

В.Б. САМОРОДОВ, Г.А. АВРУНІН, Д.О. ГАРМАШ

АНАЛІЗ УНІВЕРСАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРООБ'ЄМНИХ ПЕРЕДАЧ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ У СКЛАДІ БЕЗСТУПІНЧАСТИХ ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНИХ ТРАНСМІСІЙ ДЛЯ РІЗНИХ РОБОЧИХ ОБ'ЄМІВ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН АКСІАЛЬНОПОРШНЕВОГО ТИПУ

При використанні в сучасних безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трансмісіях (ГОМТ) гідрооб'ємних передач (ГОП), розрахованих на реалізацію всієї потужності сучасного транспортного дизеля, що працюють в широкому діапазоні робочих режимів, облік суттєво змінного коефіцієнта корисної дії (ККД) ГОП абсолютно необхідний для аналізу потоків потужності в ГОМТ, її ККД, теплових виділень в моторно-трансмісійному відділенні, тягових і розгінних характеристик транспортної машини. Найбільш інформаційним і ефективним при цьому є аналіз універсальних характеристик ГОП, що входять до складу ГОМТ. Стаття присвячена науковому обґрунтуванню збіжності рекуррентної процедури при визначенні робочих параметрів ГОП, автоматизованій побудові універсальних характеристик гідрооб'ємних передач, порівнянню цих характеристик для різних робочих об'ємів гідромашин аксіальнопоршневого типу у складі ГОМТ.

Ключові слова: безступінчаста трансмісія, гідрооб'ємна передача, робочі параметри, об'ємні і гідромеханічні втрати, коефіцієнт корисної дії, ітераційний процес, збіжність, універсальні характеристики

В.Б. САМОРОДОВ, Г.А. АВРУНИН, Д.А. ГАРМАШ

АНАЛИЗ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРООБЪЕМНЫХ ПЕРЕДАЧ, РАБОТАЮЩИХ В СОСТАВЕ БЕССТУПЕНЧАТЫХ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РАБОЧИХ ОБЪЕМОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН АКСИАЛЬНОПОРШНЕВОГО ТИПА

При использовании в современных бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссиях (ГОМТ) гидрообъемных передач (ГОП), рассчитанных на реализацию всей мощности современного транспортного дизеля, работающих в широком диапазоне рабочих режимов, учет существенно переменного коэффициента полезного действия (КПД) ГОП совершенно необходим для анализа потоков мощности в ГОМТ, ее КПД, тепловых выделений в моторно-трансмиссионном отделении, тяговых и разгонных характеристик транспортной машины. Наиболее информационным и эффективным при этом является анализ универсальных характеристик ГОП, входящих в состав ГОМТ. Статья посвящена научному обоснованию сходимости рекуррентной процедуры при определении рабочих параметров ГОП, автоматизированному построению универсальных характеристик гидрообъемных передач, сравнению этих характеристик для различных рабочих объемов гидромашин аксиальнопоршневого типа в составе ГОМТ.

Ключевые слова: бесступенчатая трансмиссия, гидрообъемная передача, рабочие параметры, объемные и гидромеханические потери, коэффициент полезного действия, итерационный процесс, сходимость, универсальные характеристики.

V.B. SAMORODOV, G.A. AVRUNIN, D.A. HARMASH

ANALYSIS OF UNIVERSAL CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC FLUID POWER TRANSMISSIONS OPERATING IN A COMPOSITION OF HYDRAULIC-MECHANICAL TRANSMISSIONS FOR DIFFERENT WORKING VOLUMES OF HYDRAULIC MACHINES OF AXIAL PISTON TYPE

When victorious in the day-to-day infrequent hydraulic fluid power mechanical transmissions (HVMТ), the hydraulic fluid power transmissions (HVT)), which are supported by the implementation of all the demands of the daily transport diesel engine, are absolutely necessary in a wide range of for the analysis of the flow of pressure in the HVMТ, coefficient of efficiency, thermal images in the motor-transmission drive, traction and propulsive characteristics of the transport machine. More informational and effective when analyzing the universal characteristics of the HVT, which should be entered before the HVMТ warehouse. The statute is assigned to the scientific enrichment of the need for a recurrent procedure in the case of the value of the working parameters of the HVT, the automated inducement of the universal characteristics of the hydraulic volume transmissions, the adjustment of the characteristics for the different working types of the central storage of the hydraulic drives.

Keywords: uninterrupted transmission, hydro-volume transmission, working parameters, hydraulic and hydro-mechanical losses, coefficient of efficiency, iteration process, safety, universal characteristics.

Введення. При використанні в двопоточних безступінчастих гідрооб'ємно-механічних трасмісіях (ГОМТ) автомобілів та тракторів сучасних гідрооб'ємних передач (ГОП), які працюють в широкому діапазоні робочих режимів врахування значного змінного ККД, тобто наявність експериментальних або розрахункових

універсальних характеристик ГОП, необхідний крок для аналізу потоків потужності та ККД ГОМТ, для проектування такого типу трансмісій, для оцінки тягових та швидкісних характеристик автомобілів та тракторів [4,11].

Під універсальними характеристиками ГОП розуміється візуальний взаємозв'язок основних

параметрів ГОП в координатах значень вихідної кутової швидкості обертання вала гідромотора і моменту навантаження на його валу [2-6,11].

