

*Г. А. АВРУНІН, М. А. ПОДРИГАЛО, А. В. ЄРЕМЕНКО, І. І. МОРОЗ*

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОМОТОР-КОЛЕС В ТРАНСМІСІЯХ ШВИДКІСНИХ ТРАКТОРІВ

Мета. Метою статті є оцінка можливості розробки об'ємного гідروпривода в відповідності штатній тягово-швидкісній характеристиці колісного трактора ХТЗ-17021 з використанням безредукторних приводів ведучих коліс. Для цього виконаний розрахунок об'ємного гідропривода ходу колісного трактора при застосуванні новітніх радіальнопоршневих багаточиклових гідромотор-колес з поширеним діапазоном частоти обертання і регулювання робочого об'єму. Методика досліджень. Проведений аналіз тягово-швидкісної характеристики колісного трактора ХТЗ-17021 і на її основі огляд сучасних високомоментних радіальнопоршневих багаточиклових гідромоторів з точки зору задоволення характеристик по крутному моменту і частоті обертання при обмеженнях за потужністю щодо серійного зразка в повному діапазоні швидкості трактора. Розраховані максимальні значення робочих об'ємів 4-х ведучих гідромотор-колес і насосів живлення цих гідромоторів, крутний момент і перепад тисків в гідроприводі і встановлені режими, на яких потрібно змінювати робочий об'єм гідромоторів від максимального до мінімального значень для відпрацювання тягово-швидкісної характеристики. Проведений порівняльний аналіз радіальнопоршневих багаточиклових гідромоторів і для обраного для дослідження гідромотор-колеса моделі МНР27 фірми «Poclain Hydraulics» розглянуті гідравлічні принципи схеми з застосуванням в гідромоторах системи гідравлічного регулювання чотирьох ступенів робочого об'єму, використання комбінованого стоянкового і робочого гальм, а також системи антибуксування з використанням засобів пропорційної електрогідравтоматки. Результати. Обрані високомоментні гідромотор-колеса радіальнопоршневого типу, які дають можливість забезпечити функціонування трансмісії трактора без проміжних редукторів між гідромоторами і маточинами коліс, та розраховане значення робочого об'єму аксіальнопоршневого насосу, що забезпечує функціонування трансмісії трактора в повному швидкісному діапазоні. За результатами розрахунків встановлено, що тиск в гідроприводі не перевищує 35 МПа при досягнутих в сучасних насосах і гідромоторах значень від 40 МПа до 50 МПа. Показана можливість підвищення швидкості трактора від штатної 35 км/год до перспективної в 50 км/год.

**Ключові слова:** колісний трактор, трансмісія, об'ємний гідропривод, радіальнопоршневе гідромотор-колесо, тягово-швидкісна характеристика, крутний момент, потужність, частота обертання, перепад тисків, діапазон регулювання робочого об'єму гідромашин.

*G. AVRUNIN, M. PODRIGALO, A. YEREMENKO, I. MOROZ*

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF HYDRAULIC MOTOR-WHEELS IN TRANSMISSIONS HIGH-SPEED TRACTORS

Goal. The purpose of the article is to assess the possibility of developing a hydraulic fluid power in accordance with the standard traction-speed characteristics of the KhTZ-17021 wheeled tractor with the use of gearless drives of the driving wheels. For this purpose, the calculation of the hydraulic fluid power of the wheeled tractor was performed when using the latest radial piston multi-cycle hydraulic motor-wheels with a wide range of rotation frequency and adjustment of the working volume. Research methodology. An analysis of the traction-speed characteristics of the KhTZ-17021 wheeled tractor and, based on it, a review of modern high-torque radial-piston multi-cycle hydraulic motors from the point of view of meeting the characteristics of torque and rotation frequency with power limitations relative to the serial model in the full speed range of the tractor. The maximum values of the working volumes of the 4 driving hydraulic motor-wheels and the power supply pump of these hydraulic motors, the torque and pressure drop in the hydraulic drive are calculated, and the modes in which it is necessary to change the working volume of the hydraulic motors from the maximum to the minimum values to work out the traction-speed characteristics. A comparative analysis of radial-piston multi-cycle hydraulic motors was carried out, and for the hydromotor-wheel model MHP27 of the "Poclain Hydraulics" company, which was chosen for the study, the hydraulic principle diagrams were considered with the use of a hydraulic regulation system of four stages of the working volume in hydraulic motors, the use of combined parking and service brakes, as well as an anti-skid system using means of proportional electro-hydraulic automation. The results. High-torque hydraulic motor-wheels of the radial piston type were selected, which make it possible to ensure the operation of the tractor transmission without intermediate gearboxes between the hydraulic motors and wheel hubs, and the calculated value of the working volume of the axial piston pump, which ensures the operation of the tractor transmission in the full speed range. Based on the results of the calculations, it was established that the pressure in the hydraulic drive does not exceed 35 MPa, while values from 40 MPa to 50 MPa are achieved in modern pumps and hydraulic motors. The possibility of increasing the speed of the tractor from standard 35 km/h to promising 50 km/h is shown.

**Keywords:** wheel tractor, transmission, hydraulic fluid power, radial-piston hydraulic motor-wheel, traction-speed characteristic, torque, power, rotation frequency, pressure difference, range of adjustment of the working volume of hydraulic machines.

**Вступ.** Вдосконалення трансмісій тракторів є одним з шляхів суттєвого підвищення їх тягово-швидкісних характеристик (ТШХ), автоматизації управління з реалізацією безступеневого змінення швидкості, підвищення ККД і паливної економічності, зменшення габаритно-масових показників. В даний час зустрічаються гідромеханічні трансмісії з комплексними гідротрансформаторами, механічні трансмісії з системами забезпечення переключення передач без розривів потоків потужності, двохпотоківі безступеневі гідромеханічні трансмісії з використанням об'ємного гідропривода (ОГП) в якості керуючого органа, а також трансмісії з мотор-колесами. Трансмісії з мотор-колесами створюють на

базі ОГП з аксіальнопоршневими гідромоторами і планетарними редукторами або з високомоментними радіальнопоршневими тихохідними гідромоторами (high-torque low-speed hydraulic motors – HTLS), а в останній час з електромотор-колесами. Огляд сучасних тенденцій з розвитку мотор-колес щодо підвищення частот обертання і крутного моменту при зменшенні їх маси, вдосконалення автоматизованих систем забезпечення стабільності руху при дорожніх перешкодах дають можливість своєчасно проводити пошукові роботи з вдосконалення трансмісій тракторів.

Дана стаття присвячена аналізу можливості використання високомоментних гідромотор-колес

© Г. А. Аврунін, М. А. Подригало, А. В. Єременко, І. І. Мороз, 2023

останніх років розробки на прикладі трактора ХТЗ-17021 виробництва харківського тракторного заводу.

