

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ЗАСОБІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ АЕРОДРОМІВ І ЛІТАКІВ

Аврунін Г. А., Пімонов І. Г., Щербак О. В., Мороз І. І., Олейнікова О. М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто засоби енергозбереження в об'ємних гідроприводах машин для аеродромно-технічного обслуговування, які реалізуються в сучасних гідроприводах із дросельним і машинним регулюванням швидкості гідроциліндрів і гідромоторів. Визначено особливості гідроприскоєв, зокрема насосів, гідромоторів і гідроапаратів, оснащених засобами енергозбереження, та відповідних схемних рішень.

Ключові слова: енергозбереження, аеродромно-технічне обслуговування, об'ємний гідропривод, дросельне та машинне керування, гідроприскоєв.

Вступ

Енергозбереження в сучасних транспортних і технологічних машинах є одним із пріоритетних напрямів розвитку технічного прогресу. Для будівельних, дорожніх та комунальних машин властиві високі витрати палива в процесі виконання технологічних операцій, зумовлених високими силовими навантаженнями на робочі органи, та на режимах транспортних передислокацій між об'єктами. Оскільки для реалізації функціонування технологічного обладнання та транспортування машин широко застосовується об'ємний гідропривід (ОГП), то питання енергозбереження зосереджуються на його можливостях і досягненнях, що реалізуються під час створення нових машин та модернізації тих, що експлуатуються. Характерним прикладом такої модернізації є впровадження в сільськогосподарських і промислових тракторах одного замість двох насосів для обслуговування технологічного обладнання та кермового управління, забезпечення мінімізації тиску та подачі, що розвиваються насосом, до рівня фактичного споживання гідравлічної потужності робочими органами [1]. Перехід на гідроприскоєв, зокрема насоси, гідромотори та гідроапарати, з більш високими за коефіцієнтом корисної дії та втратами тиску параметрами, та гідравлічні робочі рідини (РР) з покращеними трибологічними характеристиками, також є вагомим внеском у скороченні витрат палива мобільних машин. Трактори як базові машини, комунальні машини для прибирання дорожнього покриття та спеціальна техніка у вигляді мобільних підйомників з робочими платформами широко застосовуються як самохідні засоби аеродромно-технічного обслуговування. З огляду на сказане, стаття присвячена

аналізу способів енергозбереження в гідроприводах таких машин.

Аналіз публікацій

Загальні питання забезпечення функціонування аеродромів і повітряних суден (ФАВС) засобами наземного базування розглянуто в роботі [2]. Для обслуговування бетонних смуг та навколишніх територій широко використовуються спеціальні машини для очищення від бруду, пилу, снігу та льоду. Такі машини випускаються як спеціалізовані, так і з навісним бульдозерно-щитковим обладнанням вантажних машин і тракторів. Часто такі машини містять поливальне та пиловсмоктувальне обладнання, а також відсіки для збирання сміття та його подальшої утилізації. Для обслуговування висотних об'єктів, до яких належать і літальні апарати, застосовують вантажопідйомні пристрої різних типів, що класифікуються згідно зі стандартами ІСО-ДСТУ як мобільні підйомники з платформами (МПП) [3]. Багатофункціональність МПП можлива завдяки змінному обладнанню, що забезпечує вантажно-розвантажувальні роботи на об'єкті, його технічне обслуговування та ремонт. Класифікація та номенклатура ФАВС застарілих конструкцій, що застосовувалися в колишньому СРСР, наведена в роботі [4]. Приклади використання засобів ФАВС щодо обслуговування дорожніх покриттів із застосуванням тракторів наведено в роботі [5]. Досвід використання гідроприводів у вітчизняних тракторах систематизовано в публікаціях [1; 6–8]. Зокрема розглянуто еволюційний шлях переходу від двонасосних установок до однонасосних та реалізацію систем енергозбереження в частині мінімізації налаштування спрацьовування запобіжно-переливного кла-

пана, а також створення автоматичних безступінчастих коробок передач із паралельним потоком потужності за допомогою ОГП. Окремі питання застосування засобів енергозбереження в ОГП мобільних машин розглянуті в роботах [9–11].

Енергозбереження в процесі експлуатації мобільних транспортно-технологічних засобів, зокрема для ФАВС, дає змогу суттєво зменшити витрати палива та збільшити ресурс ОГП, тому в цій статті здійснено пошук та огляд ефективних відповідних технічних рішень.

Мета та постановка завдання

Мета – розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для визначення раціональних параметрів гідросистеми з автоматизацією управління та енергозбереження в процесі експлуатації модульних транспортних засобів для технічного обслуговування аеродромів і літаків з урахуванням потенціалу вітчизняної техніки та критичного імпорту агрегатів і вузлів. Для досягнення поставленої мети необхідно розробити приклади застосування енергозберігальних систем для зразків спеціальної мобільної техніки для аеродромного-технічного обслуговування.

