

Міністерство освіти та науки України
Сумський державний університет

Чмуж Ярослав Валентинович



УДК 621.225.2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКООБЕРТОВИХ ВИСОКОМОМЕНТНИХ
ГІДРОМОТОРІВ СТОРЕНИХ НА БАЗІ ЦИЛІНДРІВ

05.05.17 – Гідравлічні машини, гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
РЕМАРЧУК Микола Парфенійович,
Український державний університет залізничного транспорту, професор
кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ПАНЧЕНКО Анатолій Іванович,
Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач
кафедри мехатронних систем та транспортних технологій,
м. Мелітополь.

Кандидат технічних наук, професор
ДРАНКОВСЬКИЙ Віктор Едуардович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут», професор кафедри гідравлічних машин, м. Харків.

Захист відбудеться 19 грудня 2019 р. о 13⁰⁰ год., на засіданні вченої спеціалізованої ради К55.051.03 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. ЛА, ауд. 213.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Сумського державного університету (40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий 18 листопада 2019 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради



Є.М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні будівельні, колійні та вантажно-розвантажувальні машини (БКВРМ) забезпечують виконання ряду технологічних процесів при відносно низьких лінійних і обертових швидкостях руху робочого обладнання. Для досягнення цього при використанні сучасних електричних або гідравлічних двигунів серійного виробництва в складі механізмів БКВРМ застосовуються редуктори. Крім того, в ряді механізмів БКВРМ, зокрема в механізмах вантажопідйомних машин, застосовують гальмівні пристрої. Тому приводи сучасних механізмів БКВРМ з обертовим рухом складні у виготовленні, обслуговуванні і ремонті.

Підвищення працездатності механізмів БКВРМ можливо досягти шляхом удосконалення їхніх окремих складових. Це може призвести лише до незначного зростання показників ефективності роботи таких механізмів. Так, застосування стандартних низькообертових високомоментних гідромоторів (НВГ) не дозволяє відмовитись від редукторів. Разом з тим, застосування стандартних НВГ у діапазоні частоти обертання вала 0-10 об/хв., завжди призводить до появи нестійких режимів функціонування механізмів БКВРМ через наявність внутрішніх і зовнішніх втрат рідини в рухомих з'єднаннях гідромотора.

Дослідження, спрямоване на зниження внутрішніх втрат у гідромоторі, зменшення складових в структурі механізмів БКВРМ, побудоване на виявленні зв'язку між величиною корисної потужності, загальним ККД гідромотора та основними параметрами циліндрів, складає важливе науково-технічне завдання. Враховуючи дефіцит і високу вартість енергоресурсів, необхідних для функціонування БКВРМ, питання зменшення неефективних втрат в гідравлічному приводі при застосуванні НВГ стає важливою прикладною задачею. З огляду на це, поставлена науково-технічна задача є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідних робіт кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Українського державного університету залізничного транспорту, спрямованих на вдосконалення та модернізацію гідрофікованих механізмів. Роботу виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи № 0119U103361 – «Розробка лабораторного зразка низькообертового високомоментного гідромотора на базі силових циліндрів та дослідження його параметрів», де здобувач брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка методології проектування НВГ з визначенням основних параметрів циліндрів при механічному з'єднанні їхніх штоків і гідравлічному з'єднанні їхніх різнойменних робочих порожнин та створення системи скоординованого руху штоків циліндрів для отримання прямого та зворотного обертового руху вала мотора при застосуванні засобів зменшення гідромеханічних втрат енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналітичний огляд сучасних конструкцій та систем управління низькообертових гідромоторів на базі гідроциліндрів і на цій основі запропонувати напрям та загальну методологію дисертаційного дослідження;

- отримати залежність для визначення загального ККД НВГ на базі циліндрів з механічним парним з'єднанням їхніх штоків і гідравлічним з'єднанням їхніх різнойменних порожнин і на цій основі визначити основні його параметри;

- розробити засоби для зменшення гідромеханічних втрат у НВГ на базі циліндрів з застосуванням зворотних клапанів з гідроправлінням;
- розробити електросистему для забезпечення скоординованого руху штоків циліндрів з отриманням можливостей для обертового прямого та зворотного руху вала мотора;
- обґрунтувати експериментально на основі гіпотези про доцільність застосування загального джерела енергії відносно індивідуальних джерел для живлення циліндрів у складі мотора на базі електро-, пневмо- та гідроциліндрів;
- розробити практичні рекомендації щодо застосування НВГ на базі гідроциліндрів для БКВРМ на прикладі вантажопідйомного механізму.

Об'єкт досліджень. Зміна вхідних і вихідних параметрів низькообертового гідромотора на базі циліндрів при парному їх включенні та застосування системи управління безперервним обертовим рухом вихідного вала.

Предмет досліджень. Закономірності зміни руху штоків та внутрішні втрати рідини, які впливають на визначення основних параметрів НВГ на базі циліндрів.

Методи дослідження. В основу досліджень роботи низькообертових гідромоторів на базі гідроциліндрів покладене математичне та фізичне моделювання. Для визначення основних параметрів гідромотора застосований системний підхід. При виконанні експериментальних досліджень застосовані цифрові методи реєстрації та обробки результатів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше встановлено залежність для визначення загального ККД НВГ на базі циліндрів при парній їх кількості у складі мотора;
- вперше встановлено залежність для визначення основних параметрів циліндрів на основі знання загального ККД мотора та корисної потужності на валу НВГ, за умови з'єднання різнойменних порожнин при парній кількості циліндрів;
- вперше теоретично встановлено закономірність зміни тиску рідини в напірній магістралі та частоти обертання вихідного вала НВГ на базі циліндрів.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано гідравлічну схему включення робочих порожнин гідроциліндрів низькообертових гідромоторів на базі трьох пар циліндрів. Застосовано стикове з'єднання зворотних клапанів з гідроправлінням, за допомогою яких вперше створено клапанний двохпозиційний чотирьохлінійний гідророзподільник з електрогідроуправлінням. Розроблено систему управління скоординованим рухом штоків циліндрів у складі гідромотора. Запропоновано методику проектування низькообертових гідромоторів на базі застосування парної (3...7) кількості циліндрів, з урахуванням відношення діаметрів штока і циліндра та корисної потужності на валу НВГ. Приріст економічного ефекту від впровадження низькообертового гідромотора на базі гідроциліндрів у крані вантажопідйомністю 3,2 т. складає 9057,60 грн на рік порівняно з використанням стандартного привода. Результати дисертаційного дослідження впроваджено на філії «ЦТС «Ліски» АТ «Укрзалізниця», та в навчальний процес кафедри БКВРМ УкрДУЗТ при викладанні дисциплін «Гідравлічний привод машин», «Колійні машини», «Підйомно-транспортні та вантажно-розвантажувальні машини» спеціальності 133 – Галузеве машинобудування.

Особистий внесок здобувача. Основні результати наукових досліджень викладено в 17 публікаціях. Серед них 2 роботи без співавторів. Особисто автором розроблені і сформульовані всі

основні положення дисертаційної роботи, обґрунтовано гіпотезу про доцільність застосування індивідуальних джерел живлення до кожного циліндра у складі НВГ, методи, моделі, які спрямовані на підвищення ефективності та якості роботи високомоментного низькообертового гідромотора.