**Аналітичний огляд літератури.** Дослідженням щодо вибору типу трансмісії і порівнянню їх характеристик присвячено декілька робіт, які стосуються тракторів, збиральних комбайнів і комунальних прибиральних машин [1–4]. Так аналіз ТШХ трансмісій зернозбиральних комбайнів і пропозиції щодо застосування конструктивних схем наведені у роботах [1, 2]. Порівняльний аналіз серійних коробок передач зі ходозменшувачами, двохпотокових безступеневих гідромеханічних трансмісій з використанням аксіальнопоршневих гідромашин в ОГП, а також гідромеханічних (гідродинамічних) трансмісій з гідротрансформаторами, розглянутий в роботах [3, 4]. Показано, що особливими перевагами двохпотокових трансмісій з ОГП порівняно з гідротрансформаторними є можливість забезпечити мінімальні швидкості трактора без застосування окремого ходозменшувача. Щодо до трансмісій з гідромотор-колесами, то великий досвід створення такої трансмісії має Харківський тракторний завод, де на гусеничному промисловому тракторі-бульдозері-розпушувачі ТС-10 застосований бортовий ОГП з аксіальнопоршневими гідромотор-колесами з похилим блоком циліндрів, вбудованими в планетарні редуктори [5–7]. ОГП має автоматизовану систему безступеневого електрогідравлічного регулювання швидкості і поворотом трактора на базі електронного комплексу з ефективним енергозбереженням щодо палива в ДВЗ. Динамічні характеристики такого ОГП розглянуті в роботі [8] з отриманням рекомендацій щодо швидкодії регулювання робочого об'єму насосів і гідромоторів для виключення режимів з підвищеним тиском і кавітаційних.

Слід зазначити, що розрахунок трансмісії транспортного засобу можливий за даними ТШХ в технічній характеристиці цього засобу, якщо мова йде про модернізацію трансмісії, або визначення ТШХ за параметрами нового транспортного засобу [9]. Наприклад, фірми, що поставляють героторні гідромотор-колеса, наводять методики розрахунку ТШХ з урахуванням маси машини, її швидкості і прискорення, дорожніх умов (покриття), і далі розрахунку крутного моменту і робочого об'єму гідромотора (декількох ведучих гідромоторів) [10, 11]. Практично ці методики однакові, крім того, що за методикою [11] пропонується введення коефіцієнта значенням 1,1 для урахування супротиву повітря.

Для виконання мети статті розглянемо як приклад можливість застосування трансмісії з гідромотор-колесами на колісному тракторі ХТЗ-17021 [12]. Цей трактор тягового класу 4 (номінальне тягове зусилля 40 кН) оснащений ДВЗ моделі ВФ6М1013Е-DEUTZ АG з номінальною потужністю 132 кВт (180 к/с) і має 4 ведучі колеса за допомогою карданних приводів. Маса трактора складає 8,3 т (з причепом до 20 т), максимальна швидкість до 35 км/год. Максимальне тягове зусилля трактора в 60 кН досягається на

четвертій передачі першого діапазону трансмісії при швидкості в 6,96 км/год, а максимальна швидкість в 35,27 км/год при тяговому зусиллі 5,5 кН на четвертій передачі третього діапазону трансмісії. Номінальне тягове зусилля в 39,7 кН (округлюємо до 40 кН згідно тяговому класу трактора ХТЗ-17021) досягається на другій передачі другого діапазону при швидкості 9,32 км/год. На рис. 1 представлена ТШХ колісного трактора ХТЗ-1021, яку побудували на основі даних табличної технічної характеристики в інструкції з експлуатації [12], і розрахункові значення вихідної (корисної) потужності від швидкості трактора. Також приведені значення частоти обертання колес трактора, розраховані за формулою:

$$n_{\text{м.макс}} = \frac{10^3}{60} \cdot \frac{v_{\text{т.макс}}}{\pi \cdot d_{\text{в}}} = 5,31 \frac{35,27}{1,605} = 116,6 \text{ хв}^{-1}, \quad (1)$$

де  $v_{\text{т.макс}} = 35,27$  км/год – максимальна швидкість трактора;

$d_{\text{в}} = 1,605$  м – зовнішній діаметр шини.

Таким чином, для трактора ХТЗ-17021 потрібні гідромотор-колеса з максимальною частотою обертання  $116,6 \text{ хв}^{-1}$ . Далі визначаємо максимальний крутний момент гідромотор-колеса, що забезпечує хід трактора з максимальним тяговим зусиллям  $F_{\text{т.макс}} = 60$  кН:

$$M_{\text{м.макс}} = F_{\text{т.макс}} \frac{d_{\text{в}}}{2 \cdot z} = 60 \cdot 10^3 \frac{1,605}{2 \cdot 4} = 12037,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2)$$

де  $z = 4$  – кількість гідромотор-колес.

Значення цих двох параметрів дають можливість провести пошук потрібного гідромотор-колеса за каталогами виробників.

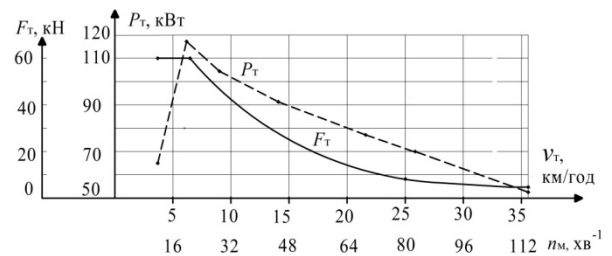


Рис. 1. Тягово-швидкісна характеристика  $F_t$  трактора ХТЗ-17021 та його корисна потужність  $P_t$

**Основна частина.** Аналіз інформаційних джерел, зокрема каталогів закордонних виробників радіальнопоршневих багатоциклових гідромоторів показав, що за показником крутного моменту (12 кН) є достатньо виробників гідромоторів, а за можливістю досягнення потрібної частоти обертання в  $117 \text{ хв}^{-1}$  є обмеження з точки зору як цього абсолютного значення, так і його досягнення при достатньо глибокому діапазоні регулювання робочого об'єму [13–16]. В табл. 1 приведені технічні характеристики радіальнопоршневих гідромотор-колес багатоциклової дії компанії «Rexroth Bosch Group» (модель MCR-C20) і фірми «Poclain Hydraulics» новітньої моделі MHP27 та моделі MS25 попередньої серії. В гідромоторах MHP27-Poclain суттєво підвищені показники щодо частоти обертання, потужності, і що особливо важливе

для трансмісій тракторів, це можливість зменшення робочого об'єму у 4 рази до  $608 \text{ см}^3$ . Останнє досягнення дає можливість підвищити швидкість трактора без нарощування подачі робочої рідини (РР), тобто настановного значення робочого об'єму приводного насоса ОГП трансмісії і ДВЗ трактора. Треба також відмітити, що потрібний максимальний крутний момент в  $12 \text{ кН}$  досягається для всіх розглянутих гідромоторів, але з точки зору інженерного запасу перевагу має також гідромотор МНР27-Poclain, в якому досягнений тиск в  $50 \text{ МПа}$ , що вище ніж в інших конструкціях в  $45 \text{ МПа}$ . Щодо питомого показника – відношення маси до максимального крутного моменту  $m/M_{\text{макс}}$ , то гідромотор-колесо МНР27-Poclain в комбінації з гальмами стоянкового та робочого типів не суттєво поступається моделі MCR-C20 і має значну перевагу перед попередньою MS25.

