізу визначено як змінюються параметри ГОМТ з різними об’ємами гідромашин (гідронасос має максимальний об’єм 130 см³, гідромотор – 250 см³) відносно параметрів ГОМТ з рівними об’ємами гідромашин (гідронасос та гідромотор мають максимальний об’єм по 130 см³) [5, 6]: знак “-” характеризує зменшення параметра, знак “+”, відповідно, збільшення. Результати дослідження наведені в табл. 3, 4.

Таблиця 2 – Узагальнені результати статичного аналізу ГОМТ з диференціалом на виході (гідронасос має максимальний об'єм 130 см³, гідромотор – 250 см³)

Схема	Δp , МПа	$\eta_{TP \max}$	Кутова швидкість сателітів, рад/с	$N_{d \max}$, 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

Таблиця 3 – Зміна параметрів ГОМТ з диференціалом на вході, %

Схема	Δp_{\max}	$\eta_{TP \max}$	$N_{d \max}$	$N_{gid \min}$	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

Таблиця 4 – Зміна параметрів ГОМТ з диференціалом на виході, %

Схема	Δp_{\max}	$\eta_{TP\max}$	Максимальна кутова швидкість сателітів, рад/с	$N_{d\max}$	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

Зміна ККД трансмісії η_{TP} від швидкості трактора V та об'єму регульованого гідромотора для різних схем ГОМТ наведена на рис. 7 – 17.

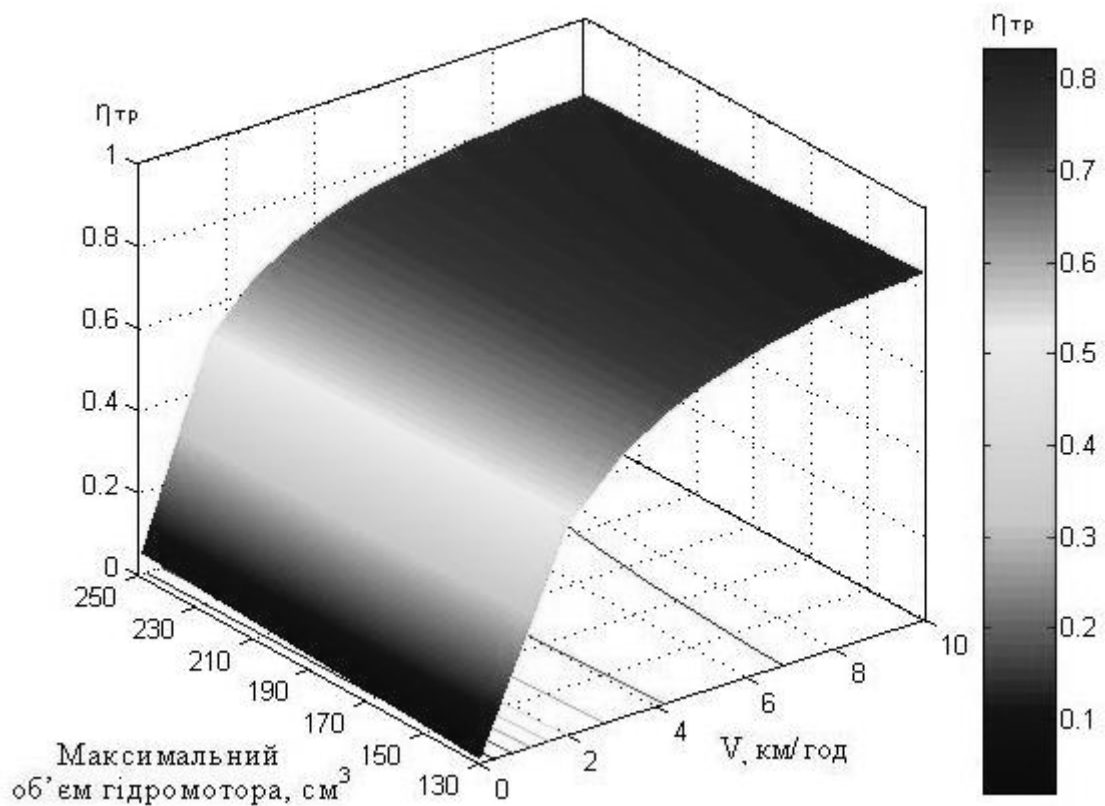


Рисунок 7 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 1 з диференціалом на вході (рис. 5)