У роботі [1] розглянуто конструкцію механічної передачі механізму переміщення та можливість її заміни на гідравлічну з застосуванням НВГ на базі циліндрів. У роботі [2] розглянуто можливості включення силових гідроциліндрів у складі гідросистеми. Роботи [3, 9] присвячено визначенню основних параметрів гідроциліндрів у складі НВГ для механізмів переміщення, на основі знання корисної потужності механізму та кількості привідних коліс. У роботах [4, 10] запропоновано залежності визначення ККД механізму переміщення з механічною та гідравлічною передачами. В роботах [5, 13] запропонована парна кількість гідроциліндрів у складі гідромотора або насоса зі з'єднанням штоків на одному кривошипі циліндрів розташованих назустріч один до одного. Запропонована залежність для визначення параметрів циліндрів від відомої потужності. В роботі [6] теоретично обґрунтовано підвищення величини крутного моменту за рахунок удосконалення гідравлічної схеми включення робочих порожнин гідроциліндрів. У роботі [7] – розглянуто можливість застосування конструкції насос-мотор на базі силових циліндрів, однакових за параметрами для привода робочого обладнання різних за призначенням машин з застосуванням рекуперації енергії. В роботах [8, 15, 16] запропоновано методологію проектування НВГ на базі циліндрів. Роботи [11, 12, 14, 17] присвячені створенню системи управління циліндрами, моделювання та дослідження функціонування моделі мотора на базі електроциліндрів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи отримали позитивну оцінку на 7-ми конференціях: – X міжвузівська науково-практична конференція «Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій» (м. Харків, 9 грудня, 2011 р.); – XI міжвузівська науково-практична конференція «Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій» (м. Харків, 7 грудня, 2012 р.); – Міжнародна науково-технічна конференція «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (м. Харків, 26-28 листопада, 2014 р.); – Міжвузівська конференція «Національна академія Національної гвардії України» (м. Харків, 30 квітня, 2015 р.); – XVI Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка та пневматика». (м. Суми, 14-16 жовтня, 2015 р.); – Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (м. Харків, 4 грудня 2015 р.); – Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 26-28 квітня, 2016 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи здобувачем опубліковано 17 наукових праць, з яких: 7 статей у фахових виданнях, що входять до Переліку МОН України, 1 робота, яка входить до науко-метричної бази SCOPUS, та 9 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить – 169 сторінки, у тому числі – 124 сторінок основного тексту, 73 рисунків, 15 таблиць, 5 додатків на 20 сторінках та бібліографію зі 150 джерел на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступній частині подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми і необхідність дослідження. На цій основі сформульовано мету роботи та основні завдання, визначено шляхи їх вирішення, надано інформація про наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача та їх впровадження.

Перший розділ «Аналітичний огляд наукових джерел з питання функціонування сучасних гідромоторів для тихохідних механізмів і машин».

Проведено аналіз конструкцій та основних параметрів механізмів БКВРМ. Визначено, що більшість складаються з послідовно з'єднаних елементів, мотор – редуктор – робоче обладнання. Зменшення кількості складових механізму і, як наслідок підвищення ефективності досягається - застосуванням НВГ. Високомоментні гідромотори серійного виробництва, радіально-поршневі, планетарні, гідрообертачі планетарного типу – об'єднані за наявності об'ємних втрат робочої рідини. Наявність об'ємних втрат робочої рідини підтверджує складність забезпечення стійкого обертання вихідного вала гідромотора без зниження рівня його ККД. Слід зазначити, що НВГ на базі гідроциліндрів, відрізняється від існуючих відсутністю об'ємних втрат рідини в гідроциліндрах та в системі управління – при застосуванні клапанної апаратури. Особливості гідромоторів нової конструкції дозволяють реалізовувати низькі оберти вала 0-1 об/хв. при значному ККД та, в деяких випадках, відмовитись від гальмівних пристроїв у складі механізмів.

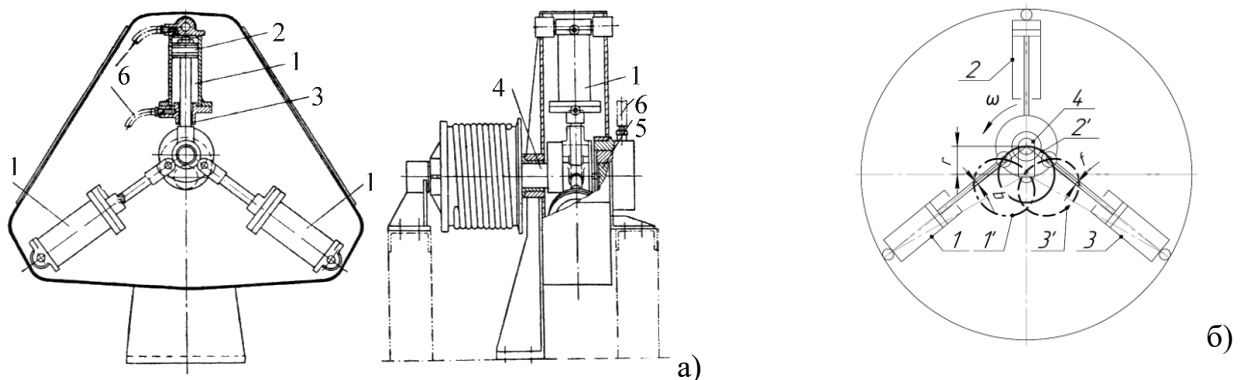


Рисунок 1 – Вантажопідйомний механізм з застосуванням НВГ на базі циліндрів (Вошинін Г.В. МАШГИЗ, 1954 р.): а – загальний вигляд; б – траєкторії руху

Схемне рішення НВГ на базі трьох циліндрів вантажопідйомного механізму, наведено на рис. 1. Аналіз траєкторії руху штоків циліндрів, показує, що у вигляді кола має циліндр 2, а у вигляді еліпсів у циліндрів 1 і 3 (рис.1, б), що обумовлює значну складність системи управління. Гідро-кінематичну схему НВГ на базі трьох циліндрів з використанням клапанного гідророзподільника для забезпечення управління рухом штоків циліндрів, наведено на рис. 2.

У цьому гідромоторі закріплення штоків забезпечується до окремих кривошипів. Траєкторії руху штоків циліндрів мають однаковий характер. У наведеному гідромоторі застосована система управління, що складається з фоточутливих елементів та диску з відповідними пазами, які відповідають циклу роботи циліндрів. Управління відбувається на основі застосування електричної системи яка функціонує завдяки сигналам від відповідних датчиків та застосування блока БУ рис. 2 б), створеного на базі зворотних клапанів з гідравлічним керуванням. У моторі, наведеному на рис. 2, живлення трьох циліндрів забезпечується від одного джерела.