На рис. 2 в якості прикладу застосування сучасних поршневих груп в радіальнопоршневих гідромоторах багатоциклової дії приведені моделі MCR-Rexroth Bosch Group. Основними частинами є (рис. 2, а) блок циліндрів 1, поршень 2 з ущільненням 3, ролик 4, антифрикційна прокладка 5 і кулачковий корпус-копір 6, на який спирається ролик. Для збільшення площі опорної поверхні, на яку діє бічна сила з боку роликів 4, поршні 2 виконані ступінчастої форми (рис. 2, б), що дозволило зменшити радіальний габарит гідромотора. Велика площа поршня 2 є робочою і на поршні встановлено ущільнення 3. Нижній хвостовик 7 поршня 2 збільшує опорну поверхню поршня і ущільнення не потребує. Є також конструкція поршня, в якій для здійснення безпечного режиму вільного ходу в основі кожного поршня встановлені магніти 8 (рис. 2, в). При тиску в корпусі

гідромотора, створеного через спеціальний отвір, та розвантажених від тиску отворах основних магістралей, поршні з роликками і копіром не контактують між собою. Магніти 7 утримують поршні з роликками біля днищ отворів в блоці циліндрів при відсутності тиску в корпусі гідромотора.

На рис. 3 приведені залежності теоретичної витрати РР ( $Q_{\text{огп}}$ ), яка потрібна для функціонування ОГП ходу трактора, корисної потужності ( $P_{\text{огп}}$ ) та перепаду тисків на гідромоторах ( $\Delta p_m$ ) від швидкості трактора як частоти обертання гідромотор-колес ( $n_{\text{к.т}}$ ) з урахуванням змінних 4-х значень робочих об'ємів гідромотора ( $V_{\text{м1...м4}}$ ) моделі МНР27-Poclain. Ці параметри розраховували за формулами:

$$Q_{4\text{м}} = 10^{-3} \cdot 4V_{\text{м},i} \cdot n_{\text{к.т}}, \text{ л/хв}; \quad (3)$$

$$P_{\text{огп}} = \frac{M_{4\text{м},i} \cdot n_{\text{к.т}}}{9550}, \text{ кВт}; \quad (4)$$

$$\Delta p_{\text{м},i} = \frac{M_{\text{м},i}}{0,159 \cdot V_{\text{м},i} \cdot \eta_{\text{гм}}}, \text{ МПа}, \quad (5)$$

де  $V_{\text{м},i}$  – робочий об'єм однієї зі ступенів гідромотора МНР2434 ( $V_{\text{м1}} = 2434 \text{ см}^3$ ;  $V_{\text{м2}} = 1825 \text{ см}^3$ ;  $V_{\text{м3}} = 1217 \text{ см}^3$ ;  $V_{\text{м4}} = 608 \text{ см}^3$ );

$n_{\text{к.т}}$  – частота обертання коліс трактора,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$\eta_{\text{гм}} = 0,95$  – гідромеханічний ККД гідромотора (приймаємо постійним у першому наближенні);

$M_{4\text{м},i}$  – крутний момент 4-х гідромоторів на  $i$ -й ступені  $M_{\text{м},i}$ , Н·м.

Параметри, що відповідають можливості підвищення максимальної швидкості трактора зі штатної в  $35,27 \text{ км/год}$  до  $50 \text{ км/год}$ , позначені пунктирною лінією.

Таблиця 1 – Технічні характеристики високомоментних радіальнопоршневих багатоциклових гідромоторів

Шифр гідромотора	$V_{\text{макс}}/V_{\text{мін}}, \text{ см}^3$	$n_{\text{макс}}, \text{ хв}^{-1}$	$p_{\text{макс}}, \text{ МПа}$	$M, \text{ Н·м}$ ( $p = 32 \text{ МПа}$ )	$M_{\text{макс}}, \text{ Н·м}$ ( $p_{\text{макс}}, \text{ МПа}$ )	$P, \text{ кВт}$	$m, \text{ кг}$	$m/M_{\text{макс}}, \text{ кг/кН·м}$
MCR-C20	2500/1250	115	45	12720	17888	94	211	11,8
MS25	2498/1249	137	45	12710	17873	90	270	15,1
МНР27	2434/608	252	50	12384	19350	195	240*	12,4*

Примітка: \*) – Для гідромотора з комбінованим гальмом (стоянковим і робочим)

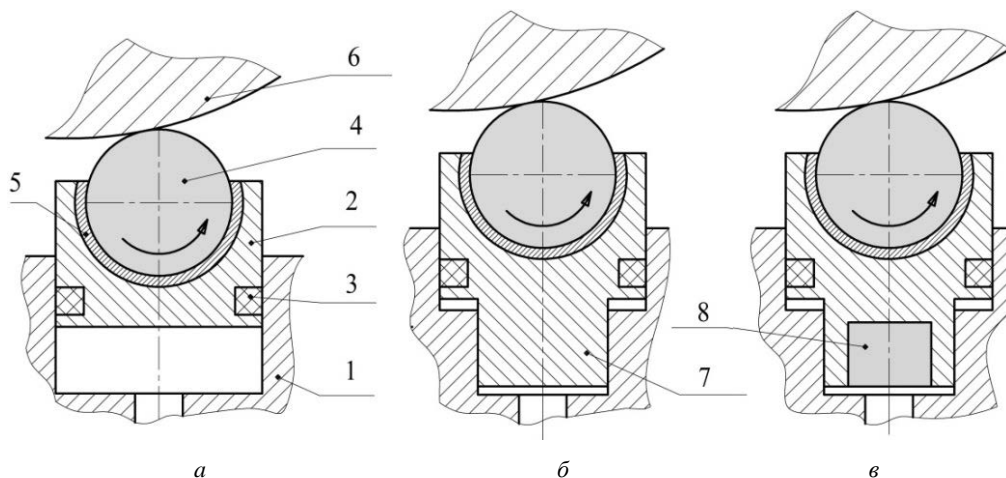


Рис. 2. Поршневі групи радіальнопоршневих гідромоторів моделі MCR:

а – з циліндричним поршнем 2; б – з циліндричним поршнем 2 та хвостовиком 7; в – з магнітом 8 у поршні