Аналіз способів енергозбереження

На рис. 1 наведені можливі способи енергозбереження в ОГП, які умовно поділені на шість груп:

1) в ОГП із дросельним керуванням та насосами з нерегульованим робочим об'ємом, коли застосовують дроселі на паралельному потоці та трипровідні регулятори витрати або використовують сучасні системи LS і LUDV;

2) в ОГП із насосами з регульованим робочим об'ємом і автоматичні регулятори тиску та витрати;

3) в ОГП із машинним керуванням завдяки використанню насосів та гідромоторів із регульованим робочим об'ємом та засобів гідравтоматики;

4) шляхом рекуперації енергії в процесі експлуатації та стендових випробувань ОГП;

5) на стадії проектування ОГП, коли проводиться статичний аналіз із погляду ККД ОГП і динамічний для зменшення навантажень на пускових режимах роботи. У проектуванні закладають ефективні схемні технічні рішення, що сприяють енергозбереженню;

6) безпосередньо в експлуатації завдяки якісній робочій рідині (РР), систем теплообміну та фільтрації.

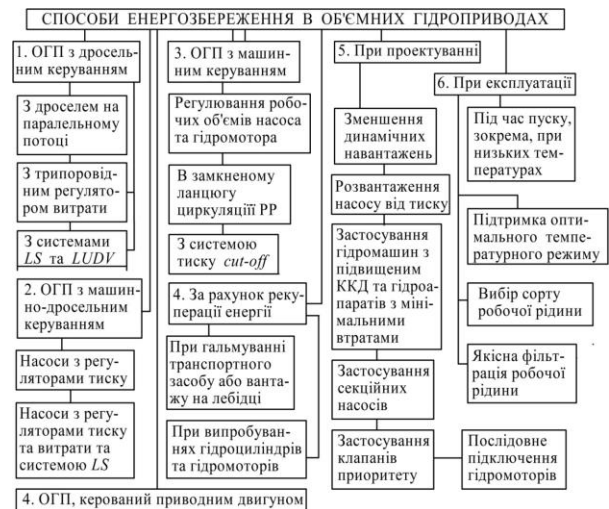


Рис. 1. Способи енергозбереження в об'ємних гідроприводах

Розглянемо особливості та приклади застосування систем енергозбереження в мобільних машинах, які можуть бути застосовані в АТЗ. Безумовно, залежно від виду й конструктивних особливостей ОГП можуть бути реалізовані різні способи енергозбереження.

1. Для ОГП із дросельним управлінням енергозбереження реалізуються завдяки використанню схемних рішень і спеціальних конструкцій гідропрістроїв, наприклад, дроселів і трипровідних регуляторів витрати. Ці гідропрістрої випускаються у вигляді окремих виробів або вбудовуються в секційні та моноблокові гідророзподільники. Прикладом застосування трипровідних регуляторів витрати є модернізовані ОГП тракторів ХТЗ із секційними гідророзподільниками 5РПС100 [8] або ОГП зернозбиральних комбайнів із приводом обертання мотвила жатки за допомогою героторного гідромотора.

Коли працюють одночасно багатодвигунні ОГП з гідроциліндрами та гідромоторами, то застосовують системи енергозбереження LS і LUDV. Ці системи мінімізації тиску в ОГП реалізуються у використанні насоса з постійним робочим об'ємом шляхом автоматичного налаштування переливного клапана. Прикладом застосування таких систем є трактори ХТЗ, зокрема системи технологічного обладнання колісних тракторів і гусеничного промислового бульдозера-розпушувача ТС-10 [1].

2. В ОГП із машинно-дросельним регулюванням та під час використання насоса з регульованим робочим об'ємом і комбінованим регулятором «подача-тиск» система LS дозволяє автоматично знижувати подачу насоса до необхідного для гідродвигуна значення. У використанні в ОГП насоса з регульованим робочим об'ємом із регулятором тільки «постійність тиску» енергозбереження досягається за рахунок мінімізації подачі насоса завдяки спрацюванню регулятора за умови попередньо налаштованого значення тиску. Регулятори «подача-тиск» вже значно поширені в тракторах і будівельно дорожніх машинах [1], регулятори тиску використовують у верстатах і літаках.

3. В ОГП із машинним регулюванням гідромашин – насосів та гідромоторів – досягається найбільша ефективність енергозбереження, оскільки порівняно з дросельними ОГП ККД може бути суттєво підвищено, у деяких випадках з 70 % до 80 %. Таке підвищення ККД досягається за рахунок зниження втрат потужності за умови використання насосів і гідромоторів із регульованим робочим об'ємом. Крім того, в машинному ОГП суттєво знижуються втрати потужності на пусковому режимі завдяки роботі насоса в разі нейтрального положення похилого диска або блоку циліндрів у аксіально-поршневих і радіально-поршневих конструкціях. Застосовуються також системи автоматичного переведення похилого диска або блоку циліндрів у нейтральне положення за умови підвищення тиску в ОГП до значення, близького до налаштування запобіжних клапанів (система cut-off). Такі ОГП застосовують у трансмісіях для переміщення тракторів, прибиральних машин, мобільних підйомників із робочими платформами, приводах обертання барабанів автобетонозмішувачів.