Основними параметрами ГОП є робочі об'єми насоса і гідромотора, їх параметри регулювання, швидкості обертання їх валів з урахуванням об'ємних і гідромеханічних втрат, перепад робочого тиску, моменти навантаження і потужності на валах гідромашин, температура і в'язкість робочої рідини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вирішення задачі визначення робочих параметрів та ККД ГОП на прикладі повнопотокової ГОМТ методом послідовних наближень вперше надане в роботі [1]. У роботі [2] метод послідовних наближень реалізовано при побудові універсальних характеристик ГОП. У роботах [4-6] метод послідовних наближень вже ефективно працює при побудові універсальних характеристик ГОП як в прямому, так і зворотному потоці потужності у складі двопотокових ГОМТ. Важливий крок зроблений у роботах [4,7,11], де відзначається, що на даному класі задач достатня для практики точність при визначенні робочих параметрів ГОП, а також кінематичних, силових і енергетичних характеристик ГОМТ у цілому досягається на 3-4 ітераційних кроках. Це строго доведено на прикладі розрахунку першої вітчизняної тракторної двопотокової трансмісії ГОМТ-1С для тракторів ХТЗ-21021 и ХТЗ-242К, де використовується ГОП на основі ГСТ-112 «Гідросила» [7].

Мета дослідження. 1. Розвинути автоматизований метод побудови універсальних характеристик гідрооб'ємних передач у прямому потоці потужності. 2. Провести розрахунково-теоретичні роботи щодо порівняння цих характеристик для різних робочих об'ємів гідромашин аксіальнопоршневого типу, які працюють у складі ГОП у прямому потоці потужності, в результаті чого більш обґрунтовано визначається найраціональніший робочий об'єм для ГОМТ транспортних засобів.

Математична модель. Структурна схема безступінчастої двопотокової ГОМТ для аналізу універсальних характеристик ГОП у прямому потоці потужності показана на рис. 1.

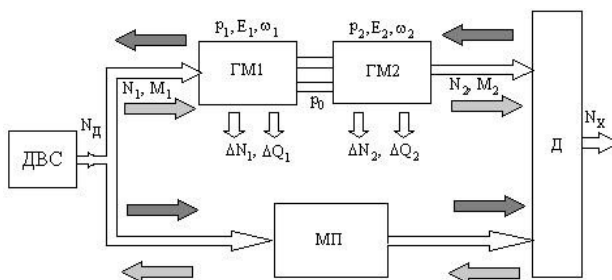


Рисунок 1 – Робочі параметри гідромашин ГОП в прямому потоці потужності у складі ГОМТ.

На рис. 1: N_1 , M_1 і N_2 , M_2 – потужності і

моменти на валах гідромашин ГМ1 (регульований насос) і ГМ2 (нерегульований гідромотор); ΔN_1 , ΔN_2 – сумарні гідромеханічні втрати потужності на гідромашинах; ΔQ_1 , ΔQ_2 – сумарні об'ємні втрати. Стрілки на рис. 1 вказують напрямки потоків потужності по гідравлічній та механічній гілкам двопотокової ГОМТ, коли ГОП працює в прямому потоці потужності.

Схема складається з двигуна внутрішнього згоряння ДВЗ потужністю N_d . Перший потік потужності забезпечується двома гідромашинами ГМ1 і ГМ2. Другий потік являє собою механічну передачу МП, на виході якої встановлений підсумовуючий планетарний ряд Д, або планетарний механізм.

Кінематичні та силові параметри ГОП з урахуванням втрат в прямому та зворотному потоці потужності пов'язані рівняннями [4,11]:

$$-eq\omega_1 + q\omega_2 + \Theta \cdot \sum \Delta Q = 0;$$

$$M_1 - eq\Delta p - \Theta \cdot \Delta M_1 \text{sign}\omega_1 = 0; \quad (1)$$

$$M_2 - q\Delta p - \Theta \cdot \Delta M_2 \text{sign}\omega_2 = 0,$$

де e – відносний параметр регулювання ГОП;

q – характерний об'єм гідромашин, $\text{м}^3/\text{рад}$;

Θ – коефіцієнт урахування втрат;

ω_1 , ω_2 – кутові швидкості валів першої та другої гідромашин (насоса і гідромотора), рад/с ;

$\sum \Delta Q$ – сумарні об'ємні втрати;

M_1 , M_2 – крутні моменти на валах гідромашин, Нм ;

Δp – перепад тиску в гідромашинах, Па ;

ΔM_1 , ΔM_2 – втрати моментів на валах гідромашин, Нм .

Для визначення сумарних об'ємних витрат

$\sum \Delta Q$ та втрат моментів на гідромашинах ΔM_1 ,

ΔM_2 використано модель Городецького К.І. [7,11]. Відповідно до цієї моделі об'ємні втрати визначаються на гідромашинах ГМ1 і ГМ2:

$$\Delta Q_1 = (-\Theta) \cdot K_y \frac{\Delta p}{\mu} \left(1 + C_y \left| \omega_1 \right| \right);$$

$$\Delta Q_2 = (-\Theta) \cdot K_y \frac{\Delta p}{\mu} \left(1 + C_y \left| \omega_2 \right| \right); \quad (2)$$

$$\sum \Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2.$$

Гідромеханічні втрати моментів на гідромашинах визначаються за формулами [7,11]:

$$\Delta M_1 = (-\Theta) \cdot q \cdot$$

$$\cdot \left[K_1 \left| \omega_1 \right| (1 + K_2 e^2) + \frac{K_5(1+K_4|e|)}{(1+K_3|\omega_1|D)} \Delta p + \frac{K_8(1+K_7|e|)}{(1+K_6|\omega_1|D)} \right], \quad (3)$$

де K_y та C_y – коефіцієнти витoku робочої рідини;

D – характерний розмір гідромашини ($D = \sqrt[3]{2\pi q}$);

$K_1, K_2 \dots K_8$ – коефіцієнти гідромеханічних витрат;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості робочої рідини [4,7,11].