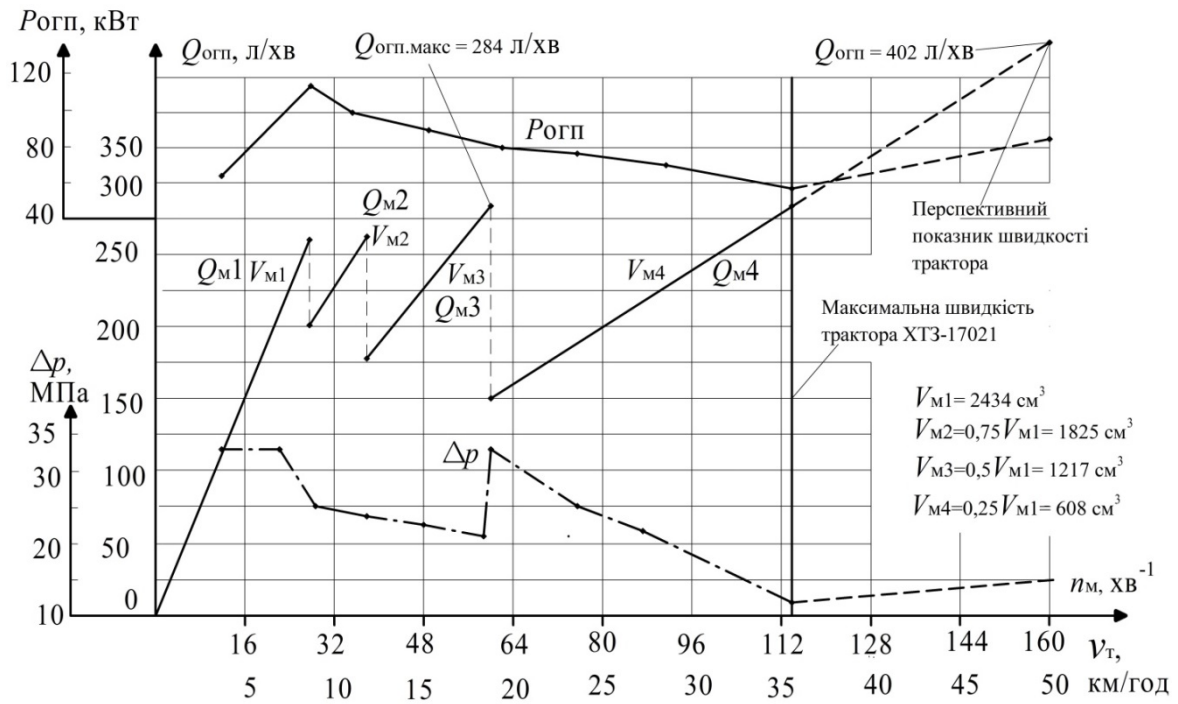


Рис. 3. Витрати РР, вихідна потужність ОГП і перепад тисків на гідромор-колесах залежно від швидкості трактора ХТЗ-17021

Слід відзначити, що гідромотор МНР27 згідно технічній характеристиці має максимальну частоту обертання до  $252 \text{ хв}^{-1}$ , що не обмежує досягнення швидкості трактора в  $50 \text{ км/год}$  ( $166 \text{ хв}^{-1}$  для гідромотора).

Щодо розрахунку витрати РР від насоса ( $Q_{огп}$ ), то гідромотор-колена обертаються при максимальному робочому об'ємі  $V_{м1}$  до швидкості  $7 \text{ км/год}$  ( $23 \text{ хв}^{-1}$ ), далі при переключенні на робочий об'єм  $V_{м2}$  до швидкості  $11 \text{ км/год}$  ( $36,5 \text{ хв}^{-1}$ ), на режимі робочого об'єму  $V_{м3}$  до швидкості  $17,5 \text{ км/год}$  ( $58 \text{ хв}^{-1}$ ), і на режимі робочого об'єму  $V_{м4}$  до максимальної швидкості  $35,27 \text{ км/год}$  ( $116,8 \text{ хв}^{-1}$ ). Таким чином, максимальна витрата РР, яка забезпечує рух трактора в повному діапазоні швидкостей, не перевищує  $284 \text{ л/хв}$ . Потужність ОГП трактора підвищується до  $116,5 \text{ кВт}$  при швидкості в  $7 \text{ км/год}$ , що відповідає максимальному тяговому зусиллю в  $60 \text{ кН}$ , і далі зменшується до  $54 \text{ кВт}$ . Робочий об'єм насоса, що забезпечує потрібну витрату РР для 4-х гідромоторів на максимальній швидкості трактора, знаходиться за формулою:

$$V_{н} = \frac{4V_{м4} \cdot n_{к.т.макс}}{n_{н} \cdot \eta_{он} \cdot \eta_{ом}} = \frac{4 \cdot 608 \cdot 116,8}{2000 \cdot 0,97 \cdot 0,97} = 150,9 \text{ см}^3, \quad (6)$$

де  $V_{м4} = 608 \text{ см}^3$  – робочий об'єм гідромотора на 4-й ступені (мінімальний);

$n_{к.т.макс} = 116,8 \text{ хв}^{-1}$  – максимальна частота обертання гідромотора;

$n_{н} = 2000 \text{ хв}^{-1}$  – частота обертання насоса, яка зазвичай співпадає з частотою обертання приводного ДВЗ;

$\eta_{он} = 0,97$  і  $\eta_{ом} = 0,97$  – об'ємний ККД насоса і гідромотора, відповідно (задаємося попередньо).

Аксіальнопоршневі насоси з таким робочим об'ємом випускають провідні закордонні фірми, а

також може бути застосований аксіальнопоршневий насос в виконанні тандем виробництва кропівницького підприємства «Гідросила» [17–19]. Таким чином, комплексне регулювання робочого об'єму насоса та гідромотор-колена дає можливість відпрацювання ТШХ трактора ХТЗ-17021. Для підвищення рівня автоматизації та енергозбереження в трансмісії трактора її ОГП доповнюють електронним блоком і системами пропорційного керування насосом та одночасно 4-ма гідромотор-колесами.

Для перспективної конструкції трактора при підвищенні швидкості до  $50 \text{ км/год}$  витрата РР повинна буде збільшена до  $404 \text{ л/хв}$ , але потужність при цьому не перевищує  $84 \text{ кВт}$ , тобто в умовах роботи штатного ДВЗ. Тиск в ОГП на всіх режимах ТШХ трактора дорівнює від  $12 \text{ МПа}$  до  $32\text{--}36 \text{ МПа}$ , але і ці останні значення суттєво менше, ніж максимальний в  $50 \text{ МПа}$  для гідромотора МНР27 (зазвичай, номінальний тиск в радіальнопоршневих гідромоторах дорівнює  $25 \text{ МПа}$  або  $32 \text{ МПа}$ ). Слід відмітити, що наведені результати були отримані з урахуванням гідромеханічного ККД гідромоторів на рівні  $0,95$  і теоретичних значення витрати, тобто потребують уточнення на подальших етапах роботи.

На рис. 4 побудована залежність крутного моменту гідромотор-колена МНР27 залежно від частоти його обертання з вказівками щодо ступені робочого об'єму гідромотора, яка забезпечує цю характеристику. Таким чином, гідромотор забезпечує переміщення трактора з заданими параметрами, а для створення безступінчастого переміщення трактора використовується аксіальнопоршневий насос з електрогідравлічним пропорційним регулятором. Автоматизація переключення діапазонів може бути створена за допомогою сигналів зворотного зв'язку за тиском в ОГП та частотою обертання гідромотор-

колес. Ці параметри входять до електронного блоку, який подає керуючі сигнали на регулятори робочих об'ємів насоса та гідромотора.

Розглянемо перспективи застосування в інших трансмісіях транспортних засобів високомоментних радіальнопоршневих багатоциклових гідромотор-колес моделі МНР-Рослайн. На рис. 5 приведені значення робочих об'ємів п'яти типорозмірів гідромоторів МНР-Рослайн залежно від максимальних частот обертання зі значеннями проміжних ступенів робочих об'ємів. Також вказані значення крутних моментів при максимальних робочих об'ємах гідромоторів. Слід відмітити досягнуті максимальні значення частоти обертання від  $180 \text{ хв}^{-1}$  до  $430 \text{ хв}^{-1}$ , що є перспективними щодо створення трансмісій з безредукторними гідромотор-колесами.

На рис. 6 представлені залежності зміни крутного

моменту, частоти обертання та потужності гідромоторів МНР-Рослайн з 4-ма ступенями регулювання робочого об'єму залежно від останнього. При цьому приведені залежності для екстремальних значень робочих об'ємів:  $1416 \text{ см}^3$  і  $3526 \text{ см}^3$  типорозмірного ряду моделей МНР20/27. Позначки з цифрою «1» відносяться для гідромотора з максимальним робочим об'ємом  $1416 \text{ см}^3$ , з цифрою «2» відносяться до самого найбільшого типорозміру з робочим об'ємом  $3526 \text{ см}^3$ . Робочий об'єм гідромоторів зменшується ступінчасто зі співвідношенням 1; 1,33; 2,0 та 4,0. При цьому частота обертання гідромоторів збільшується на 1,25–1,28 від частоти обертання при максимальному робочому об'ємі.