ОГП, регульований приводним двигуном насоса, дозволяє суттєво знизити втрати потужності на режимах часткових завантажень машини, що функціонує в широкому діапазоні швидкостей гідроциліндрів та частот обертання гідромоторів.

4. Системи енергозбереження шляхом рекуперації енергії широко використовуються під час випробувань гідроциліндрів та гідромоторів. Крім того, останнім часом усе більшого поширення набувають системи енергозбереження, що дозволяють акумулювати гідравлічну енергію в процесі гальмування транспортних засобів та вантажопідйомних механізмів.

5. Енергозбереження, що умовно належить до групи «під час проектування», містить такі підсистеми.

5.1. Реалізація режимів роботи ОГП, на яких знижуються динамічні навантаження та за рахунок цього підвищується довговічність гідропристроїв. Насамперед мається на увазі зниження коливань тиску, максимальне значення яких не має перевищувати допустиме для гідропристроїв ОГП за каталогами виробників. З цією метою використовують демпфуючі пристрої пасивного принципу дії, наприклад дроселі в лініях управління регуляторами насосів. Більш ефективними є системи електрогідравлічного керування регуляторами насосів, які дозволяють за допомогою електронних блоків і ПК обмежувати інтенсивність подачі РР до гідродвигунів.

5.2. Установлення в ОГП систем розвантаження насосів під час пуску. До таких систем належать основні для функціонування ОГП гідророзподільники з відкритим центром у нейтральному положенні або додаткові гідророзподільники розвантаження запобіжних клапанів. У процесі застосування ОГП з машинним регулюванням розвантаження тиску здійснюється установкою регулятора робочого об'єму насоса в нейтральне положення.

5.3. Вибір гідромашин та гідроапаратів із підвищеними технічними характеристиками. Під час підбору насосів і гідромоторів із підвищеним значенням ККД однозначно реалізується режим енергозбереження в ОГП. У виборі гідророзподільників перевагу варто надавати апаратам, що мають більш високу герметичність і мінімальні втрати тиску залежно від витрати. Особливу роль, із погляду безпеки та енергозбереження, відіграють гідрозамки, рівень герметичності яких істотно впливає на енергозбереження, наприклад, у гірських кріпленнях дозволяє значно рідше запускати електродвигуни насосів підтримки необхідної висоти гідравлічних стійок.

5.4. У використанні секційних насосів і клапанів пріоритету енергозбереження досягається на підприємстві виробника з допомогою зниження трудомісткості в процесі виготовлення вузлів для монтажу вузлів ОГП. Секційні насоси й клапани пріоритету дозволяють скоротити кількість гнізд, що виготовляються, для монтажу на приводних ДВЗ або коробках передач. Наприклад, на тракторах ХТЗ коробка передач трансмісії раніше мала два монтажних «гнізда» для насосів – кермового управління та технологічного облад-

нання. З введенням клапана пріоритету на тракторі встановлюється лише один насос, який забезпечує роботу технологічного обладнання пріоритетно для ОГП рульового керування.

5.5 За допомогою використання послідовного з'єднання гідромоторів, наприклад, у приводі подачі подрібнення деревних відходів, встановлюють два героторні гідромотори [12]. Таке конструктивне рішення дозволяє знизити робочий об'єм насоса й кількість гідророзподільників і дроселів, що використовуються, однак призводить до підвищення тиску.

6. Системи енергозбереження, що реалізуються під час експлуатації ОГП.

6.1. Енергозбереження в процесі пуску ОГП, пов'язане з підготовкою до експлуатації та скороченням часу прогріву гідросистеми, особливо за низьких температур навколишнього повітря.

6.2. Підтримка оптимального в'язкісно-температурного режиму РР.

6.3 Ефективність енергозбереження пов'язана з вибором сорту РР та системи охолодження та фільтрації. Ці чинники є суттєвими з погляду підвищення довговічності гідрообладнання, оскільки сприяють зниженню зносу пар тертя. У цьому разі РР підбирають з огляду на її покращені трибологічні (змащувальні) властивості, систему охолодження, що забезпечує роботу на оптимальному в'язкісно-температурному режимі, та систему фільтрації з високим ступенем очищення.

Розглянемо гідравлічну схему ОГП трактора (рис. 2), що містить дві системи – систему рульового керування з блоком насоса-дозатора НД та систему керування навісними агрегатами (блок Р). Обидві системи живляться від одного насоса Н.