Рівняння, які пов'язують робочі параметри ГМ1 і ГМ2 в ГОП, що працює у складі ГОМТ, в прямому потоці потужності мають вигляд [2,4-6]:

$$N_1 = \Delta p q_1 e_1 \omega_1 + \Delta N_1 (\Delta p, e_1, \omega_1); \quad (4)$$

$$p_1 - p_0 = \Delta p; \quad (5)$$

$$q_2 e_2 \omega_2 = q_1 e_1 \omega_1 - \Delta Q_1 (\Delta p, e_1, \omega_1) - \Delta Q_2 (\Delta p, e_2, \omega_2); \quad (6)$$

$$N_2 = \Delta p q_2 e_2 \omega_2 - \Delta N_2 (\Delta p, e_2, \omega_2); \quad (7)$$

$$\eta_{\text{ГОП}} = \frac{N_2}{N_1} \quad (8)$$

Рівняння (4), (7) описують баланс потужності на ГМ1 та ГМ2, відповідно. Співвідношення (6) є рівнянням кінематичного зв'язку між кутовими швидкостями валів гідромашин і параметрами регулювання в ГОП з урахуванням об'ємних втрат $\Delta Q_1 (\Delta p, e_1, \omega_1)$ і $\Delta Q_2 (\Delta p, e_2, \omega_2)$, які є функціями їх робочих параметрів.

Збіжність рекурентної процедури при визначенні робочих параметрів гідрооб'ємних передач при їх роботі у складі двопотокових ГОМТ з урахуванням об'ємних і гідромеханічних втрат у гідромашинах строго доведена в роботах [2,4-7].

Параметри трансмісії, які входять у співвідношення (1)-(8) для визначення витрат, залежать від самих цих витрат і пов'язані з ними суттєво нелінійними залежностями. Отримати дійсні силові та кінематичні параметри ГОП, об'ємні та гідромеханічні втрати і ККД ГОП (і самої трансмісії у цілому) одразу неможливо. Виникає необхідність вирішувати систему методом послідовних наближень і конструювати при цьому спеціальний авторський рекурентний алгоритм.

Спроба довести теоретично збіжність робочих параметрів ГОП була представлена в роботах [4-6] в ході побудови універсальних характеристик ГОП. В цих роботах спочатку ітераційний процес відбувався по тиску p_1 в ГМ1. Для визначення тиску p_1 рівняння (4) було представлено в наступному рекурентному вигляді:

$$p_1 = \frac{N_1 - \Delta N_1^{(j-1)}(p_1^{(j-1)}, e_1, \omega_1)}{q_1 e_1 \omega_1} + p_0. \quad (9)$$

У нульовому наближенні ($j=1$) тиск $p_1^{(0)}$ має максимальне значення і відповідне мінімальним сумарним механічним втратам

$\Delta N_1^{(0)} = 0$ на ГМ1, у нульовому наближенні механічні втрати обнуляються.

Механічні втрати першого наближення, що являють собою функцію $\Delta N_1^{(1)}(p_1^{(0)}, e_1, \omega_1)$, будуть максимальними, оскільки з ростом аргументу p_1 при фіксованих e_1 і ω_1 функція ΔN_1 монотонно зростаюча. Тиск першого наближення $p_1^{(1)}$, відповідний максимуму $\Delta N_1^{(1)}$, буде мінімальним і при цьому $j=2$.

У другому наближенні ($j=3$) механічні втрати $\Delta N_1^{(2)}$, обчислені через мінімальне значення тиску $p_1^{(1)}$, матимуть мінімальні значення, однак $\Delta N_1^{(2)} > \Delta N_1^{(0)}$, оскільки $\Delta N_1^{(0)}$ фактично дорівнює нулю. Через це значення тиску $p_1^{(2)}$, обчислене через $\Delta N_1^{(2)}$ буде максимальним, при чому $p_1^{(2)} < p_1^{(0)}$.

Наступне наближення $p_1^{(3)}$, обчислене через $\Delta N_1^{(3)}(p_1^{(2)}, e_1, \omega_1)$, задовольнятиме нерівності $p_1^{(1)} < p_1^{(3)} < p_1^{(2)}$, оскільки $\Delta N_1^{(2)} < \Delta N_1^{(3)} < \Delta N_1^{(1)}$.

Очевидно, що з ростом номера ітерації j тиск у формулі (9) єдиним чином збігається в точку А до шуканого p_1 , яке знаходиться в інтервалі заданої точності (рис. 2).