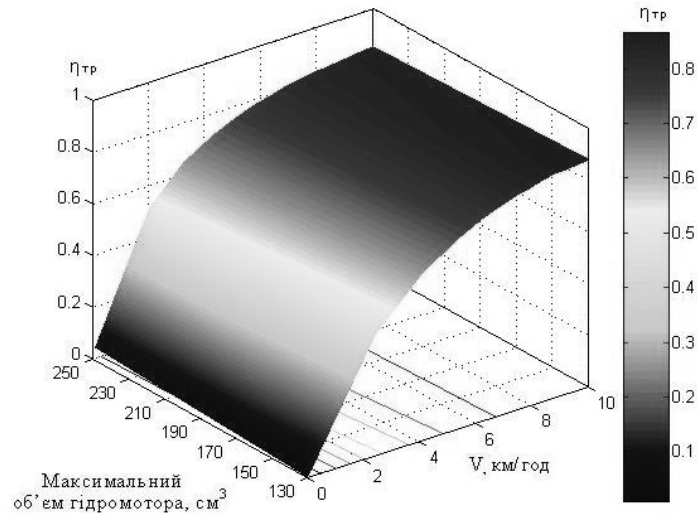


Рисунок 8 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 3 з диференціалом на вході (рис. 5)

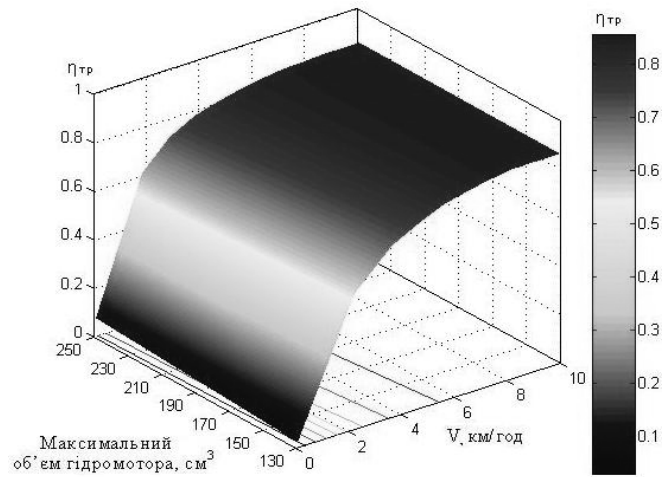


Рисунок 9 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 4 з диференціалом на вході (рис. 5)

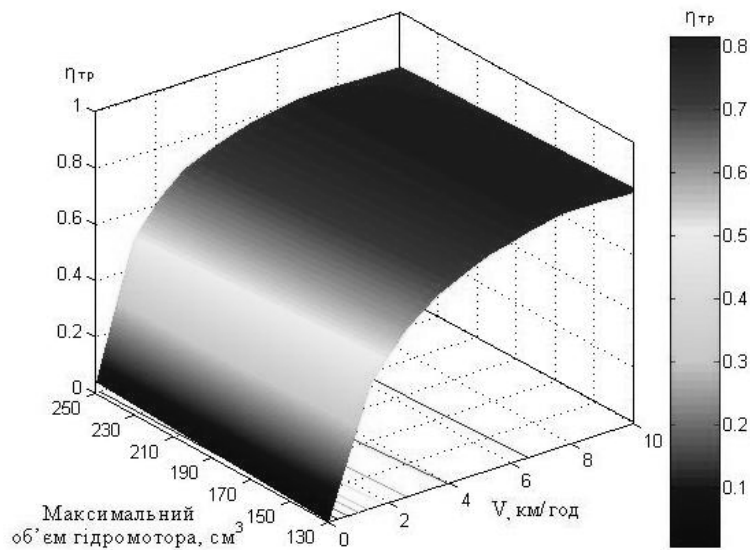


Рисунок 10 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 5 з диференціалом на вході (рис. 5)