Насос живлення Н з приводом від коробки передач КП та двигуна внутрішнього згоряння ДВЗ нагнітає РР під тиском p_n до вхідного каналу НД, де вона через зворотний клапан КО потрапляє на вхід гідророзподільника Рнд.

Особливість зазначеної системи рульового керування полягає в тому, що в ній використовується насос-дозатор фірми Lifam моделі SUB 400-S1 [13] із вбудованим пріоритетним клапаном.

Тому, крім основних вихідних каналів L і R , цей насос-дозатор НД містить додатковий, який є вихідним каналом $p_n(EF)$ вбудова-

ного пріоритетного клапана і до якого підключена система керування навісними агрегатами. Вхідний напірний канал p_n насоса-дозатора НД з'єднано з виходом насоса живлення Н, а зливний канал T з'єднується зі зливною магістраллю всієї гідросистеми трактора, звідки РР потрапляє в гідробак Б через оливоохолоджувач АТ та фільтр Ф.

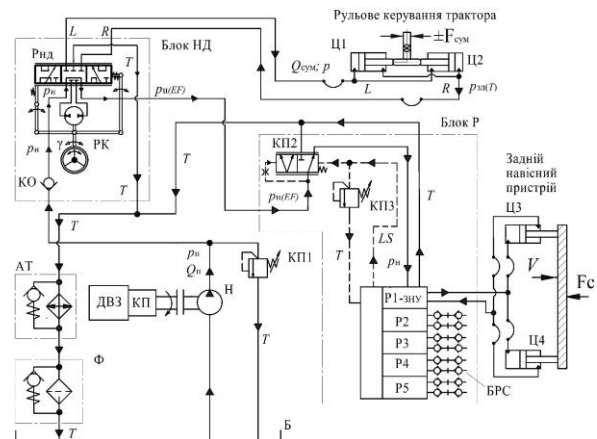


Рис. 2. Гідравлічна схема рульового керування та технологічного обладнання колісного трактора ХТЗ

вмонтована в гідророзподільник Рнд функція пріоритету за лінією $p_n(EF)$ забезпечує подачу частини витрати насоса $Q_{\text{сум}}$ насамперед до системи рульового керування в кількості, що визначається швидкістю обертання керма, а решта відводиться до системи керування навісними агрегатами.

Система ОГП рульового керування містить насос-дозатор НД, золотник розподільного вузла якого безпосередньо з'єднаний із рульовим колесом РК (кермом), поворот якого на кут γ задає керувальну дію цієї системи. Основні вихідні канали L і R насоса-дозатора НД з'єднані з порожнинами виконавчих гідроциліндрів Ц1 і Ц2, штоки яких підключені зустрічно до сошки, від якої через систему важелів задають кут повороту керованим колесам. Тиск у каналі підведення РР до гідроциліндрів на схемі позначено p , а $p_{\text{зл}}$ в каналі відведення РР.

Система керування навісними агрегатами містить багатосекційний розподільник (блок Р), у комплекті з яким застосовується запобіжний клапан непрямої дії – основний запобіжний клапан КК1 та допоміжний (пілотний) КК2. Для заднього навісного пристрою (ЗНУ) використовується гідророзподільник Р1-ЗНУ, а для інших навісних

агрегатів трактора застосовуються розподільники Р2...Р3 з швидкокорз'ємними з'єднаннями БРС. За допомогою системи LS здійснюється енергозбереження за тиском.

ОГП технологічного обладнання трактора ТС-10 призначений для управління бульдозерним відвалом (підйом-опускання і перекид) і розпушувачем (рис. 3).

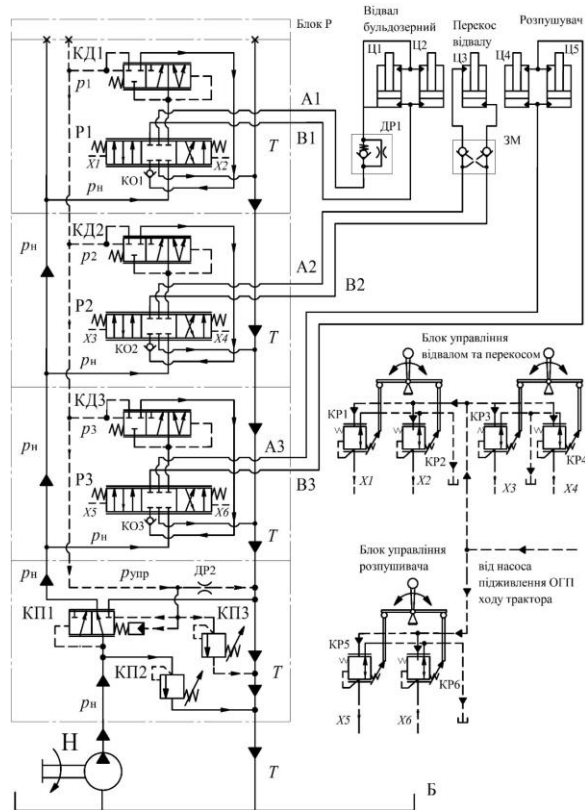


Рис. 3. Гідравлічна принципова схема ОГП технологічного обладнання трактора ТС-10