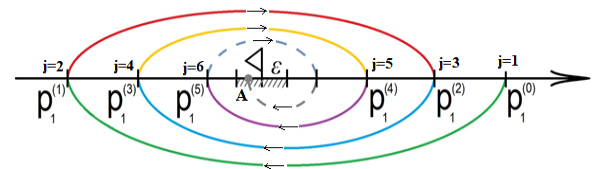


Рисунок 2 – Графічне підтвердження збіжності тиску p_1

Загалом, для будь-якого парного $j \geq 2$:

$$p_1^{(j-1)} < p_1^{(j)} < p_1^{(j-2)}. \quad (10)$$

Для будь-якого непарного $j \geq 3$ маємо:

$$p_1^{(j-2)} < p_1^{(j)} < p_1^{(j-1)}. \quad (11)$$

Ітераційний процес (9) вважається закінченим при виконанні умови

$$|p_1^{(j)} - p_1^{(j-1)}| < \varepsilon_p, \quad (12)$$

де ε_p – точність по тиску.

В умовах даної задачі прийнято припущення $p_1 = p_2$, тобто високий тиск на насосі і гідромоторі практично однакові, тобто гідравлічними втратами тиску нехтуємо.

Після знаходження значення шуканого високого тиску p_1 здійснюється ітераційний пошук кутової швидкості ω_2 . Для цього рівняння (6) представляється в рекурентній формі:

$$\omega_2^{(j)} = \frac{q_1 e_1 \omega_1}{q_2 e_2} \mp \frac{\Delta Q_1(p_1 e_1 \omega_1) + \Delta Q_2^{(j-1)}(p_2, e_2, \omega_2^{(j-1)})}{q_2 E_2}. \quad (13)$$

Знак "мінус" відповідає прямому потоку потужності через ГОП, а "плюс" – зворотному потоку. Для прямого потоку потужності через

ГОП в нульовому наближенні $\omega_2^{(0)} = \omega_1 e_1 / e_2$ має максимальне значення, яке відповідне мінімальній величині сумарних об'ємних втрат

$$\Delta Q_2^{(0)} = 0 \quad (j=1).$$

Кутова швидкість $\omega_2^{(1)}$ першого наближення мінімальна, тому що відповідає максимальній величині сумарних об'ємних втрат $\Delta Q_2^{(1)}$, оскільки з ростом аргументу ω_2 при фіксованих p_2 , e_2 , функція ΔQ_2 зростаюча. Наступне наближення $\omega_2^{(2)}$, обчислене через мінімальне значення $\Delta Q_2^{(1)}(p_2, E_2, \omega_2^{(1)})$, задовольняє нерівності $\omega_2^{(1)} < \omega_2^{(2)} < \omega_2^{(0)}$, оскільки $\Delta Q_2^{(0)} < \Delta Q_2^{(2)} < \Delta Q_2^{(1)}$.

Загалом, для будь-якого парного $j \geq 2$:

$$\omega_2^{(j-1)} < \omega_2^{(j)} < \omega_2^{(j-2)} \quad (14)$$

Для будь-якого непарного $j \geq 3$ маємо:

$$\omega_2^{(j-2)} < \omega_2^{(j)} < \omega_2^{(j-1)} \quad (15)$$

Очевидно, з урахуванням нерівностей (14), (15) з ростом j кутова швидкість за формулою (11)

єдиним чином збігається до шуканої ω_2 по аналогії з тиском. Ітераційний процес вважається

завершений при виконанні умови $|\omega_2^j - \omega_2^{(j-1)}| < \varepsilon_\omega$

(ε_ω – точність по кутовий швидкості).

Далі визначалися механічні втрати на ГМ2, вихідна потужність N_2 , ККД ГОП та інші силові і кінематичні параметри трансмісії. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють покращити метод визначення робочих параметрів трансмісії. В першому наближенні параметри трансмісії визначаються без урахування витрат. В другому – повна матрична система ГОМТ вирішується з урахуванням втрат, які, в свою чергу, визначаються через параметри, одержані в першому наближенні. Цей алгоритм повторюється, доки усі параметри стануть незмінними з точки зору заданої точності.

В роботі [7] наведені робочі параметри ГОМТ-1С – першої української безступінчастої тракторної трансмісії, розробленої в НТУ «ХПІ» спільно з фахівцями ПАТ ХТЗ при роботі трактора ХТЗ-242К з потужністю двигуна 240 к.с. на оранці. Показано, що вже для 4-ої ітерації (див. табл. 1, ітерація 4, [7]), рішення повної нелінійної матричної системи ГОМТ-1С теоретично і практично збігається до своєї межі з високою точністю. Наведена ітераційна процедура дозволяє доволі точно побудувати універсальні характеристики ГОП і окремих гідромашин в усьому діапазоні їх режимів роботи.

Це дає можливість досягнути поставленої в роботі мети, а саме порівняти універсальні характеристики для різних робочих об'ємів гідромашин аксіальнопоршневого типу, які працюють у складі ГОП у прямому потоці потужності.

Результати моделювання: На рис. 3-6 приведені результати побудови універсальних характеристик ГОП на базі гідромашин виробництва ПАТ «Гідросила» з робочими об'ємами 56, 79 і 112 см³, а також для порівняння була взята гідромашина компанії Bondioli & Pavesi з робочим об'ємом 150 см³.