Крутний момент гідромоторів збільшується від  $11,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$  для гідромотора з мінімальним робочим об'ємом  $1416 \text{ см}^3$  до  $28 \text{ кН}\cdot\text{м}$  для гідромотора з максимальним робочим об'ємом  $3526 \text{ см}^3$ .

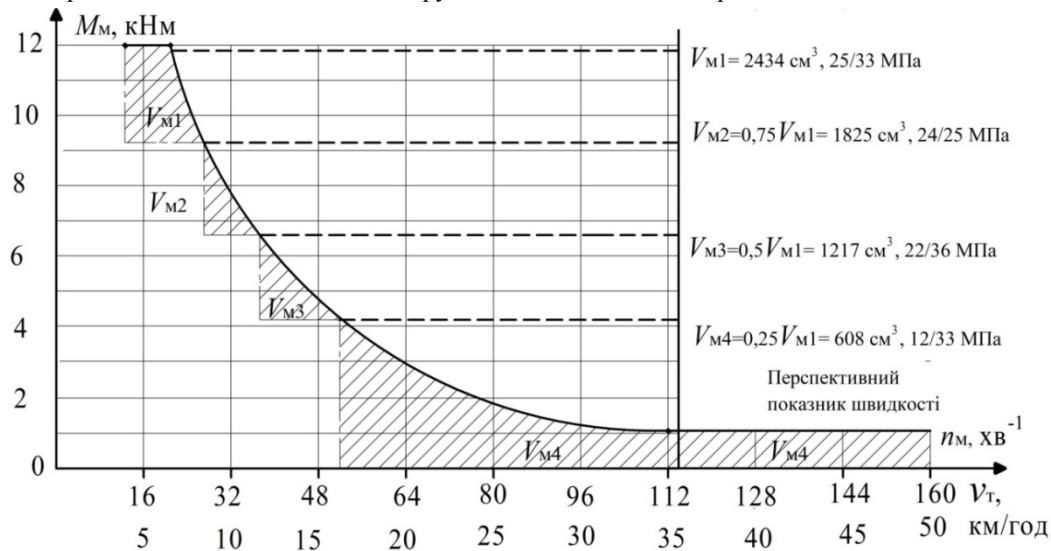


Рис. 4. Залежності тягового зусилля трактора ХТЗ-17021 від його швидкості та крутного моменту гідромотор-колеса з регульованим робочим об'ємом від частоти його обертання

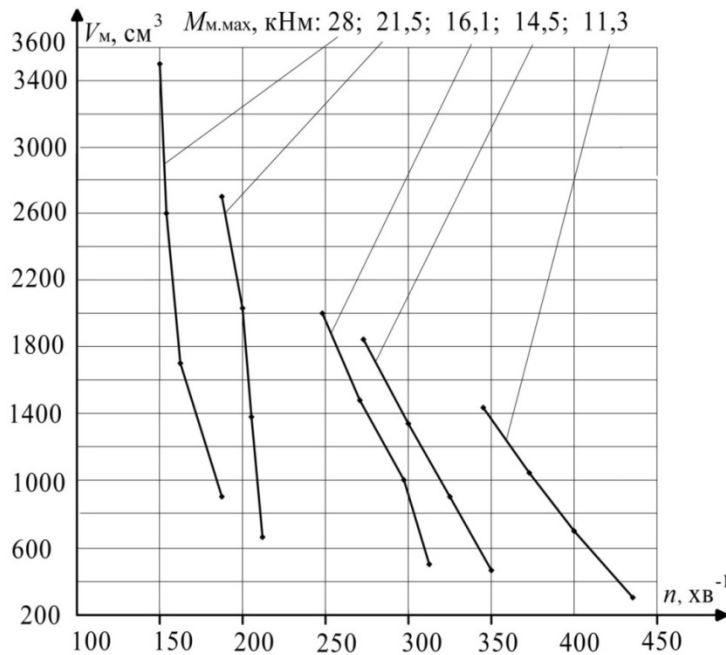


Рис. 5. Максимальні значення частоти обертання гідромоторів МНР Рослайн з 4-ма ступенями регулювання робочого об'єму

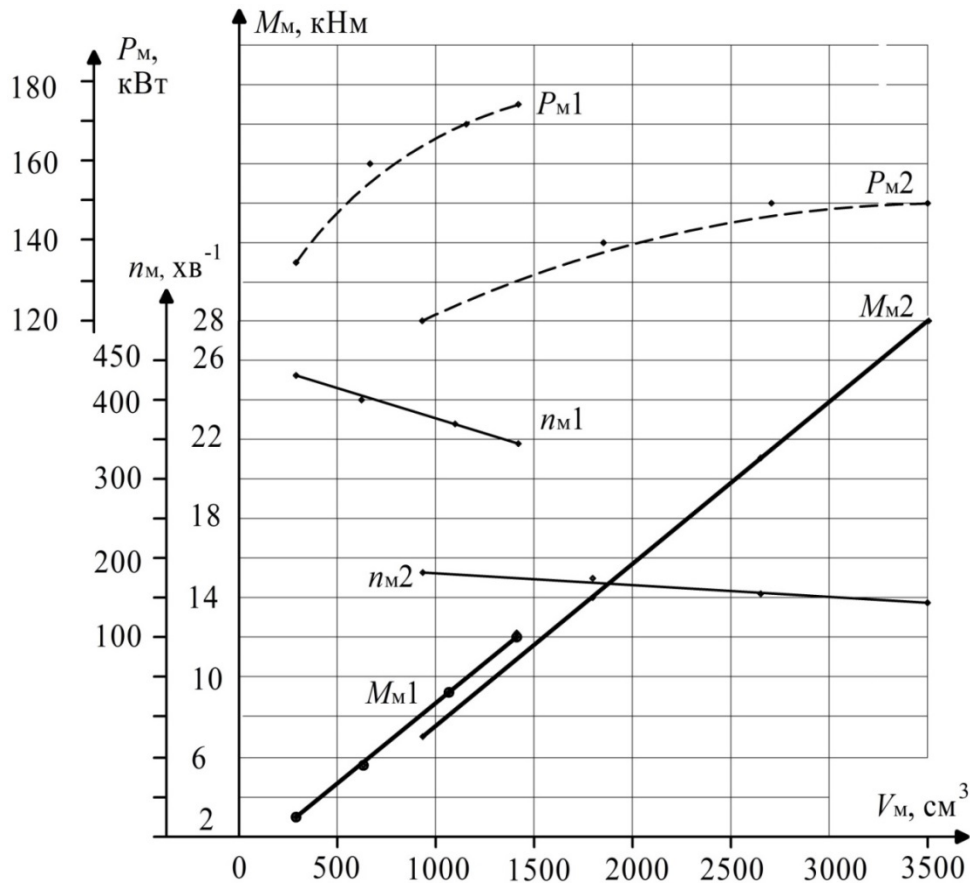


Рис. 6. Крутний момент, частота обертання та потужність гідромоторів МНР-Poclain з 4-ма ступенями регулювання робочого об'єму