Для підйому-опускання бульдозерного відвалу встановлені гідроциліндри Ц1 і Ц2, для перекошу відвалу – гідроциліндр Ц3, для підйому-опускання розпушувача – гідроциліндри Ц4 і Ц5. Для функціонування гідроциліндрів використовується шестеренний насос Н із робочим об'ємом 56 см^3 , який змонтований на задній кришці тандема аксіальнопоршневих насосів ОГП бортового пересування трактора. На вході в гідроциліндри Ц1 і Ц2 відвалу встановлений дросель ДР1 зі зворотним клапаном, а на гідроциліндрі Ц3 перекошу встановлений двобічний гідрозамок ЗМ. Функціонування гідроциліндрів забезпечується за допомогою секційного гідророзподільника (блок Р типу SX14), що включає три пропорційних, трипозиційних, шестипровідних, золотникових гідророзподільники Р1...Р3, переміщення яких здійс-

нюється від блоків управління з редукційними клапанами КР1...КР6. РР до золотників подається від насоса підживлення ОГП переміщення трактора. Гідророзподільники забезпечені клапанами тиску КД1...КД3 (інша назва – компенсатори тиску), що утворюють систему розподілу потоків РР типу LUDV. На вході в блок Р розміщені клапан тиску КР1 з гідравлічним управлінням, що забезпечує розвантаження насоса Н під час пуску і в період пауз роботи технологічного обладнання, і запобіжні клапани основного потоку КР2 і КР3 управління $p_{упр}$.

У процесі пуску насоса золотник клапана КР1 зміщений вліво за допомогою пружини, але оскільки з каналів управління РР зливається через дросель ДР2 в гідробак Б, то золотник клапана зміщується вправо й розвантажує насос від тиску. За умови переміщення будь-якого з трьох золотників у лінії управління з'являється тиск, що діє на правий торць золотника клапана КР1, зміщуючи його вліво в положення, наведене на рисунку. У гідросистему гідроциліндрів РР надходить через клапани тиску КД1...КД3, розміщені на виході із золотників гідророзподільників Р1...Р3, і далі через зворотні клапани КО1...КО3 і відводи А1...А3 і В1...В3.

В основу системи LUDV [14] закладений принцип одночасного забезпечення всіх споживачів (гідродвигунів) витратою РР, незалежно від навантажень, що діють на них. Більший за значенням тиск управління $p_{упр}$ передається на всі торцеві камери з лівого боку клапанів тиску КД1...КД3

$$p_{упр} = p_1 = p_2 = p_3. \quad (1)$$

Завдяки цьому на всіх золотниках перепад тисків устанавлюється постійним, наприклад, у разі, коли золотники зміщені вліво

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3, \quad (2)$$

де

$\Delta p_1 = p_n - p_{A1}$; $\Delta p_2 = p_n - p_{A2}$; $\Delta p_3 = p_n - p_{A3}$, і розподіл РР відбувається незалежно від навантаження пропорційно до положень золотників, тобто значень відкриття ними прохідних щілин. Отже, забезпечується синхронність руху всіх гідродвигунів, хоча і зі зниженням швидкості за умови обмеження настановної потужності насоса.

Система LUDV має переваги перед системою LS завдяки забезпеченню синхронного

функціонування всіх робочих органів одночасно. Мається на увазі те, що, в разі нестачі подачі РР для всіх робочих органів із заданими максимальними швидкостями, їхнє функціонування триватиме зі зниженими швидкостями, пропорційними відкриттям щілин золотників.

Система LUDV застосовується в екскаваторах, маніпуляторах і підйомних кранах, забезпечуючи одночасну роботу будь-якої кількості споживачів. Також вважається за доцільне застосування цієї системи з великою кількістю споживачів за умови малої ймовірності їхньої спільної роботи. У цьому разі можна застосувати насос зниженої подачі, який зрештою забезпечить роботу будь-якої кількості механізмів, що працюють одночасно.

Якщо подачі насоса недостатньо, щоб «заповнити» перетин регульованих дроселів для роботи всіх споживачів, то перепади Δp_1 і Δp_2 знижуються. Завдяки найбільшому сигналу сповіщення про тиск, навантаження на всі компенсатори тиску й розподіл витрат відбувається незалежно від тиску навантаження пропорційно до положень золотників.