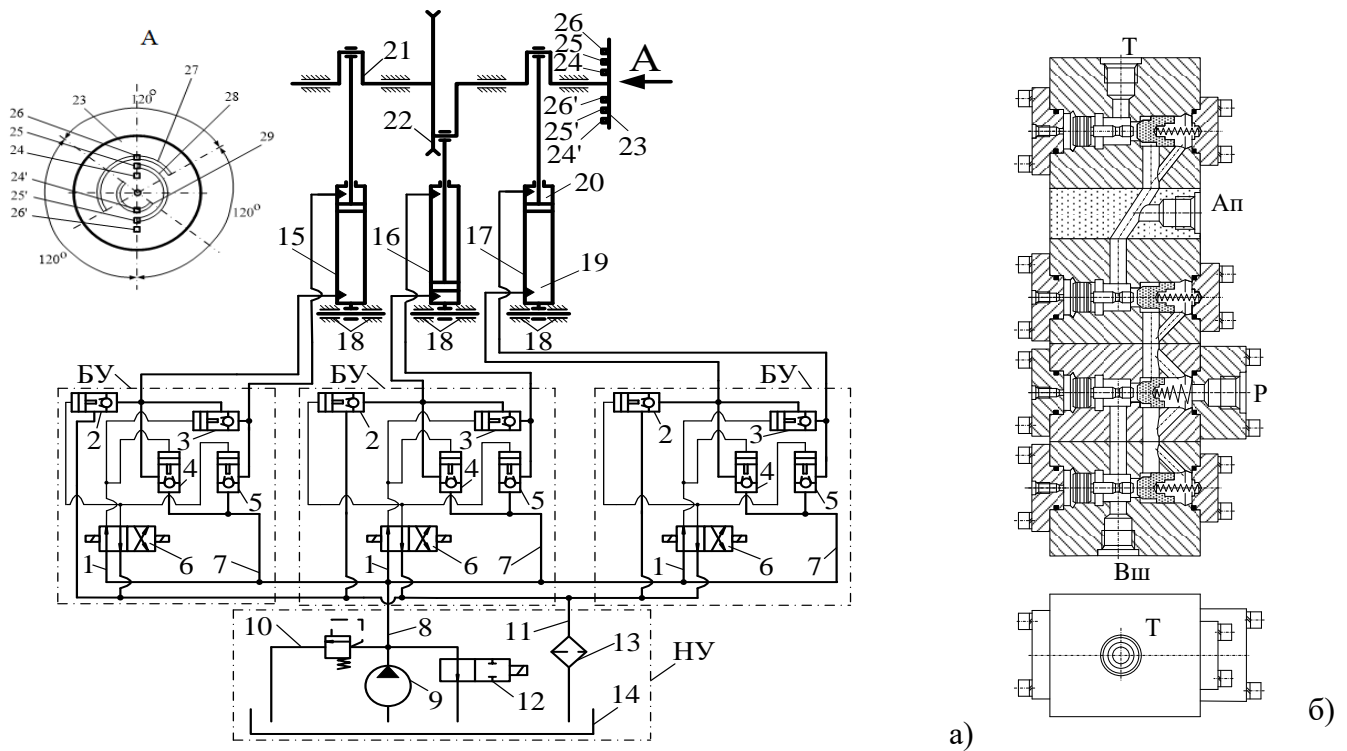


Рисунок 2 – НВГ на базі трьох циліндрів:

а) – пат. № 74601, (Ремарчук М.П. і інші, ХНАДУ, 2006 р.);

б) – БУ блок управління циліндрами (Висоцький Г.В. і Ремарчук М.П. вип. 30, т. 2, 2005 р.)

Циліндри в такому моторі повинні мати чіткі дотримання відношення діаметра штока до діаметра поршня на рівні 0,707 та включення, згідно рис. 2, за диференційною схемою при прямому рухові штока. Застосування вказаних параметрів циліндра та системи включення дозволяє використовувати лише 50 % корисної площини циліндрів, що є його недоліком

Для НВГ, наведеного на рис. 2, визначення діаметра поршня циліндра D визначається за залежністю

$$D = \sqrt[3]{\frac{240 \cdot 10^6 \cdot N_M}{\pi \cdot p_{\text{мн}} \cdot n_M \cdot Z \cdot kr \cdot \eta_{\text{ГМ}}}}, \quad (1)$$

де N_M - корисна потужність на валу гідромотора, кВт; $p_{\text{мн}}$ - тиск робочої рідини, МПа; n_M - частота обертання вихідного вала, об/хв.; Z - кількість гідроциліндрів гідромотора; $\eta_{\text{ГМ}}$ - гідромеханічний ККД гідромотора; kr - коефіцієнт зміни величини кривошипа.

Для механізмів з кривошипним валом, коефіцієнт величини кривошипа kr приймається в діапазоні 0,9...1,5 залежно від частоти обертання кривошипу.

Діаметр штока циліндра d у складі НВГ визначається за формулою

$$d = D \cdot \sqrt{2} / 2. \quad (2)$$

На підставі знання діаметра поршня та коефіцієнта зміни величини кривошипа, величина переміщення поршня циліндра S визначається за формулою

$$S = D \cdot kr. \quad (3)$$

Об'єм робочої камери гідромотора V_z на базі трьох циліндрів при виконанні ним прямого і зворотного напрямків руху штока з урахуванням того, що прямий рух забезпечується за диференційною схемою з'єднання порожнин циліндра, складає

$$V_z = (Z \cdot S \cdot (A_{np} + A_{зв})) / 1000, \quad (4)$$

де A_{np} , $A_{зв}$ - площа робочих порожнин циліндрів при прямому та зворотному рухові штока, та визначаються формулою:

$$A_{np} = A_{зв} = (\pi \cdot 0,707 \cdot D)^2 / 4 = \pi \cdot d^2 / 4. \quad (5)$$

Визначення ККД гідромоторів базується на науковому принципі розподілу енергії за схемами у вигляді послідовного, паралельного та змішаного з'єднання елементів.

Величина ККД для схеми (див. рис. 3а) розподілу енергії з паралельним включенням елементів як в окремій системі розраховується за формулою

$$\eta = \frac{N_k}{N_n} = \frac{\eta_1 \cdot N_1 + \eta_2 \cdot N_2 + \dots + \eta_n \cdot N_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} = \frac{\eta_1 \cdot N_1 + \eta_2 \cdot N_2 + \dots + \eta_n \cdot N_n}{N_n} \quad (6)$$

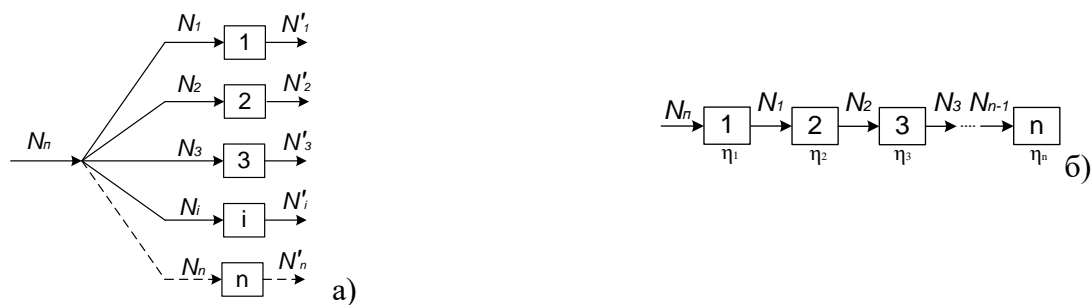


Рисунок 3 – Розподіл потужності в механізмах з різним схемним з'єднанням елементів:
а – паралельне з'єднання; б – послідовне з'єднання

Величина ККД для схеми (рис. 3, б) з послідовним включення елементів, як в окремій складній системі, розраховується за формулою

$$\eta = \frac{N_k}{N_n} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n. \quad (7)$$

З'єднання складових елементів у відомій системі НВГ (див. рис. 2) відносно з'єднань елементів системи, наведених на рис. 3, є змішаним, і тому при створенні нової конструкції мотора для визначення його загального ККД потребуються додаткові дослідження.