Максимальна кутова швидкість валів насосів прийнята рівною 250 рад/с для всіх чотирьох ГОП, а зміна кутової швидкості валів гідромоторів в інтервалі 0...250 рад/с. Коефіцієнт динамічної в'язкості робочої рідини $\mu = 0,0144$ Па·с (при $t^0 C = 100^0$), максимальний кут нахилу похилого диску на гідромашинах ГМ1 та ГМ2 дорівнює 18°.

На рис. 3-6 горизонтальні лінії – лінії тиску навантаження (від 5 до 40 МПа). Паралельні еквідистантні похилі косі лінії – лінії рівних кутів нахилу похилого диску на ГМ1 в долях (0,1;

0.2; ...0.9;1.0) від максимального нахилу диска насосів в 18° включно. Лінії гіперболічного типу – лінії рівних вихідних з ГОП потужностей. Криві типу топографічних ліній – лінії рівних загальних ККД ГОП. Основною відмінністю універсальних характеристик ГОП з ростом робочого об'єму гідромашин є суттєве

розширення областей з більш високим ККД. Так у ГОП (56 см^3) область с ККД $\eta \geq 0.7$ взагалі відсутня, а у ГОП (79 см^3), ГОП (112 см^3) та ГОП (150 см^3) ця область зростає та становить відповідно 18%, 42% і 53%