Аксіально-поршневі насоси для роботи з незамкненим ланцюгом циркуляції РР застосовують в ОГП технологічного обладнання. Залежності зміни подачі аксіально-поршневих насосів серій PVC і PVC1 наведені в роботі [15]. Насоси забезпечені автоматичними регуляторами зміни робочого об'єму. Гідрравлічні принципові схеми регуляторів зображені на рис. 4 і 5. Регулятори тиску РТ (РТ1) забезпечують настройки спрацьовування за допомогою механічного пружинного вузла (рис. 4, а) або за допомогою запобіжного клапана КП як джерела зовнішнього впливу (рис. 4, б). У будь-якому випадку зміна настройки регулятора може бути безступінчастою за регульовальною характеристикою пружини, що настраюється вручну, або за допомогою запобіжного клапана. У використанні запобіжного клапана з електромагнітним пропорційним керуванням реалізується режим дистанційної настройки.

Для комбінованих регуляторів «подача-тиск» (рис. 5) різновидом є повідомлення лінії управління X з дренажною порожниною $L(T_1)$ в насосах серії PVC (регулятор типу RPF) і відсутність дренажної лінії в насосах серії PVC1 (регулятор типу RPF1). За показниками фірми M. Rexroth, за умови

повідомлення лінії управління з дренажем збільшуються витoki з 3 л/хв до 4,5 л/хв. Крім того, з'єднання лінії X з дренажем дозволяє автоматично встановити тиск на регуляторі 1,8 МПа з нульовою подачею насоса (режим «stand by»). Стандартне значення настройки регулятора в 1,4 МПа виконується виробником.

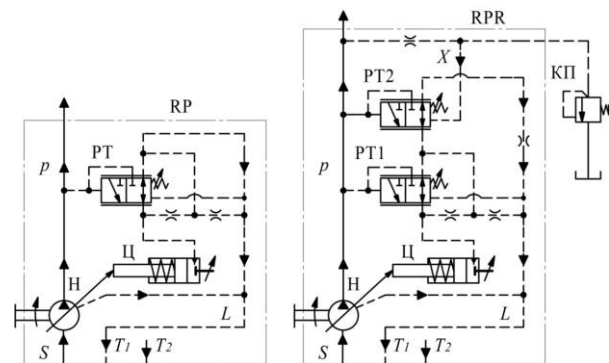


Рис. 4. Гідрравлічні принципові схеми насосів серій PVC і PVC1 з автоматичними регуляторами «постійності тиску» RP (а) і RPR (б)

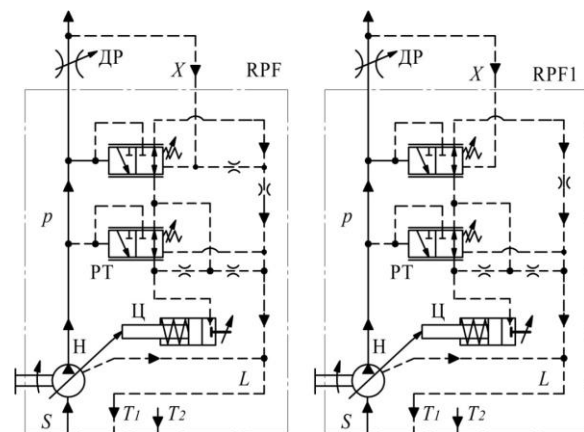


Рис. 5. Гідрравлічні принципові схеми насосів серій PVC і PVC1 з автоматичними регуляторами подачі і тиску RPF (а) і RPF1 (б)

Висновки

Розглянуто засоби енергозбереження в об'ємних гідроприводах машин із застосуванням гідроприсроїв, зокрема з дросельним і машинним керуванням. Подано класифікацію засобів і методів енергозбереження. Наведено приклади застосування енергозберігаючих систем у тракторах вітчизняного виробництва.

У процесі проектування зразків спеціальної мобільної техніки для аеродромно-технічного обслуговування з урахуванням потенціалу вітчизняного машинобудування

планується застосовувати системи енергозбереження в складі об'ємних гідроприводів трансмісій, технологічного устаткування та рульового керування.