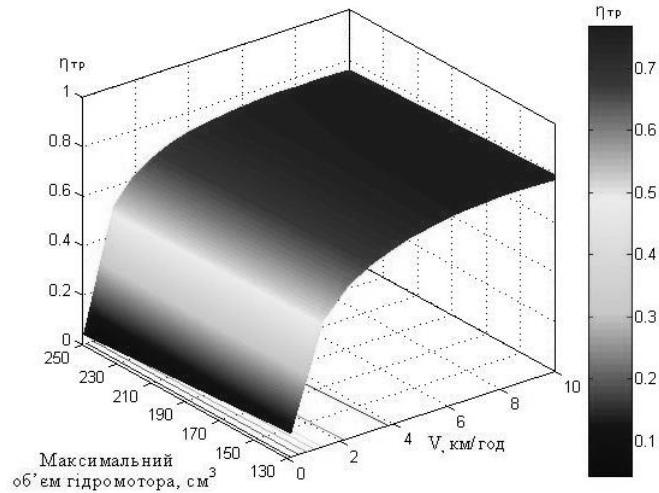


Рисунок 11 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 6 з диференціалом на вході (рис. 5)

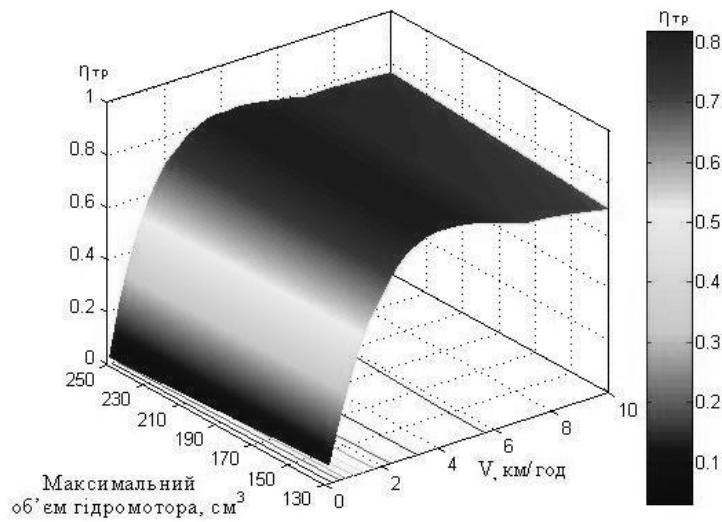


Рисунок 12 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 1 з диференціалом на виході (рис. 6)

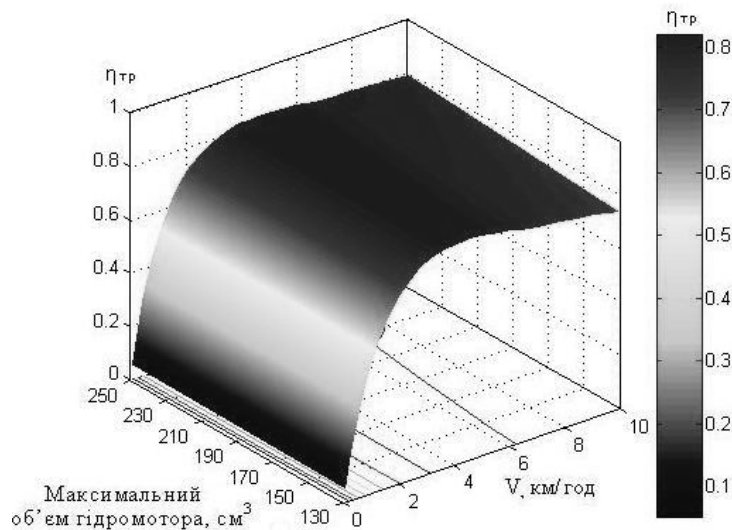


Рисунок 13 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 2 з диференціалом на виході (рис. 6)

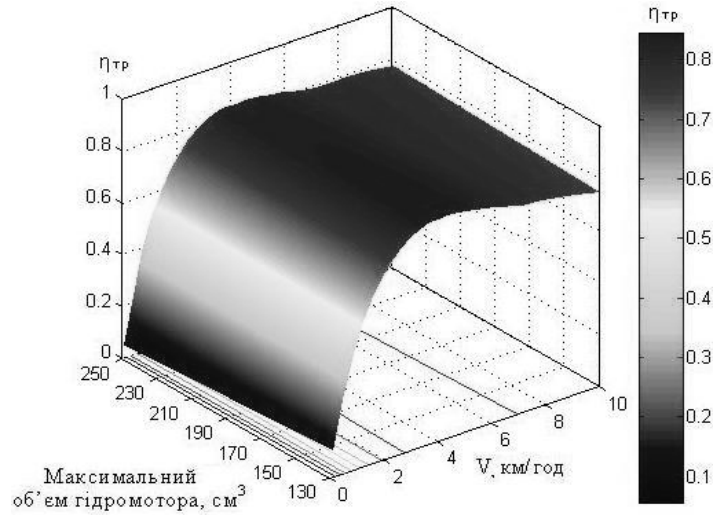


Рисунок 14 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 3 з диференціалом на виході (рис. 6)