Другий розділ «Вибір методів дослідження НВГ на базі циліндрів».

2.1 На основі аналізу наукових джерел, що висвітлюють теорію поршневого насосів у них, зокрема наведено залежності для визначення закономірності переміщення поршнів, зміни їх швидкості та прискорення. При цьому встановлено, що подача робочої рідини від поршневого насоса складається з етапів всмоктування об'єму рідини і витискання її із порожнин кожного циліндра згідно із закономірністю рухів поршня. Це призводить до нерівномірності подачі рідини в напірній магістралі. Разом з тим, процес функціонування насосів на основі принципу зворотності збігається з характером роботи стандартних гідромоторів і на підставі цього теоретичні залежності, що притаманні для насосів можна застосувати для досліджень НВГ на базі циліндрів.

2.2 При розгляді будови як стандартних моторів, так і відомих НВГ на базі циліндрів, з'ясовано що до їх складу входять елементи, які з'єднані між собою послідовно та паралельно і цим самим створюють змішану схему з'єднання складових мотора. В структуру таких моторів входить основна підсистема (поршень – корпус або циліндри), розподільча підсистема (підведення

і злив рідини), дренажна підсистема (для НВГ – відсутня), вал мотора та його підшипники, які в цілому створюють відносно складну систему.

Визначення загального ККД для стандартних і створених моторів на базі циліндрів зі змішаною схемою з'єднання елементів у систему використана залежність, яка має вигляд

$$\eta_i = \frac{(N_{n_1} + N_{n_2} + \dots + N_{n_n}) \cdot \eta_1 \dots \eta_n}{N_{n_1} / (\eta_1' \dots \eta_n') + N_{n_2} / (\eta_1'' \dots \eta_n'') + N_{n_n} / (\eta_1^n \dots \eta_n^n)}, \quad (8)$$

та спрощено

$$\eta_i = \prod_i^n \eta_{i_n} \cdot \left(\sum_i^n N_{n_i} / \left(\sum_i^n \left(N_{n_i} / \prod_i^n \eta_i^j \right) \right) \right), \quad (9)$$

де $\prod_i^n \eta_i^j$ – добуток ККД елементів системи мотора до розгалуження потужності; $\sum_i^n N_{n_i}$ – сума

корисних потужностей на виході елементів в розгалуженнях; $\prod_i^n \eta_{i_n}$ – добуток ККД елементів мотора в розгалуженнях.

На підставі наведених вище формул, з урахуванням структурно-логічних схем моторів отримано залежності для визначення їхнього загального ККД. Зіставлення результатів визначення загального ККД за отриманою залежністю для стандартного гідромотора з його паспортним значенням дозволило виявити достатньо високу збіжність з похибкою не більше 10 %, що свідчить про достовірність отриманої залежності і дає підставу для отримання залежності для визначення загального ККД для НВГ на базі циліндрів.

Разом з тим, загальний ККД НВГ складається з добутку гідромеханічного та об'ємного ККД. Для циліндрів об'ємні втрати робочої рідини практично відсутні і тому ними можна знехтувати. Таким чином, можна записати, що

$$\eta_{заг} = \eta_{зм} \cdot \eta_{об} = \eta_{зм}, \quad (10)$$

оскільки, об'ємний ККД мотора складає величину $\eta_{об} = 1$.

На підставі виявлених особливостей будови НВГ на базі тільки трьох циліндрів та будови НВГ на базі трьох парно з'єднаних штоками циліндрів з урахуванням залежностей (8) або (9) і (10) можна визначити загальний ККД моторів на базі циліндрів.

2.3 Основні залежності для визначення параметрів мотора та циліндрів у складі НВГ базуються на системному підході, згідно з яким впливає закон рівності енергій з урахуванням загального ККД мотора. Математично його можна записати так

$$N_{II} = N_K / \eta_{заг}. \quad (11)$$

На основі закономірності (11) для відомої конструкції НВГ на базі циліндрів визначено параметри циліндрів залежності (1,...5), що свідчить про доцільність застосування цього закону при розробленні нових конструкцій НВГ на базі циліндрів.

2.4. Для забезпечення ефективної роботи мотора, тобто забезпечення стабільності обертового руху кожного із циліндрів НВГ вони потребують рівномірного розподілу гідравлічної енергії для кожного з них при дії змінних навантажень на вал мотора в складі механізмів БКВРМ. Однак для гідросистем досягти однакового за величиною підведення енергії для систем з кривошипним механізмом є складним. Тому для розгляду цього явища запропонована гіпотеза,

яка сприяє вирішенню цієї задачі і дослідженню цього процесу для забезпечення стабільності розподілу енергії при функціонуванні НВГ на базі циліндрів.

2.5. Основними типами з'єднання елементів сучасних гідросистем є трубне, стикове та модульне. Застосування зворотних клапанів, як показують відомі дослідження з трубним з'єднанням, також забезпечує процес скоординованого руху штоків циліндрів. Однак, такому з'єднанню притаманні значні гідромеханічні втрати. Зменшення цих втрат на основі застосування нових підходів до характеру з'єднання гідрозамків у системі НВГ сприяло б підвищенню загального ККД мотора.

Третій розділ «Теоретичні дослідження НВГ на базі циліндрів»

Створено вперше конструкцію НВГ на базі парної кількості циліндрів (рис. 4), при забезпеченні механічного з'єднання їх штоків і гідравлічного з'єднання їхніх різномірних робочих порожнин. Така конструкція дозволяє максимально використовувати робочі порожнини циліндрів. Зменшення відношення діаметрів штока до поршня дозволяє збільшити робочий об'єм гідромотора при незмінних габаритних розмірах.