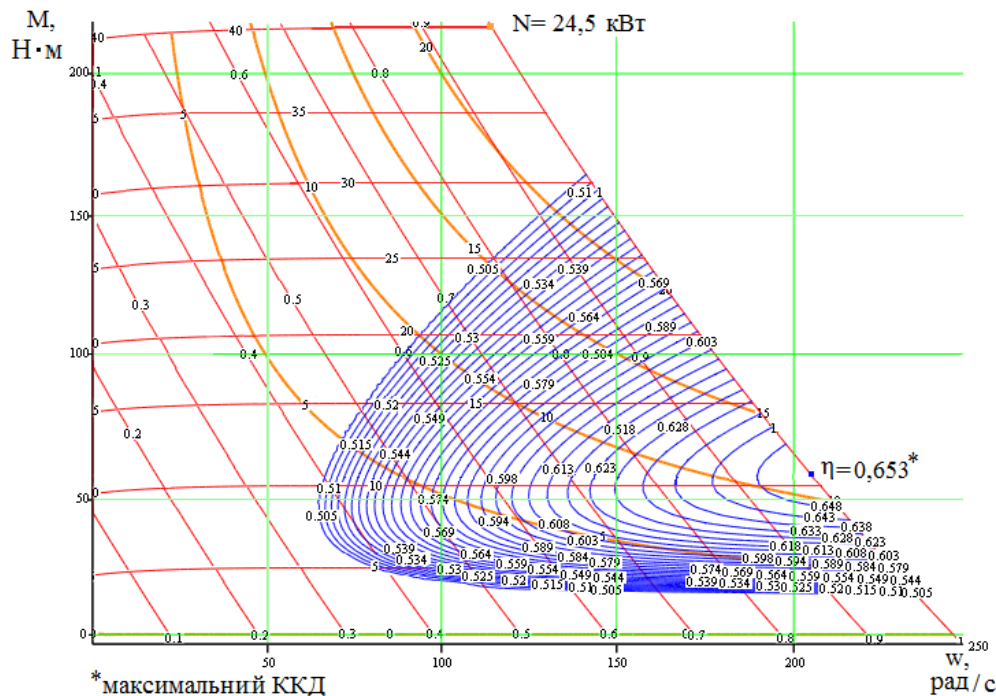


Рисунок 3 – Універсальна характеристика ГОП при робочому об'ємі 56 см^3

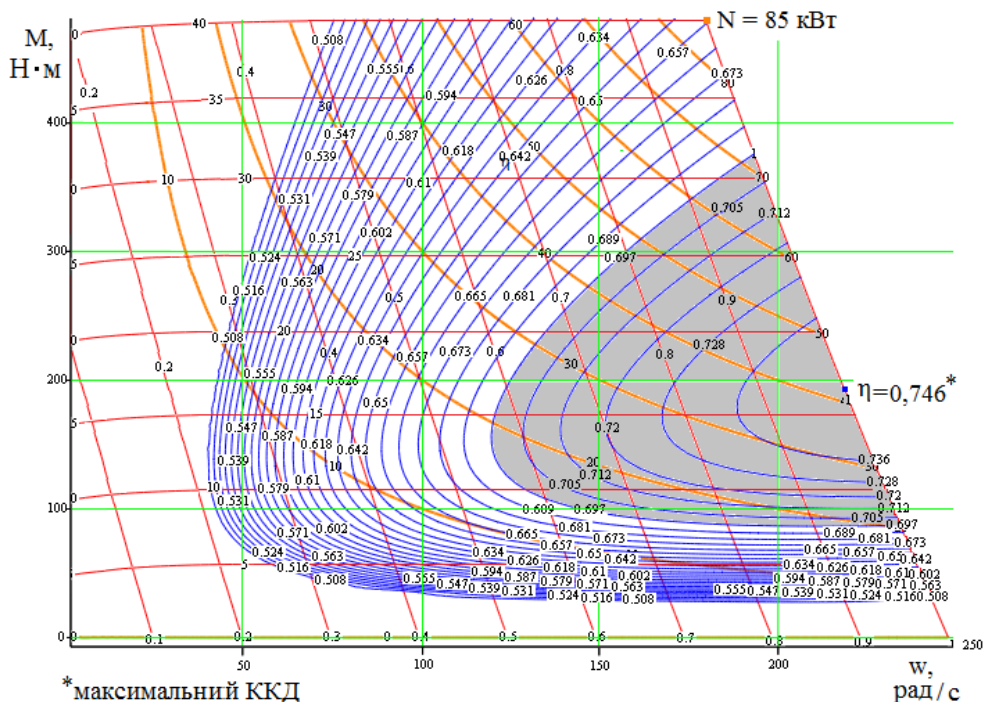
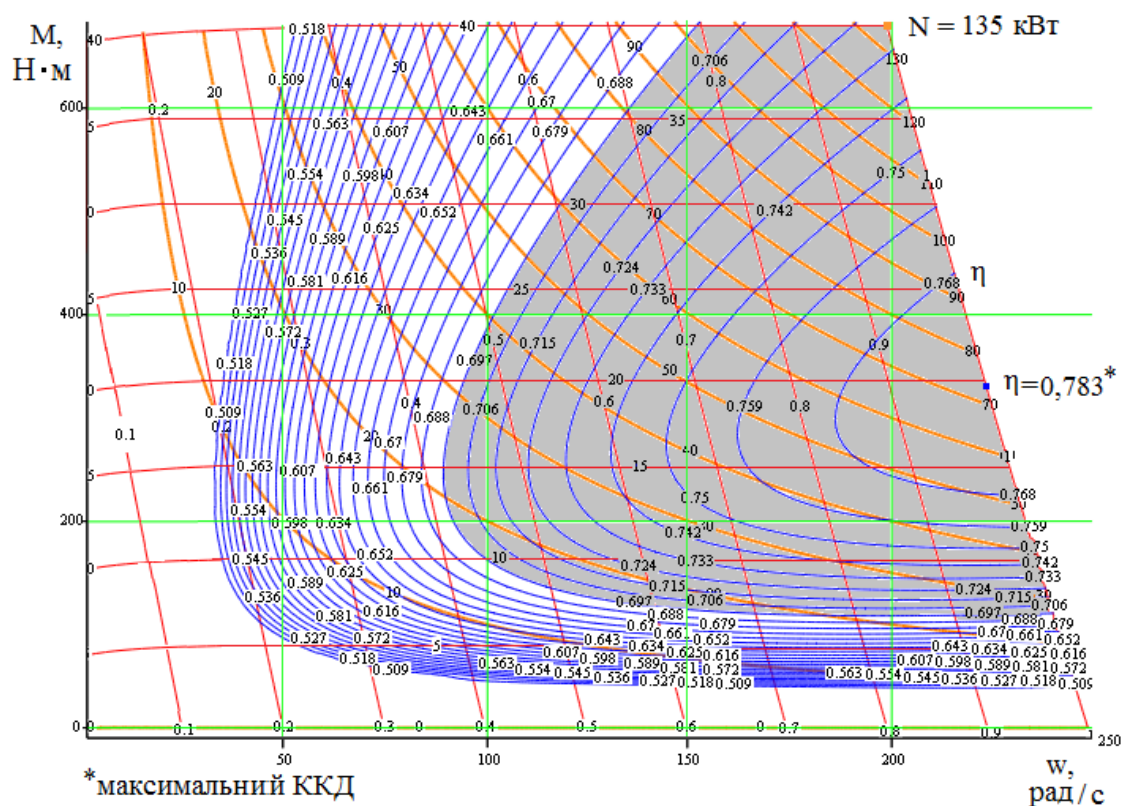
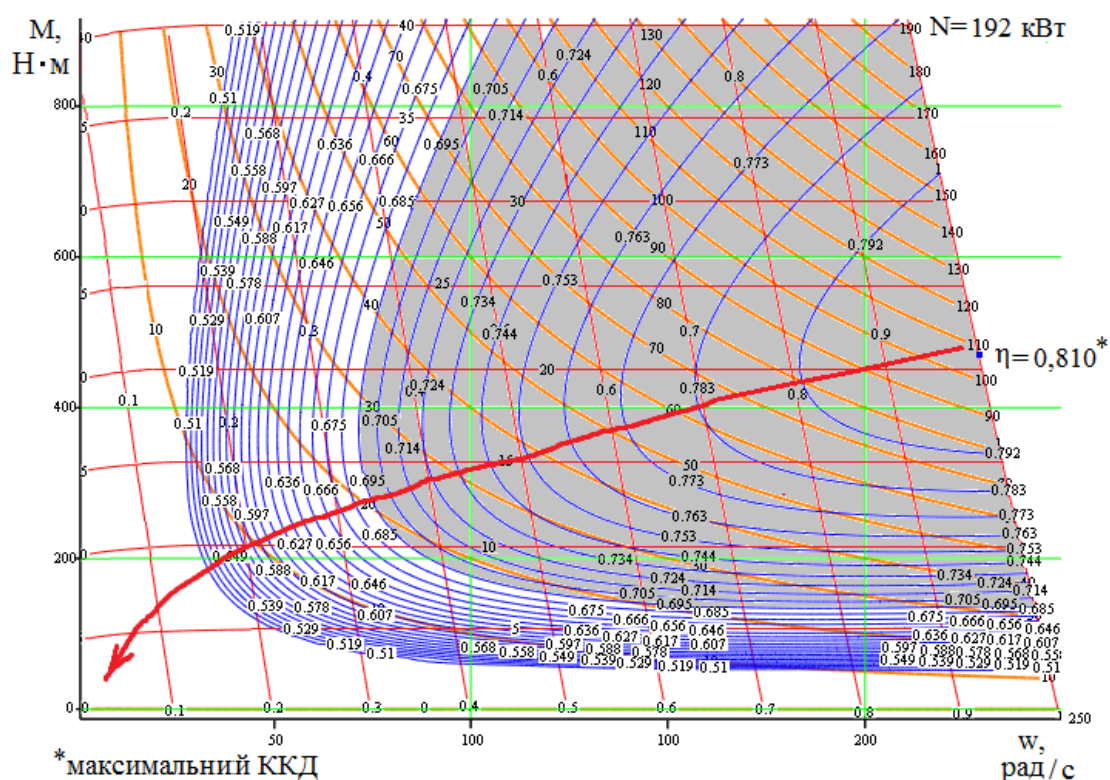