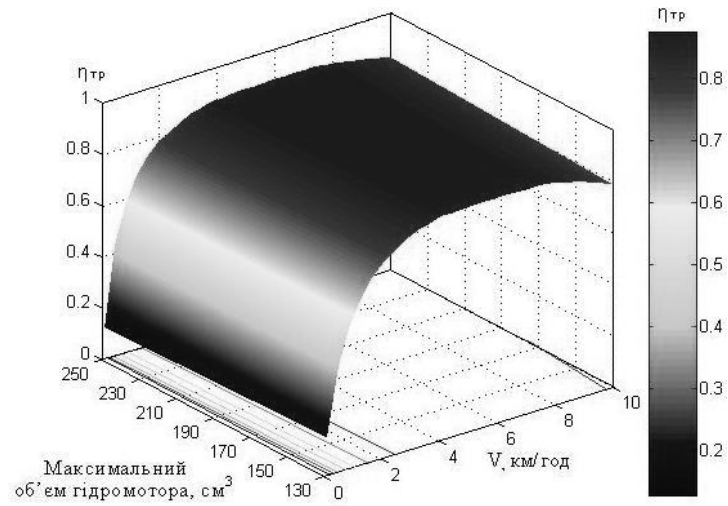


Рисунок 15 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 4 з диференціалом на виході (рис. 6)

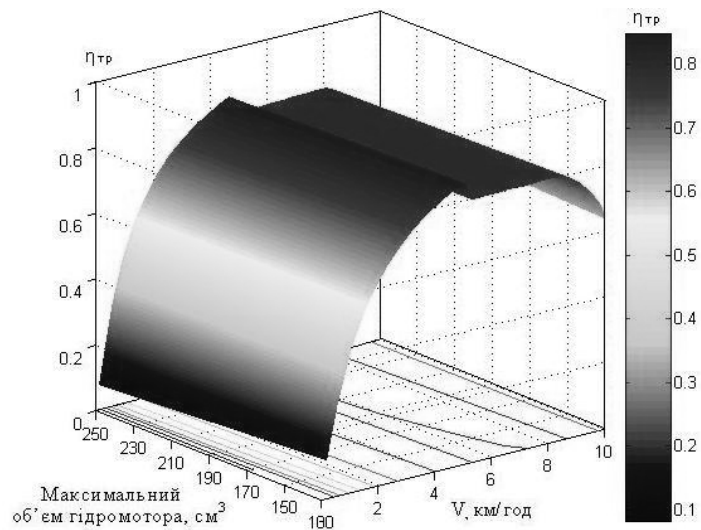


Рисунок 16 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 5 з диференціалом на виході (рис. 6)

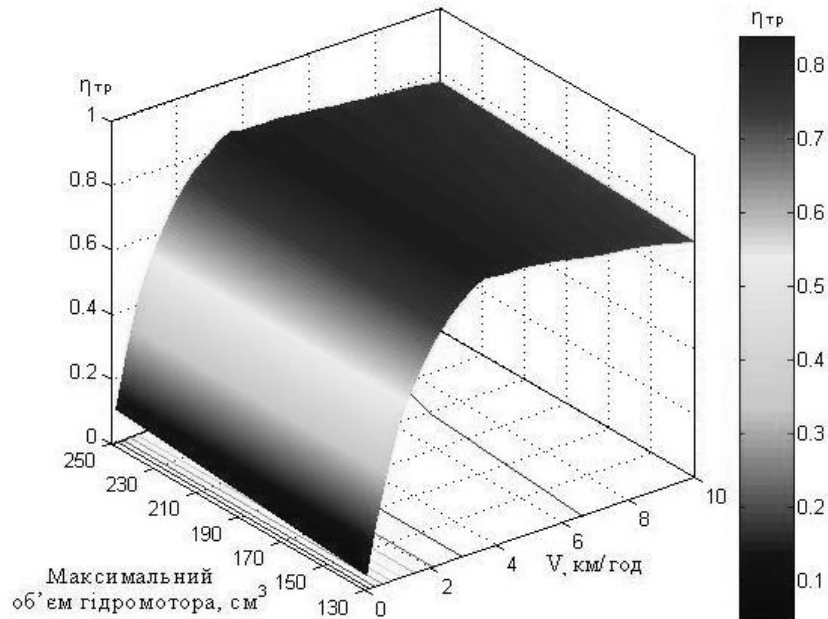


Рисунок 17 – Зміна ККД трансмісії ГОМТ № 6 з диференціалом на виході (рис. 6)