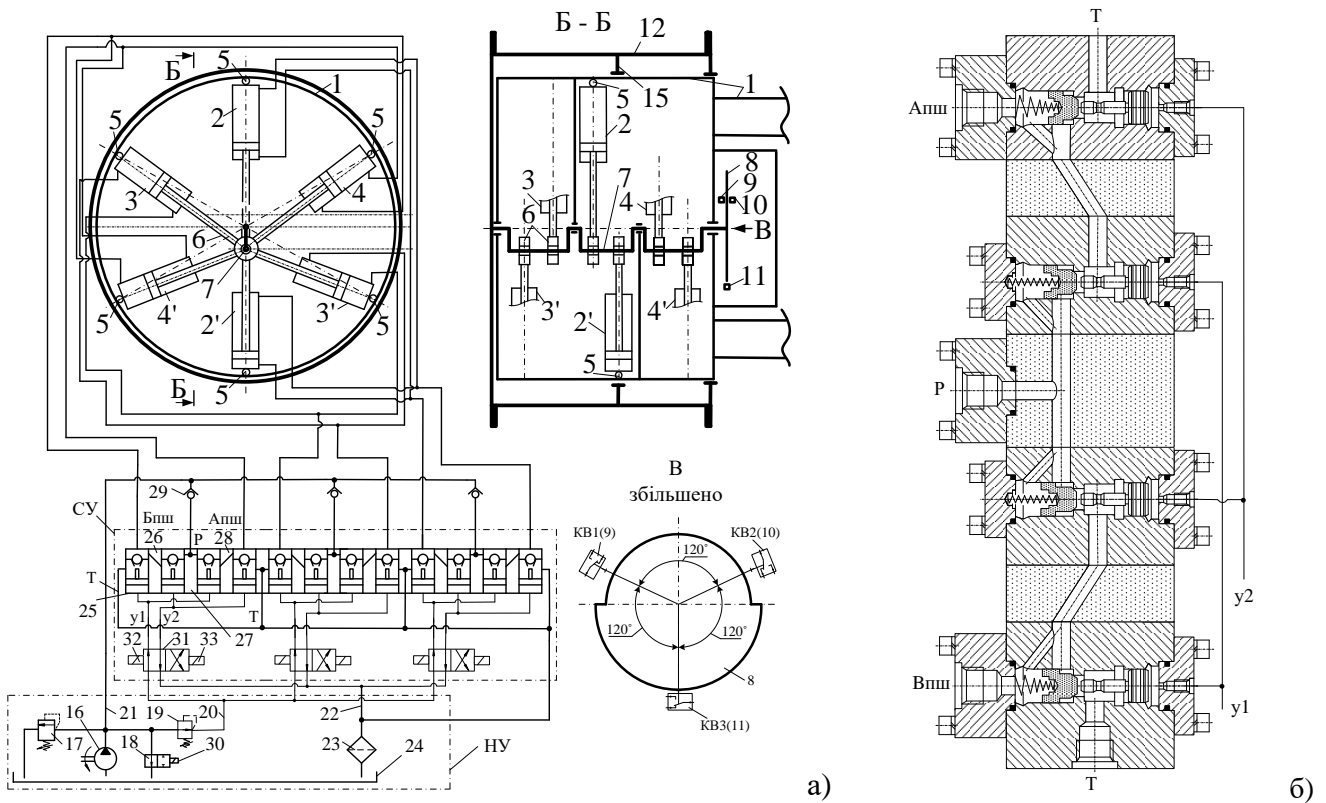


Рисунок 4 – НВГ з на базі трьох пар циліндрів:

а – гідрокінематична схема НВГ; б – конструктивне рішення складової СУ

Застосування стикового з'єднання між робочими поверхнями дванадцяти зворотних клапанів з гідроправлінням дозволило створити систему управління (СУ) циліндрами рис. 4 б. Така СУ дозволяє зменшити довжину трубопроводів у складі НВГ з парним включенням циліндрів, що призводить до пропорційного зменшення гідромеханічних втрат рідини.

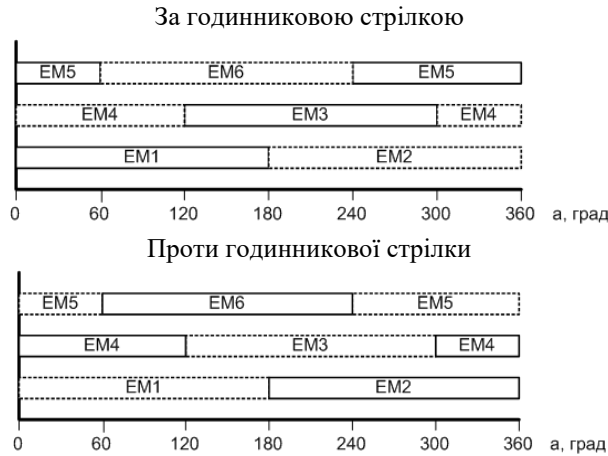


Рисунок 5 – Циклограми роботи циліндрів у складі НВГ за один оберт

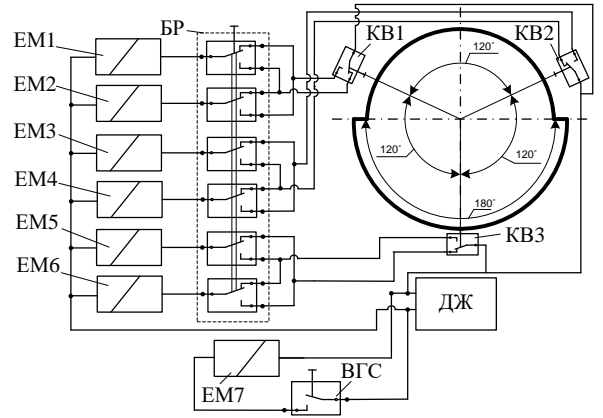


Рисунок 6 – Електрична схема системи управління НВГ на базі циліндрів

Для створеної циклограми роботи циліндрів (рис. 5) у складі мотора, розроблено електричну схему (рис. 6) для скоординованого руху штоків циліндрів при забезпеченні безперервного обертового руху вала та його реверсування.

Визначення основних параметрів циліндрів та гідромотора на базі трьох пар гідроциліндрів базується на принципі рівності потужності за формулою (11) з урахуванням будови мотора згідно структурно-функціональної схеми, наведеної на рис. 7.

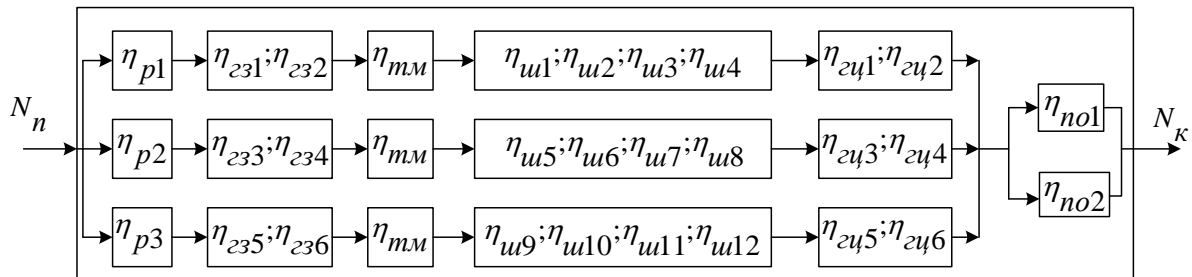


Рисунок 7 – Структурно-функціональна схема низькообертового високомоментного гідромотора на базі трьох пар циліндрів

При цьому враховуються особливості з'єднання складових елементів мотора в результаті чого згідно із структурною схемою підпадає під визначення загального ККД мотора згідно однією з формул (8) або (9). На підставі цих формул отримано вперше залежність для визначення загального ККД НВГ при використанні трьох пар циліндрів, яка має вигляд

$$\eta_{гм} = \left(\frac{(\eta_p \cdot \eta_{z3}^i \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_{ш}^{2j} \cdot \eta_{ц}^j)}{3} + \frac{(\eta_p \cdot \eta_{z3}^i \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_{ш}^{2j} \cdot \eta_{ц}^j)}{3} + \frac{(\eta_p \cdot \eta_{z3}^i \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_{ш}^{2j} \cdot \eta_{ц}^j)}{3} \right) \cdot \left(\frac{\eta_{no1} + \eta_{no2}}{2} \right), \quad (12)$$

де η_p – ККД одного золотникового розподільника; η_{z3} – ККД одного зворотного клапана з гідроправлінням (гідрозамок); i – кількість гідрозамків для управління однією парою гідроциліндрів, з'єднаних механічно штоками один з одним, $i=2$; j – параметр, що враховує механічне з'єднання штоків і одночасно гідравлічне з'єднання їхніх різноіменних порожнин, $j=2$;

η_{zu} – гідромеханічний ККД циліндра; η_{mm} – ККД трубопроводу на ділянці управління паром циліндрів, з'єднаних штоком один з одним; η_{uu} – ККД шарнірів, що забезпечують з'єднання циліндрів у складі НВГ; η_{no} – ККД підшипників, розташованих на кривошипному валу гідромотора.