Література

1. Гідро- та пневмосистеми в автотракторобудуванні: навчальний посібник / В. Б. Самородов та ін.; за ред. В. Б. Самородова; НТУ «ХПІ». Харків: ФОП Панов А. М., 2020. 524 с.
2. URL: <https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/atidlya-otechestvennyh-vs/aerodromnaya-spectehnika-aeroportovoe-oborudovanie>.
3. Объемный гидропривод в мобильных подъемниках с рабочими платформами: монография / И. Г. Кириченко, Г. А. Аврунин, В. Б. Самородов, А. В. Ярышко. Харьков: ХНАДУ, 2018. 296 с.
4. Авиационная наземная техника: справочник / В. Е. Канарчук и др.; под. ред. В. Е. Канарчука. Москва: Транспорт, 1989. 278 с.
5. URL: <https://ate.aero/product/tehnika/tehnika-na-baze-mtz/>
6. Samorodov V., Pelipenko E. Analysis of the development modern transmission wheeled tractors. *International Collection of scientific proceedings*. Warszawa: Consilium Sp. z o.o. 2016. Vol. 6 (13). P. 49–57.
7. Samorodov V. B., Burluga M. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit with hydrovolumetric-mechanical transmission. *European cooperation. Współpraca europejska nr.* 2016. No. 3(10). P. 94–107.
8. Модернизация объемных гидроприводов навесного оборудования колесных тракторов ПАО «ХТЗ им. С. Орджоникидзе» / Г. А. Аврунин, В. И. Аносов, В. Н. Рулев, В. Б. Самородов. *Промислова гідроліка і пневматика*. 2014. № 4 (46). С. 71–82.
9. Бондарь В. А. Система Load – Sensing в сельскохозяйственной технике. *Вибрации в технике и технологиях / Винницкий государственный аграрный университет*. 2003. № 4 (30). С. 19–26.
10. Навроцкий В. К. Энергосбережение в объемных дизельных гидроприводах машин. Москва: Станкин, 2000. 229 с.
11. Королев А. В. Экскаваторы с электронным регулированием трехнасосной силовой установки. *Строительные и дорожные машины*. 1990. № 1. С. 4–6.
12. Расчет объемного гидропривода подачи измельчителя древесных отходов с автовозвратом при перегрузках / Г. А. Аврунин, В. Б. Самородов, Е. С. Пелипенко, И. И. Мороз. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. праць*. Серія: «Гідролічні машини та гідроагрегати». Харків: НТУ «ХПІ». 2019. № 1. С. 30–37.
13. Насос-дозатор LIFAM SUB 400-S. ООО «Гидро-Максимум». URL: <https://agromaxi-mum.com.ua/p347535202-nasos-dozator-lifam.html>

14. Гидрораспределитель секционный LUDV. Тип SX14, SX14S. Rexroth Bosch Group. – R-RS 64125/02.11. 22 с.
15. Variable Axial Piston Pumps for Open Circuit. Аксиально-поршневые регулируемые насосы для открытых гидросистем серии С (PVC) / HYGROSILA – HS-AO-02/042016. 31 с.

References

1. Gidro- ta pnevmosistemi v avtotraкторobuduvanni: navchalniy posibnik / V. B. Samorodov, G. A. Avrunin, I. G. Kirichenko, A. I. Bondarenko, E. S. Pelipenko; za red. V. B. Samorodova; NTU «ХПІ». Harkiv: FOP Panov A. M., 2020. 524 p.
2. URL: <https://vertol.com.ua/catalog/katalog-ati/atidlya-otechestvennyh-vs/aerodromnaya-spectehnika-aeroportovoe-oborudovanie>
3. Ob'emnyi gidroprivod v mobilnykh pod'emnikakh s rabochimi platformami: monografiya / I. G. Kirichenko, G. A. Avrunin, V. B. Samorodov, A. V. Yaryzhko. Harkov: HNADU, 2018. 296 p.
4. Aviatsionnaya nazemnaya tehnik: spravochnik / V. E. Kanarchuk, G. N. Geletuha, V. V. Zaporozhets i dr.; pod. red. V. E. Kanarchuka. Moskva: Transport, 1989. 278 p.
5. URL: <https://ate.aero/product/tehnika/tehnika-na-baze-mtz/>
6. Samorodov V., Pelipenko E. Analysis of the development modern transmission wheeled tractors. *International Collection of scientific proceedings*. Warszawa: Consilium Sp. z o.o. 2016, vol. 6 (13), pp. 49–57.
7. Samorodov V. B., Burluga M. B. The optimization algorithm in determining the relationship between technical and economic indices of machine-tractor unit with hydrovolumetric-mechanical transmission. *European cooperation. Współpraca europejska nr.* 2016, no. 3(10), pp. 94–107.
8. Modernizatsiya ob'emnykh gidroprivodov navesnogo oborudovaniya kolesnykh traktorov PAO «HTZ im. S. Ordzhonikidze» / G. A. Avrunin, V. I. Anosov, V. N. Rulev, V. B. Samorodov. *Promislova gidravlika i pnevmatika*. 2014, no. 4 (46), pp. 71–82
9. Bondar V. A. Systema Load – Sensing v selskoxoziaistvennoi tekhnike. *Vybratsyy v tekhnike y tekhnolohiyakh. Vynnytskyi hosudarstvennij ahrarnij unyversytet*. 2003, no. 4 (30), pp. 19–26.
10. Navrotskyi V. K. Enerhosberezhenye v ob'emnikh dyzelnykh hydroprivodakh mashyn. Moskva: Stankyn, 2000. 229 s.
11. Korolev A. V. Ekskavatory s elektronnim rehulyrovanyem trekhnasosnoi sylovoi ustanovky. *Stroytelnie y dorozhnie mashyni*. 1990, no. 1, pp. 4–6.
12. Raschet ob'emnoho hydroprivoda podachy yzmelchytelia drevesnykh otkhodov s avtovozvratom pry perehruzkakh / H. A. Avrunyn, V. B. Samorodov, E. S. Pelypenko, Y. Y. Moroz. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»: zb. nauk. pr.* Seria: «Hidravlichni mashyny ta hidroahrehaty». Harkiv: NTU «ХПІ». 2019, no. 1, pp. 30–37.