Максимальна потужність цих гідромоторів досягає 175 кВт і 150 кВт, відповідно. Але слід відзначити, що в типорозмірному ряду регульованих гідромоторів є зразок з потужністю 185 кВт. Це модель має робочий об'єм  $2712 \text{ cm}^3$ . Також відзначимо, що гідромотори з постійним робочим об'ємом мають підвищену максимальну потужність, яка більше на 1,1–1,3 рази потужності гідромоторів з 4-ма ступенями робочого об'єму. Максимальне значення потужності в 280 кВт має гідромотор з постійним робочим об'ємом  $1893 \text{ cm}^3$ . Для гідромоторів з постійним робочим об'ємом максимальна частота обертання суттєво більша ніж з регульованим виконанням. Наприклад, для гідромотора з постійним робочим об'ємом  $1416 \text{ cm}^3$  максимальна частота обертання дорівнює

$505 \text{ хв}^{-1}$ , а для регульованих виконань при функціонуванні з максимальним робочим об'ємом знижується до  $420 \text{ хв}^{-1}$ ,  $380 \text{ хв}^{-1}$  і  $342 \text{ хв}^{-1}$  для двоступеневого, триступеневого та чотиріступеневого виконання, відповідно.

В каталогах, присвячених гідромоторам МНР-Poclain, не приводиться зображення внутрішньої компоновки вузлів поршневих груп та розподільника РР, а тільки зовнішній вигляд гідромоторів, і можливо це пов'язано з новизною розробки в умовах високої конкуренції в даній галузі. На рис. 7 представлені зовнішні види гідромоторів в виконанні з маточиною для кріплення колеса (рис. 7, а), зі шліцьовим валом (рис. 7, б) та видом на задню кришку з розподільником РР (рис. 7, в).



Рис. 7. Гідромотори МНР20/27 Poclain Hydraulics

Маса гідромоторів є постійною для всього типорозмірного ряду, але залежить від вбудованих гальмівних систем – стоянкових, робочих або комбінованих (стоянкової і робочої в одному гідромоторі). Таким чином, гідромотор-колеса з фланцевим приєднанням до маточини колеса мають масу: без гальма – 180 кг; зі стоянковим або робочим гальмом – 200 кг; з комбінованим гальмом – 240 кг. Гідромотори з вихідним шліцьовим валом мають масу: без гальма – 180 кг; зі стоянковим гальмом – 200 кг.

Загальна характеристика гідромоторів МНР20/27-Poclain: робочі об'єми від 1400 см<sup>3</sup> до 3500 см<sup>3</sup>, крутний момент до 24 кН·м, частота обертання до 520 хв<sup>-1</sup>, потужність до 280 кВт, кількість ступенів регулювання робочого об'єму 2; 3 або 4.

На рис. 8 приведені значення повного (загального) ККД гідромоторів МНР20/27-Poclain залежно від тиску ( $p$ , бар, в співвідношенні 1 бар = 0,1 МПа) та частоти обертання ( $n$ , %). Максимальне значення ККД досягає 0,93, що є високим показником серед гідромоторів даного типу. Таке значення ККД знаходиться в зоні 15 %–55 % від максимальної частоти обертання та при тисках від 15 МПа до 45 МПа (150 бар–450 бар), що і є зоною оптимальної роботи гідромотора. При підвищенні частоти обертання в діапазоні 55 %–100 % від максимального значення та при тисках менше 15 МПа (150 бар) ККД гідромотора зменшується до 0,83.

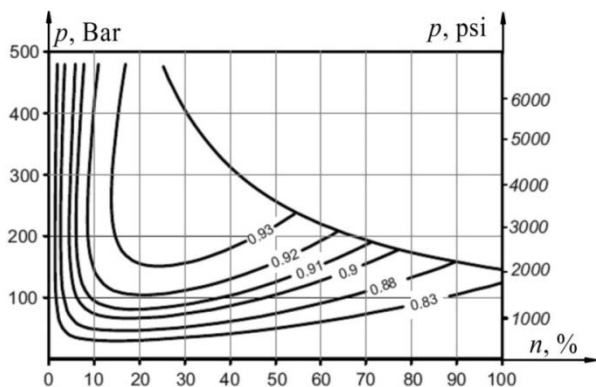


Рис. 8. ККД гідромоторів МНР20/27-Poclain

На рис. 9 приведена гідравлічна принципова схема гідромотора МНР20/27-Poclain з 4-ма ступенями регулювання робочого об'єму та стоянковим і робочим

гальмами [20]. Гідромотор М умовно поділений на три гідромотора М1, М2 і М3, і за допомогою гідророзподільників Р1 і Р2 з гідравлічним керуванням (лінії керування Y1 і Y2, відповідно) створюються ступені робочого об'єму. Канал R є зливним і об'єднує три зливних лінії гідромоторів. При відсутності тиску управління в каналах Y1 і Y2 через канал А і гідророзподільники Р1 і Р2 нагнітається РР від насосу і потрапляє до всіх секцій М1, М2 і М3, що відповідає функціонуванню гідромотора з максимальним робочим об'ємом. При підводі тиску в канал Y1 гідророзподільник Р1 переміщується праворуч і гідромотор М1 з'єднується зі зливною лінією R і крутний момент створюють тільки гідромотори М2 і М3 (друга ступень регулювання). При підведенні тиску тільки в канал Y2 гідророзподільник Р2 зміщується ліворуч і гідромотор М2 з'єднується зі зливною лінією R і крутний момент створюють тільки гідромотори М1 і М3 (третья ступень регулювання). При одночасній подачі тиску управління в камери Y1 і Y2 гідромотори М1 і М2 з'єднується зі зливною лінією R і крутний момент створює тільки гідромотор М3 (четверта ступень регулювання). Лінії 1, 2 і 3 є дренажними для відведення витоків РР з корпусу гідромотора. Гальмівна комбінована система складається з валу маточини 4 і гальмівних дисків 5, пружини 6 і поршня 7 стоянкової системи, поршня 8 робочої гальмівної системи та отворів для підведення тиску: XD – для здійснення робочого гальмування; X – для розгальмування стоянкового гальма.

Гідравлічна принципова схема ОГП транспортної машини з гідромотор-колесами М1–М4 і антибуксувальним пристроєм VMA фірми «Poclain Hydraulics» наведена на рис. 10 [21]. До складу ОГП входять приводний ДВЗ, основний насос Н, насос підживлення Нп, дроселі ДР1–ДР4 з електромагнітним пропорційним керуванням, датчики частоти обертання колес ДЧО1–ДЧО4, датчик ДПРК кута повороту рульового колеса РК і електронний блок керування БК. Під час руху транспортного засобу з однаковими швидкостями кожного з колес, що характерно для прямолінійного руху по рівній сухій дорозі, дроселі ДР1–ДР4 нормально відкриті під дією зворотних пружин і РР при мінімальному гідравлічному опорі надходить до гідромоторів М1–М4.