На підставі отриманої залежності (12) можна визначати також загальний ККД НВГ з використанням з'єднання тільки трьох циліндрів у складі мотора. Величина загального ККД за залежністю (12) для трьох пар циліндрів складає $\eta_{zm}^6 = 0,74$. Для НВГ, у складі якого три циліндри, величина загального ККД за залежністю (12) складає $\eta_{zm}^3 = 0,79$.

Використовуючи залежності (9) і (12) визначено вперше діаметр поршня циліндрів D_n з механічним з'єднанням їхніх штоків і гідравлічним з'єднанням їхніх різнойменних порожнин у складі гідромотора за формулою, мм,

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{120 \cdot 10^6 \cdot N_\kappa}{\pi \cdot (j - \varepsilon^2) \cdot P \cdot n_m \cdot Z \cdot kr \cdot \eta_{zm}}}, \quad (13)$$

де N_κ – потужність корисна на валу гідромотора, кВт; P – тиск в гідросистемі, МПа; n_m – частота обертання вихідного вала гідромотора, об/хв.; Z – кількість пар циліндрів; ε – коефіцієнт відношення діаметра штока до діаметра поршня, і приймається в діапазоні 0,3 ... 0,95.

Діаметр штока циліндра d визначається формулою, мм,

$$d = D_n \cdot \varepsilon. \quad (14)$$

Величина переміщення S поршня циліндра визначається за формулою (3).

Об'єм робочої камери V_κ НВГ на базі трьох пар циліндрів, см³/об,

$$V_{\kappa n} = \left(\frac{\pi D_n^2}{4} (k_n - \varepsilon^2) \cdot Z \cdot k_n \cdot S \right) / 1000. \quad (15)$$

За результатами розрахунку можна перевірити отримані величини, що прийняті як відомі за такими залежностями:

- крутний момент на валу гідромотора, Нм,

$$M_{kp} = \frac{V_{\kappa n} \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot 1000}; \quad (16)$$

- потужність на валу гідромотора, кВт,

$$N_\kappa = \frac{V_\kappa \cdot P \cdot n_m}{60000}. \quad (17)$$

На основі теоретичних досліджень встановлено закономірності:

- зміни тиску рідини в напірній магістралі P_n гідромотора від положення кривошипа визначаються за формулою, МПа,

$$P_n = (2 \cdot N_\kappa) / (V_{\kappa n} \cdot D_n \cdot \left| \sin \alpha + \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \right|) \quad (18)$$

- зміни частоти обертання n_{mn} вихідного вала НВГ на базі циліндрів визначається, об/хв,

$$n_{mn} = Q_m \cdot \left| \left(\sin \alpha + \sin \left(\alpha + \frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left(\alpha + \frac{4\pi}{3} \right) \right) \right| / (V_{kn} \cdot k_{kd}). \quad (19)$$

Отримані залежності (18) і (19) дозволяють визначити характер зміни тиску рідини та частоти обертання в залежно від положення вала НВГ на базі циліндрів.

Четвертий розділ «Експериментальні дослідження НВГ на базі циліндрів».

Враховуючи подібність закономірностей функціонування моторів з трьома циліндрами та трьома парами циліндрів, для експериментальних досліджень прийнято моделі з трьома циліндрами. Робота циліндрів у складі мотора передбачає їх роботу тільки поршневої порожнини.

4.1 Прийнято допущення, що характер зміни сили струму електричної системи живлення подібний до характеру зміни тиску рідини в гідравлічній системі. На цій основі застосовані електроциліндри для моделі НВГ. Створено модель НВГ (рис. 8), система управління циліндрами, встановлені датчики та застосовано комп'ютерні прилади для обробки сигналів датчиків.

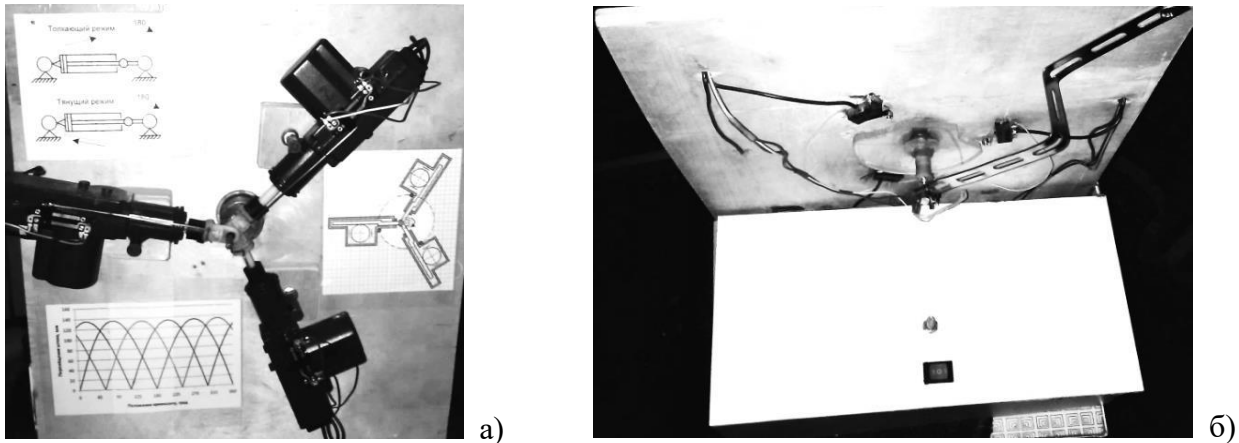


Рисунок 8 – Модель мотора на базі електроциліндрів:
а – головний вигляд; б – вигляд системи управління з протилежної сторони

Результати показують зменшення максимальних значень сили струму та, як наслідок, зменшення загальної величини енергії, яка витрачається на 20 %, що показують графіки на рис. 12.

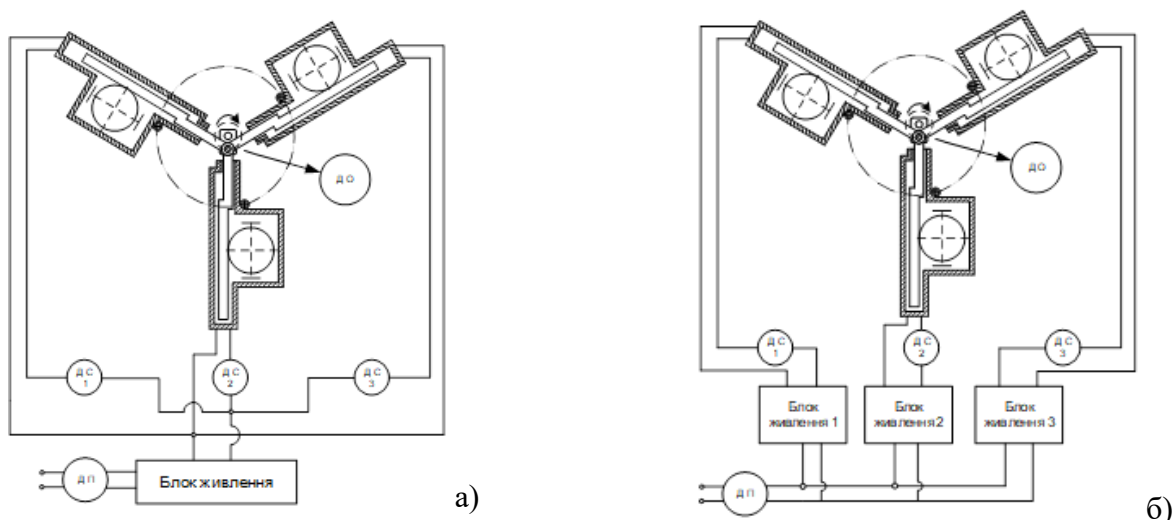


Рисунок 9 – Електромеханічна схема мотора на базі електроциліндрів при застосуванні:
а – одного джерела живлення; б – трьох джерел живлення