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 см³ чи 250 см³) по всіх параметрах (ККД трансмісії, потужності двигуна, перепаду тиску) поступають аналогічними ГОМТ з регульованим гідромотором;

- при використанні гідромотора максимальним об'ємом 250 см³ замість 130 см³ спостерігається, в залежності від схеми, зниження Δp_{\max} на 1,18 – 20,53%, $\eta_{TP\max}$ на 0,35 – 3,16%, максимальної кутової швидкості валу гідромотора на 17,38 – 38,92%; підвищення $N_{d\max}$ на 0,77 – 4,12%, $N_{gid\min}$ на 19,64 – 70,34%; інші параметри не зазнали суттєвих змін (максимальна кутова швидкість сателітів, максимальна кутова швидкість валу гідронасоса);

- якнайкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на вході (рис. 5), при заданих початкових даних, є схема № 4, на другому місці № 1, на третьому – схема № 5 (не залежно від того максимальний об'єм гідромотора 130 см³ чи 250 см³). Схеми № 3, 6 використовувати не рекомендується [4 – 5], № 2 – не працездатна.

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 непрацездатність даних трансмісій;

- оберти валу регульованого гідромотора схеми № 1 та перепад робочого тиску в гідрооб'ємній передачі схеми № 5 (з регульованим гідромотором) перевищують максимально допустимі значення, що свідчить про непрацездатність даних трансмісій;

- при використанні гідромотора максимальним об'ємом 250 см³ замість 130 см³ спостерігається, в залежності від схеми, зниження Δp_{\max} на 0,04 – 17,92%, $N_{d\max}$ 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 $\eta_{TP\max}$ в діапазоні -2,23 – 0,80%, зміна максимальної кутової швидкості сателітів в діапазоні -48,45 – 4,15%;

– якнайкращою з розглянутих ГОМТ з диференціалом на виході (рис. 6) 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 працюватимуть.

Список літератури 1. Щельцын Н.А. Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов / Н.А. Щельцын, Л.А. Фрумкин, И.В. Иванов // Ежемесячный научно-практический журнал “Тракторы- и сельхозмашины”. – 2011. – № 11.– С. 18 – 26. **2.** Самородов В.Б. Безступінчасті гідрооб’ємно-механічні трансмісії як невід’ємний елемент сучасних тракторів // В.Б. Самородов, В.В. Єніфанов, А.І. Бондаренко // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2012. – № 135. – С. 244 – 247. **3.** Самородов В.Б. Безступінчасті гідрооб’ємно-механічні трансмісії як невід’ємний елемент сучасних автомобілів, будівельної і спеціальної техніки // В.Б. Самородов, В.В. Єніфанов, А.І. Бондаренко // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2012. – № 134. – С. 11 – 15. **4.** Самородов В.Б. Аналіз безступінчастих двопотокових гідрооб’ємно-механічних тракторних трансмісій: вибір і обґрунтування перспективних схем / 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. **5.** 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. **6.** 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.

Надійшла в редколлегию 24.11.2012

УДК 621.83.062.1

Вплив об’єму гідромотора на кінематичні, силові та енергетичні параметри гідрооб’ємно-механічних трансмісій / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 64 (970). – С. 9–21. – Бібліогр.: 6 назв.

В работе приведены упрощенные схемы гидрообъемно-механических трансмиссий со всеми возможными соединениями механической и гидравлической ветви со звеньями трехзвенного планетарного механизма, определено влияние объема гидромотора на кинематические, силовые и энергетические параметры гидрообъемно-механических трансмиссий.

Ключевые слова: гидрообъемно-механическая трансмиссия, гидрообъемная передача, планетарный механизм.

The simplified charts of hydrostatic-mechanical transmissions are in-process resulted with all of possible connections of mechanical and hydraulic branch with the links of three-unit planetary mechanism, influence of volume of hydromotor is certain on the kinematics, power and power parameters of hydrostatic-mechanical transmissions.

Keywords: hydrostatic-mechanical transmission, hydrostatic transmission, planetary mechanism.