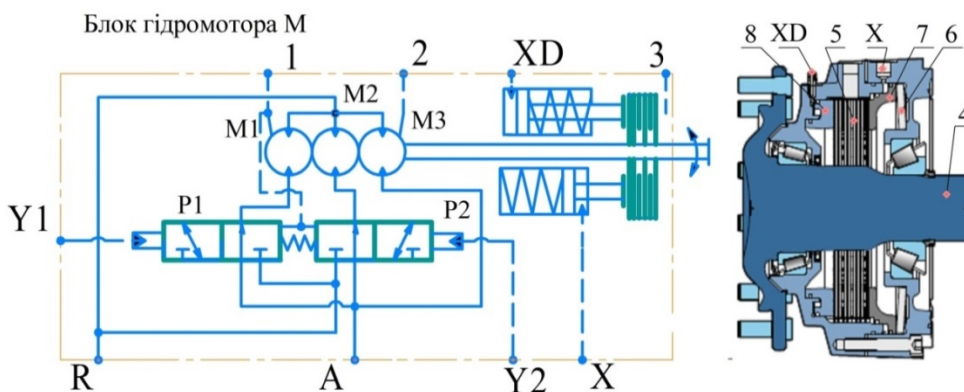


Рис. 9. Гідравлічна принципова схема гідромотора МНР20/27-Poclain та загальний вид комбінованого гальмівного пристрою

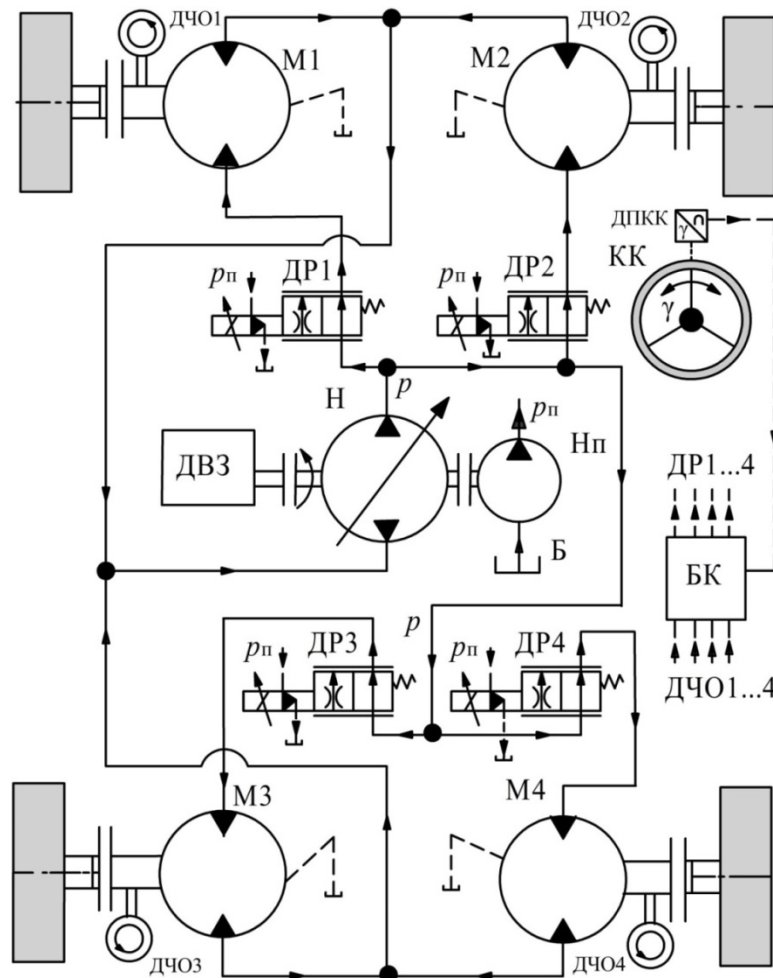


Рис. 10. Гідравлічна принципова схема ОГП з гідромотор-колесами фірми «Poclain Hydraulics» і антибуксувальним електрогідравлічним пристроєм VMA

При повороті транспортного засобу за допомогою датчика ДПКК вводиться корегування подачі витрат через дроселі ДР1–ДР4 мотор-колес М1 і М2 пропорційно куту відхилення  $\gamma$  рульового колеса. Буксування одного з колес призводить до різкого збільшення частоти обертання відповідного гідромотора, оскільки транспортний засіб зупиняється і вся подача насоса Н надходить тільки до одного з гідромоторів. Підвищення частоти обертання гідромотора понад максимально допустиме значення пов'язане з ризиком перегрівання поршневих груп і розподільного вузла. З метою запобігання режиму буксування електронний блок БК виконує порівняння значень сигналів зворотного зв'язку від датчиків частоти обертання ДЧО і вводить необхідну корекцію. Наприклад, при обертанні гідромотора М2 з підвищеною швидкістю, блок БК подає електричний сигнал на дросель ДР2, перекриття перерізу якого перерозподіляє РР між гідромоторами і відновлює рух. Основною функцією гідроблока VMA є обмеження витрати, що подається до гідромотора колеса, що буксує.

**Висновки.** 1. Проведені статичні розрахунки показали, що нові високомоментні радіальнопоршневі гідромотор-колеса МНР27 фірми «Poclain Hydraulics» з поширеним діапазоном швидкості та регулювання

робочого об'єму дають можливість створення трансмісії тракторів зі швидкістю до 50 км/год.

2. На основі аналізу тягово-швидкісних характеристик трактора ХТЗ-17021 проведений вибір типорозмірів 4-х ведучих гідромотор-колес та аксіальнопоршневого насоса трансмісії.

3. Показана можливість підвищення швидкості трактора від штатної 35 км/год до перспективної в 50 км/год.

4. Гідромотор-колеса МНР27 агреговані гальмами стоянкового і робочого типів і поруч з антибуксувальною електрогідравлічною системою забезпечують потрібні властивості трансмісії сучасного трактора.

5. Подальші роботи повинні бути спрямовані для оцінки динамічних характеристик гідравлічної трансмісії колісного трактора та уточнення режимів регулювання насоса і гідромотор-колес за допомогою засобів електрогідроавтоматики.

#### Список літератури

1. Мітрофанов О. П. Тягово-швидкісні характеристики трансмісії ходових систем самохідних сільгоспмашин. *Промислова гідраліка і пневматика*. 2007. № 3 (17). С. 104–106.
2. Іванов М. І., Мороз Ю. О. Сучасні тенденції застосування гідротрансмісій в приводах самохідних сільськогосподарських машин. *Зб. наук. пр. Вінницького національного аграрного університету. Сер.: Технічні науки*. Вінниця. 2011. Вип. 9. С. 46–52.