Дослідження моделі, згідно схеми (рис 9 а), підтвердили теоретичні закономірності переміщення штоків, (рис. 10). Отримано характер зміни сили струму (рис. 11, а), що показує взаємозалежність роботи циліндрів у складі НВГ, при застосуванні загального джерела живлення. На цій основі запропоновано гіпотезу про доцільність застосування індивідуального джерела живлення кожного циліндра. Для підтвердження запропонованої гіпотези створено та досліджено роботу моделі з застосуванням індивідуальних джерел живлення циліндрів (рис. 9, б).

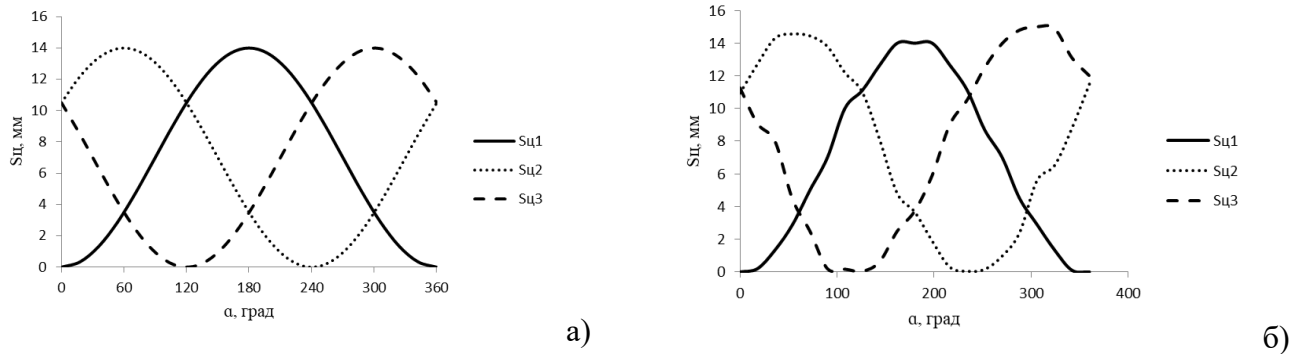


Рисунок 10 – Закономірності переміщення штоків циліндрів у складі НВГ в залежності від кута положення його вала: а – теоретичні; б – експериментальні

Застосування окремих блоків живлення для кожного циліндра виключає взаємовплив їх роботи у складі мотора, та зменшує загальний рівень споживання енергії. Результати дослідження функціонування створеної моделі показали діапазон частоти обертання вихідного вала 120-500 об/хв, що не дозволяє виявити закономірності роботи при незначній частоті обертання.

4.2 На основі отриманих результатів дослідження моделі на базі електроциліндрів створено модель мотора на базі циліндрів з пневматичним джерелом енергії (рис. 13) для дослідження нерівномірності частоти обертання вала та пульсацій тиску. Основні результати дослідження показали значну зміну тиску повітря, підтвердили взаємозалежність роботи циліндрів та нерівномірність обертання вихідного вала. Встановлення регуляторів тиску повітря для кожного циліндра призводить до зменшення взаємовпливу при їх роботі, дає змогу зменшити рівень зміни тиску повітря та підвищити рівномірність обертання вала.

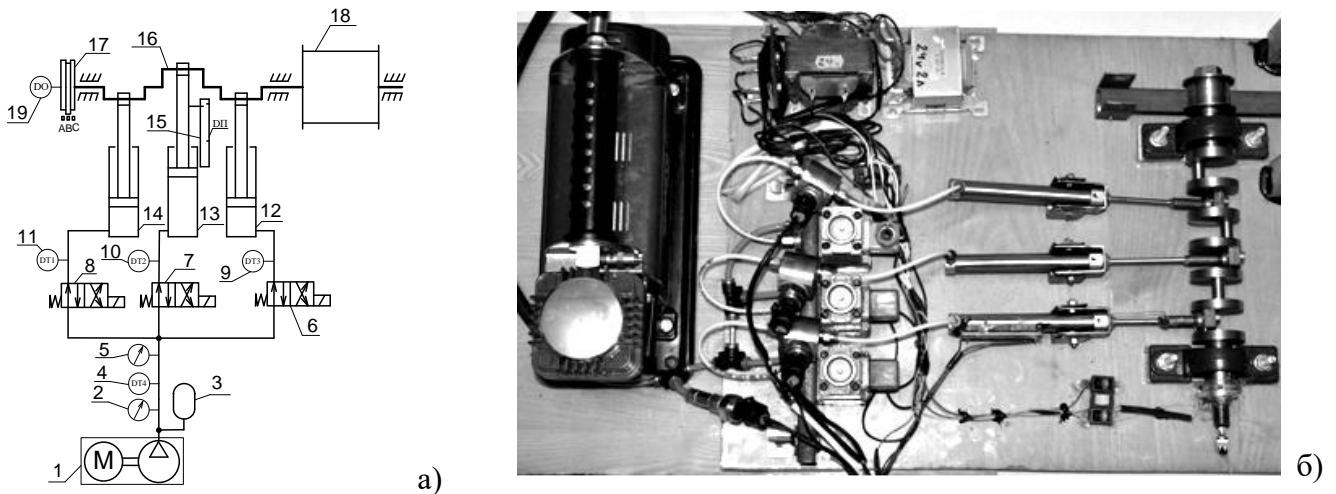


Рисунок 13 – Мотор на базі циліндрів з пневматичним джерелом енергії: а – пневмокінематична схема; б – загальний вигляд

Результати експериментальних досліджень функціонування моделі мотора на базі циліндрів з пневматичним джерелом енергії подано на рис. 14 і рис. 15.