13. Nasos-dozator LIFAM SUB 400-S. ООО «Hidro-Maksimum». URL: <https://agromaximum.com.ua/p347535202-nasos-dozator-lifam.html>.
14. Hydoraspredelytel sektsyonni LUDV. Тип SX14, SX14S. Rexroth Bosch Group. R-RS 64125/02.11. 22 p.
15. Variable Axial Piston Pumps for Open Circuit. Aksyalno-porshnevie rehulyruemie nasosi dlia otkritikh hydrosystem seryu S (PVC) / HYGROSILA – HS-AO-02/042016. 31 p.

Аврунін Григорій Аврамович, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел.: (050) 596-62-53; e-mail: griavrunin@ukr.net; ORCID 0000-0002-0191-3149;

Пімонов Ігор Георгійович, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел.: (050) 217-05-24; e-mail: igor_lena_p@ukr.net; ORCID 0000-0001-6100-3529;

Щербак Олег Віталійович, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел.: (097)23-33-083; e-mail: olegcherbak@gmail.com; ORCID 0000-0002-7953-2135;

Мороз Ірина Іванівна, старший викладач, Харківський національний автомобільно-дорожній, тел.: 0577053216, e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net, ORCID 0000-0001-5950-2089,

Олейнікова Олександра Михайлівна, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. будівельних і дорожніх машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, тел.: +38095-884-92-83, e-mail: olexandrachaplygina@gmail.com ORCID 0000-0002-5373-9680.

Analysis of energy saving methods servicing airfields and airplanes

Abstract. Problem. The problem is an integral part of developing the concept of forming a standard range of transport and technological hydrophilic modular means for maintenance of airfields and aircraft. **Goal.** The goal is development of scientifically sound recommendations for determining the rational parameters of the hydraulic system with automation of control and energy saving during operation of modular vehicles for maintenance of airfields and aircraft, taking into account the potential of domestic engineering and critical imports of units and assemblies. **Methodology.** The methods include analysis of energy saving methods in hydraulic fluid power of mobile machines according to manufacturers' catalogs and industrial examples taking into account the needs of modular vehicles for maintenance of airfields and aircraft, in particular, taking into account the creation of modern hydraulic devices and circuit solutions in hydraulic drives with

throttle and machine control and automatic regulators of change of hydraulic fluid power. **Results.** It is established that in hydraulic drives with throttle control and pumps with unregulated working volume, throttles on parallel flow and three-wire flow regulators or LS and LUDV modern systems are used; automatic pressure and flow regulators are used with pumps with adjustable displacement; in machine-controlled hydraulic drives through the use of pumps and hydraulic motors with adjustable displacement and hydraulic automation; by energy recovery during operation and bench tests of hydraulic drives; at the design stage of hydraulic drives, when the static analysis is performed in terms of efficiency and dynamic to reduce the loads on the starting modes of operation; and also at designing lay the effective circuit technical decisions promoting energy saving; directly in operation due to high-quality working fluids, heat exchange systems and filtration. **Originality.** The classification of methods of energy saving in volumetric hydraulic drives of mobile machines is made and examples of application of some means which are planned for introduction in transmissions and the technological equipment of cars for service of aerodromes and planes are resulted. **Practical value.** The possibility of a rational selection of axial-piston domestic hydraulic machines for the development of hydraulic drives for airfields and aircraft is proven.

Key words: aerodrome maintenance, hydraulic fluid power, hydraulic devices for energy saving pumps and hydraulic motors, speed, power.

Avrunin Grigory, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, phone: (050) 596-62-53; e-mail: griavrunin@ukr.net; ORCID 0000-0002-0191-3149;

Pimonov Igor Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, phone: (050) 217-05-24; e-mail: igor_lena_p@ukr.net; ORCID 0000-0001-6100-3529;

Shcherbak Oleh, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: olegcherbak@gmail.com tel.: +38-097-233-30-83, ORCID 0000-0002-7953-2135;

Moroz Irene, senior teacher, Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, tel. 0577053216, e-mail: irinamoroz25.01@ukr.net, ORCID 0000-0001-5950-2089;

Oleinikova Olexandra, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, phone: +38095-884-92-83, e-mail: olexandrachaplygina@gmail.com, ORCID 0000-0002-5373-9680.