3. Самородов В. Б., Аврунін Г. А., Кириченко І. Г., Бондаренко А. І., Пелипенко Є. С. *Гідро- та пневмосистеми в автотракторобудуванні: навч. посіб.* / ред. Самородов В. Б. Харків: НТУ «ХПІ», ФОП Панов А. М., 2020. 524 с.
4. Самородов В. Б., Пелипенко Є. С., Аврунін Г. А., Мороз І. І. Аналіз використання об'ємних гідроприводів в трансмісіях колісних сільгоспмашин. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2021. № 2 (66). С. 55–72.
5. *Промисловий трактор-бульдозер TC-10*. URL: <http://xtz.ua/ua/technical-doc.html> (дата звернення: 09.11.2023).
6. *Variable Plug-in Motor A6VE. Rexroth Bosch Group. RE 91606/06.12*. 40 p.
7. *Hydrostatic drives HYDROTRAC GFT for mobile applications. Size GFT 9 to GFT 450. Rexroth Bosch Group. Output torques from 9000 to 450000 Nm. RE 7710*. 2014. 20 p.
8. Самородов В. Б., Аврунін Г. А., Мороз І. І., Щербак О. В. Аналіз динаміки бортового об'ємного гідропривода гусеничного трактора. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2021. № 23. С. 94–106.
9. Александров Е. Е., Епифанов В. В., Медведев Н. Г., Устиненко А. В. *Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. 124 с.
10. *Orbital Motors Type DR, DT and D9. Technical Information*. URL: <https://whitedriveproducts.com/wp-content/uploads/2023/01/Orbital-Motors-Type-DR-DT-and-D9-Technical-Information.pdf> (дата звернення: 09.11.2023).
11. *M+S HYDRAULIC MOTORS MTM*. URL: <https://motorimpex.ua/files/downloads/MTM.pdf> (дата звернення: 11.11.2023).
12. *Трактор ХТЗ-17021*. URL: <https://t-i-t.com.ua/htz-17021/> (дата звернення: 12.11.2023).
13. *Radial piston motor for compact drives MCR-C. The Drive & Control Company. Rexroth Bosch Group. RE 15197*. 13 p.
14. *MS18. Modular Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. Technical Catalog. 801478191E*. 2003. 36 p.
15. *MS25. Modular Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. Technical Catalog. 801478192F*. 2003. 32 p.
16. *MHP20/MHP27 Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. B24840Z*. 2021. 60 p.
17. *Axial Piston Pump H1. Size 147/165. Single. Technical Information. SAUER DANFOSS. 11063347*. 2011. 36 p.
18. *Axial piston variable pump A4VG Series 32. Rexroth Bosch Group. RE-E 92003*. 2016. 72 p.
19. *Axial Piston Pumps and Motors for Closed Circuit*. URL: <https://www.hydrosila.com/products/axial-pumps> (дата звернення: 12.11.2023).
20. *Power Transmission Valves. Poclairn hydraulics. Technical Catalog. B33971Z*. 2021. 88 p.
21. *Selection guige. Poclairn hydraulics*. 2011. 45 p.
3. Samorodov V. B., Avrunin H. A., Kyrychenko I. H., Bondarenko A. I., Pelypenko Ye. S. *Hidro- ta pnevmosystemy v avtotraktorobuduvanni: navch. posib.* [Hydraulic and pneumatic systems in tractor construction]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., FOP Panov A. M. Publ., 2020. 524 p.
4. Samorodov V. B., Pelypenko Ye. S., Avrunin H. A., Moroz I. I. Analiz vykorystannya ob'yemnykh hidropyvodiv v transmissiyakh kolisnykh sil'hospmashyn [Analysis of the use of volumetric hydraulic drives in transmissions of wheeled agricultural machines]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*. 2021, no. 2 (66), pp. 55–72.
5. *Promyslovyy traktor-bul'dozer TS-10* [Industrial tractor-bulldozer TS-10]. Available at: <http://xtz.ua/ua/technical-doc.html> (accessed 09.11.2023).
6. *Variable Plug-in Motor A6VE. Rexroth Bosch Group. RE 91606/06.12*. 40 p.
7. *Hydrostatic drives HYDROTRAC GFT for mobile applications. Size GFT 9 to GFT 450. Rexroth Bosch Group. Output torques from 9000 to 450000 Nm. RE 7710*. 2014. 20 p.
8. Samorodov V. B., Avrunin H. A., Moroz I. I., Shcherbak O. V. Analiz dynamiky bortovoho ob'yemnoho hidropyvoda husenychnoho traktora [Analysis of the dynamics of the onboard volumetric hydraulic drive of a crawler tractor]. *Tekhnichnyy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*. 2021, no. 23, pp. 94–106.
9. Aleksandrov E. E., Epifanov V. V., Medvedev N. G., Ustinenko A. V. *Tyagovo-skorostnye kharakteristiki bystrokhodnykh gusenichnykh i polnoprivodnykh kolisnykh mashin* [Trailer-speed characteristics of high-speed track and four-wheel drive wheeled vehicles]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2007. 124 p.
10. *Orbital Motors Type DR, DT and D9. Technical Information*. Available at: <https://whitedriveproducts.com/wp-content/uploads/2023/01/Orbital-Motors-Type-DR-DT-and-D9-Technical-Information.pdf> (accessed 09.11.2023).
11. *M+S HYDRAULIC MOTORS MTM*. Available at: <https://motorimpex.ua/files/downloads/MTM.pdf> (accessed 11.11.2023).
12. *Traktor KhTZ-17021* [Tractor KhTZ-17021]. Available at: <https://t-i-t.com.ua/htz-17021/> (accessed 12.11.2023).
13. *Radial piston motor for compact drives MCR-C. The Drive & Control Company. Rexroth Bosch Group. RE 15197*. 13 p.
14. *MS18. Modular Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. Technical Catalog. 801478191E*. 2003. 36 p.
15. *MS25. Modular Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. Technical Catalog. 801478192F*. 2003. 32 p.
16. *MHP20/MHP27 Hydraulic Motors. Poclairn Hydraulics. B24840Z*. 2021. 60 p.
17. *Axial Piston Pump H1. Size 147/165. Single. Technical Information. SAUER DANFOSS. 11063347*. 2011. 36 p.
18. *Axial piston variable pump A4VG Series 32. Rexroth Bosch Group. RE-E 92003*. 2016. 72 p.
19. *Axial Piston Pumps and Motors for Closed Circuit*. Available at: <https://www.hydrosila.com/products/axial-pumps> (accessed 12.11.2023).
20. *Power Transmission Valves. Poclairn hydraulics. Technical Catalog. B33971Z*. 2021. 88 p.
21. *Selection guige. Poclairn hydraulics*. 2011. 45 p.

### References

1. Mitrofanov O. P. Tyahovo-shvydkisni kharakterystyky transmisiy khodovykh system samokhidnykh sil'shospmashyn [Traction and speed characteristics of transmissions of running systems of self-propelled agricultural machines]. *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*. 2007, no. 3 (17), pp. 104–106.
2. Ivanov M. I., Moroz Yu. O. Suchasni tendentsiyi zastosuvannya hidrottransmisiy v pryvodakh samokhidnykh sil'skohospodars'kykh mashyn [Modern trends in the use of hydraulic transmissions in the drives of self-propelled agricultural machines]. *Zb. nauk. pr.*

Надійшла (received) 16.11.2023

### Відомості про авторів / About the Authors

**Аврунін Григорій Аврамович (Avrunin Grygoriy)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри «Будівельні і дорожні машини»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0191-3149>; e-mail: [griavrunin@ukr.net](mailto:griavrunin@ukr.net)

**Подригалo Михайло Абович (Podrigalo Mikhail)** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри «Технологія машинобудування і ремонту машин»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>; e-mail: [pmikhab@gmail.com](mailto:pmikhab@gmail.com)

**Єременко Антон Васильович (Yeremenko Anton)** – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, аспірант кафедри «Автомобілі ім. А. Б. Гредескула»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6666-5935>; e-mail: [flammen93@ukr.net](mailto:flammen93@ukr.net)

**Мороз Ірина Іванівна (Moroz Irina)** – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, старший викладач кафедри «Вища математика»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5950-2089>; e-mail: [irinamoroz1@ukr.net](mailto:irinamoroz1@ukr.net)