Рисунок 4 – Універсальна характеристика ГОП при робочому об'ємі 79 см^3

Рисунок 5 – Універсальна характеристика ГОП при робочому об'ємі 112 см³Рисунок 6 – Універсальна характеристика ГОП при робочому об'ємі 150 см³

від загального поля ККД (рис. 4-6). Зростає і максимальне значення загального ККД ГОП: $\eta=0,653^*$ для 56 см^3 ; $\eta=0,746^*$ для 79 см^3 ; $\eta=0,783^*$ для 112 см^3 ; $\eta=0,810^*$ для 150 см^3 .

Цікавим, хоча і природним, є тенденція випрямлення ліній рівних кутів нахилу похилого диска на ГМ1, яка характеризує параметр регулювання e . З ростом робочого об'єму гідромашин для одного і того ж параметру регулювання e зменшується високий робочий тиск та зменшуються відносні витрати. Підвищується об'ємний ККД ГОП і для фіксованого параметру e , з ростом тиску кутова швидкість валу гідромотора збільшується – лінії e повертаються вправо, тобто вирівнюються.

На рис 6 з області максимального ККД ГОП проведена крива, яка в ідеалі повинна бути градієнтною по відношенню до ліній рівних ККД ГОП.

Список літератури

1. Епифанов В. В. Кинематические и силовые характеристики гидрообъемно-механической трансмиссии с учетом к.п.д. при прямолинейном движении транспортной машины / В. В. Епифанов, В. Б. Самородов // Теория механизмов и машин. – Харьков: Высшая школа, 1982. – Вып. 32. – С. 65-70.
2. Самородов В. Б. Организация вычислительной процедуры для определения к. п. д. и построения универсальных характеристик гидрообъемной передачи / В. Б. Самородов, В. А. Кузьминский - М., 1981. – № 12. – С. 179–182. - Деп. в ВИНТИ. «Депонированные рукописи».
3. Самородов В. Б. Основы теории автоматизированной генерации математических моделей трансмиссий / В. Б. Самородов // Механика и машиностроение. - № 1, 1998. – С. 109-115.
4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е. Е. Александров, В. Б. Самородов, А. Т. Лебедев – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 642 с.
5. Самородов В. Б. Методика построения универсальных характеристик гидрообъемных передач, работающих в прямом и в обратном потоках мощности в составе гидрообъемно-механических трансмиссий / В. Б. Самородов, А. В. Рогов, М. Б. Бурлыга, Б. В. Самородов // Механіка та машинобудування : [науково-технічний журнал НТУ «ХПІ»]. – 2003. – Вип. 1. – Т. 1. – С. 294–301.
6. Самородов В. Б. Сравнение универсальных характеристик гидрообъемных передач как элементов перспективных бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий украинских тракторов / В. Б. Самородов, А. А. Коваль, М. Б. Бурлыга // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 2 (55), частина 1. – С. 73–77.
7. Самородов В. Б. Обгрунтування збіжності рекурентних процедур при визначенні параметрів гідрооб'ємних передач при роботі у складі гідрооб'ємно-механічних трансмісій/ В. Б. Самородов, В. В. Єпіфанов, Г. Г. Гриненко// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле - і тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». 2017, №13. С. 3-13.
8. Самородов В. Б. Объектно-ориентированный подход к моделированию трансмиссий в области транспортного машиностроения / В. Б. Самородов, А. В. Рогов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Серия : НРСТ. – Харьков : ХГПУ, 1999. - Вып. 66. – С. 48-53.
9. Samorodov V. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit with hydrovolumetric-mechanical transmission / V. B. Samorodov, M. B. Burlyga // European Cooperation. – 2016. – Vol. 3 (10). – P. 94–107.

Керування ГОМТ параметром регулювання e , зміна якого співпадає з цією градієнтною кривою, дає оптимальне, з точки зору витрат, керування .

Висновки

1. Основною відмінністю універсальних характеристик ГОП з ростом робочого об'єму гідромашин є суттєве розширення областей з більш високим ККД, що співпадає з тенденцією підвищення потужності силових установок тягово-транспортних машин, зокрема тракторів, вантажних автомобілів та шляхових будівельних машин.

2. Автоматизована побудова універсальних характеристик ГОП дозволяє при проектуванні транспортних засобів обґрунтовано обрати найбільш ефективні гідромашини в складі безступінчастих ГОМТ та сформулювати вимоги до систем автоматизованого керування транспортним засобом.

10. Самородов В. Б. Результаты экспериментального дослідження гідрооб'ємної передачі / В. Б. Самородов, В. М. Шевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №5 (1227). – С. 41 – 46 (фахове видання).
11. Гідро- та пневмосистеми в автотракторобудуванні: навчальний посібник/ В. Б. Самородов, Г. А. Аврун, І. Г. Кириченко, А. І. Бондаренко, Є. С. Пелипенко: за ред. В. Б. Самородова. НТУ «ХПІ». Харків: ФОП Панов А. М., 2020. 524 с.

References (transliterated)

1. Epyfanov V. V. Kynematycheskye i sylovie kharakterystyky hydroobemno-mekhanicheskoi transmyssyy s uchetoм k.p.d. pry pryamolyneinom dvyzhenyy transportnoi mashyny / V. V. Epyfanov, V. B. Samorodov // Teoryia mekhanyzmov y mashyn. – Kharkov: Visshaia shkola, 1982. – Vyp. 32. – S. 65-70.
2. Samorodov V. B. Orhanyzatsiya vychyslytelnoi protseduri dlia opredeleniya k. p. d. y postroyeniya unyversalnikh kharakterystyk hydroobemnoi peredachy / V. B. Samorodov, V. A. Kuzmyskiy - M., 1981. – № 12. – S. 179–182. - Dep. v VYNYTY. «Deponyrovannye rukopysy».
3. Samorodov V. B. Osnovi teoryy avtomatyzirovannoi heneratsyy matematycheskykh modelei transmyssyy / V. B. Samorodov // Mekhanyka y mashynostroyeniye. - № 1, 1998. – S. 109-115.
4. Dynamika transportno-tiahovikh kolesnykh y husenychnykh mashyn / E. E. Aleksandrov, V. B. Samorodov, A. T. Lebedev – Kharkov: KhHADTU, 2001. – 642 s.
5. Samorodov V. B. Metodyka postroyeniya unyversalnikh kharakterystyk hydroobemnykh peredach, rabotaiushchyykh v priamom y v obratnom potokakh moshchnosti v sostave hydroobemno-mekhanicheskyykh transmyssyy / V. B. Samorodov, A. V. Rohov, M. B. Burliha, B. V. Samorodov // Mekhanika ta mashynobuduvannia : [naukovo-tekhnichnyi zhurnal NTU «KhPI»]. – 2003. – Vyp. 1. – T. 1. – S. 294–301.
6. Samorodov V. B. Sravnenye unyversalnikh kharakterystyk hydroobemnykh peredach kak ilementov perspektivnykh besstupenchatikh hydroobemno-mekhanicheskyykh transmyssyy ukraynskykh traktorov / V. B. Samorodov, A. A. Koval, M. B. Burliha // Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2009. – Vyp. 2 (55), chastyna 1. – S. 73–77.
7. Samorodov V. B. Obgruntuvannia zbzhnosti rekurentnykh protsedur pry vyznachenni parametriv hydroobiemnykh peredach pry roboti u skladi hydroobiemno-mekhanichnykh transmisii/ V. B. Samorodov, V. V. Yepifanov, H. H. Hrynenko// Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seria: Avtomobile - i traktorobuduvannia. – Kh.: NTU «KhPI». 2017, №13. S. 3-13.
8. Samorodov V. B. Obektno-oryentirovannii podkhod k modelyrovaniyu transmyssyy v oblasti transportnoho mashynostroyeniya / V. B. Samorodov, A. V. Rohov // Vestnyk

- Kharkovskoho hosudarstvennoho polytekhnicheskoho unyversyteta. Seryia : NRST. – Kharkov : KhHPU, 1999. - Vip. 66. – S. 48-53.
9. Samorodov V. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit with hydrovolumetric-mechanical transmission / V. B. Samorodov, M. B. Burlyga // European Cooperation. – 2016. – Vol. 3 (10). – R. 94–107.
 10. Samorodov V.B. Rezultaty eksperymentalnoho doslidzhennia hidroobiemnoi peredachi / V.B. Samorodov, V.M. Shevtsov // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2017. – №5 (1227). – S. 41 – 46 (fakhove vydannia).
 11. Hidro- ta pnevmosystemy v avtotraktorobuduvanni: navchalnyi posibnyk/ V.B. Samorodov, H.A. Avrunyn, I.H. Kyrychenko, A.I. Bondarenko, Ye.S. Pelypenko: za red. V.B. Samorodova.:NTU «KhPI». Kharkiv: FOP Panov A.M., 2020. 524 s.

Надійшла(received) 30.10.2020

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Самородов Вадим Борисович (Самородов Вадим Борисович, Samorodov Vadym Borisovich) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор, завідувач кафедри автомобіле- та тракторобудування; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2965-5460>; email: samorodovvadimat@gmail.com.

Аврунін Григорій Аврамович (Аврунін Григорій Аврамович, Avrunin Grigorii) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра будівельних і дорожніх машин; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-3149>. email: griavrunin@ukr.net

Гармаш Дмитро Олександрович (Гармаш Дмитрій Александрович, Harmash Dmitrii) Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3188-2400>; e-mail: harmashdm@gmail.com.