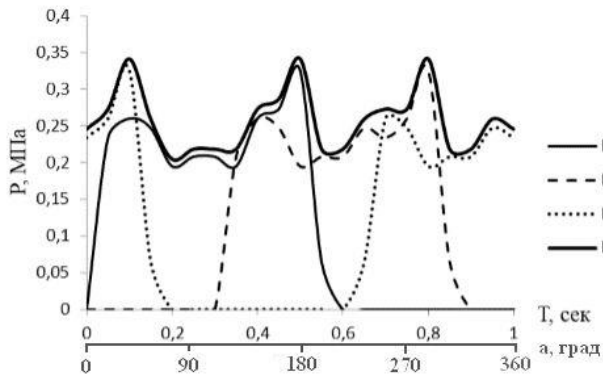


Рисунок 14 – Характер зміни тиску повітря від положення вала

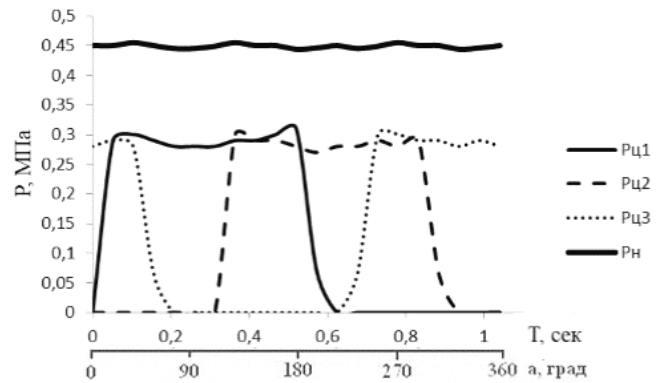


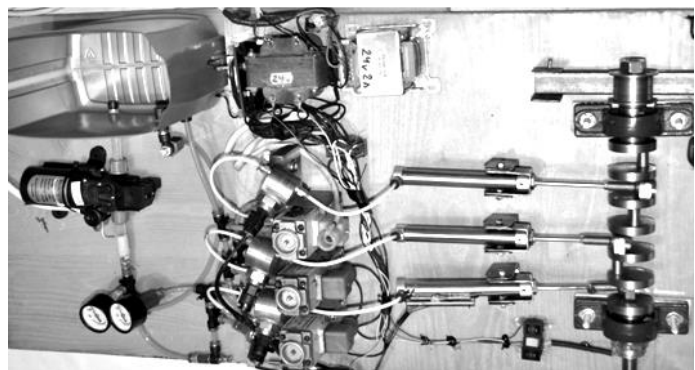
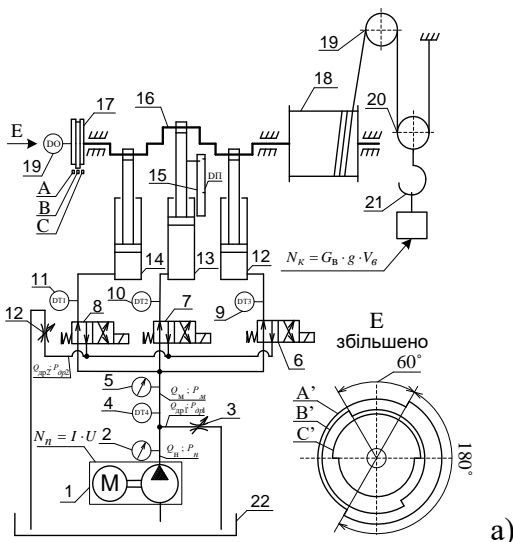
Рисунок 15 – Характер зміни тиску повітря з індивідуальними регуляторами

Застосування повітря для функціонування створеної моделі НВГ на базі циліндрів перешкоджає реалізації низьких обертів вала, мінімальна частота обертання вала складає 60 об/хв.

4.3 Створено модель НВГ на базі циліндрів з гідравлічним джерелом енергії рис. 16. Результати дослідження її функціонування виявили діапазон стійких обертів вала 1-70 об/хв.

Враховуючи складність реалізації розподілення потоків робочої рідини на три незалежні, створено гідравлічну схему, яка дозволяє зменшити взаємовплив роботи циліндрів у складі НВГ, шляхом створення тиску підпору в його зливній магістралі.

Експериментально підтверджено, що управління дросельним пристроєм в зливній магістралі значно зменшує взаємовплив роботи циліндрів при створенні тиску підпору. При цьому змінюється характер зміни тиску в напірній магістралі та рівномірність обертання вихідного вала. Характер зміни тиску рідини в напірній магістралі НВГ та циліндрах зображено на рис. 17.



б)

Рисунок 16 – Мотор на базі циліндрів з гідравлічним джерелом енергії: а – гідрокінематична схема; б – загальний вигляд

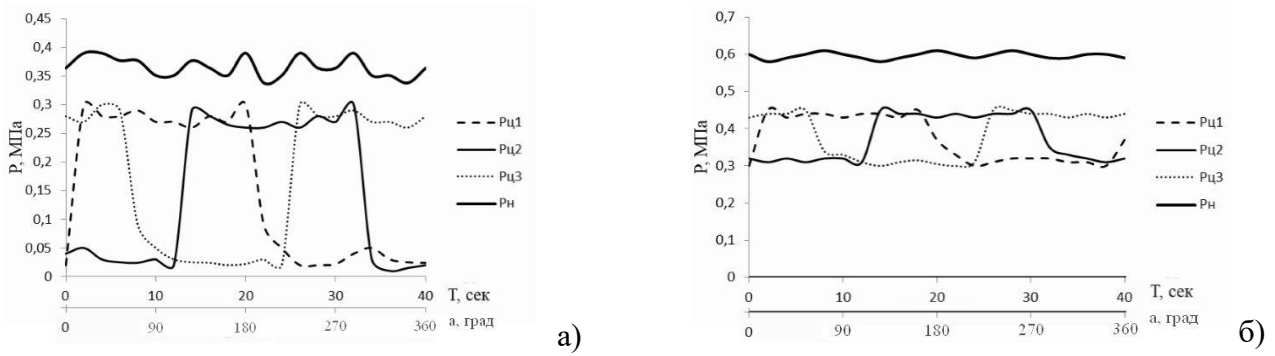


Рисунок 17 – Характер зміни тиску рідини в напірній магістралі та циліндрах при застосуванні дросельного пристрою: а – в напірній магістралі; б – в зливній магістралі

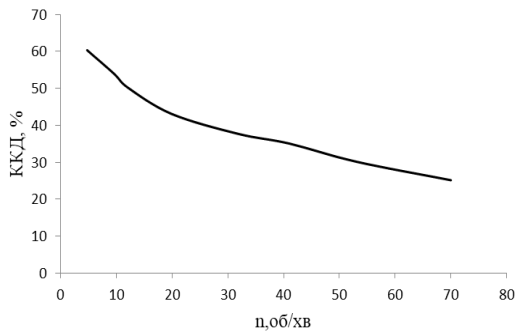


Рисунок 18 – Характер зміни ККД гідромотора від частоти обертів вала

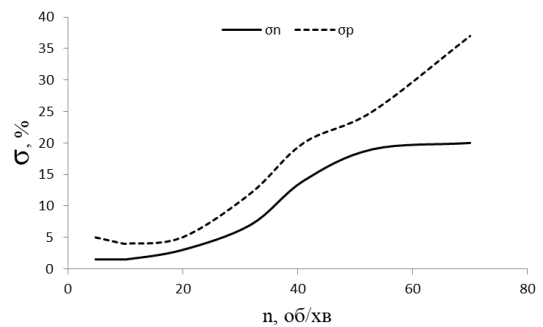


Рисунок 19 – Характер нерівномірності частоти обертів та тиску рідини від частоти обертів вала

Дослідження роботи моделі мотора у складі вантажопідйомного механізму дозволили визначити характер зміни ККД моделі НВГ від частоти обертання вала (рис. 18). Характер зміни нерівномірності обертів та тиску рідини в напірній магістралі при зміні частоти обертання вала наведено на рис. 19.

П'ятий розділ «Розрахунок економічної ефективності від застосування НВГ на базі циліндрів».

Для оцінки ефективності від застосування НВГ використаний вантажопідйомний механізм мостового крана, для якого кінематична і функціональна схеми, наведено на рис. 20.

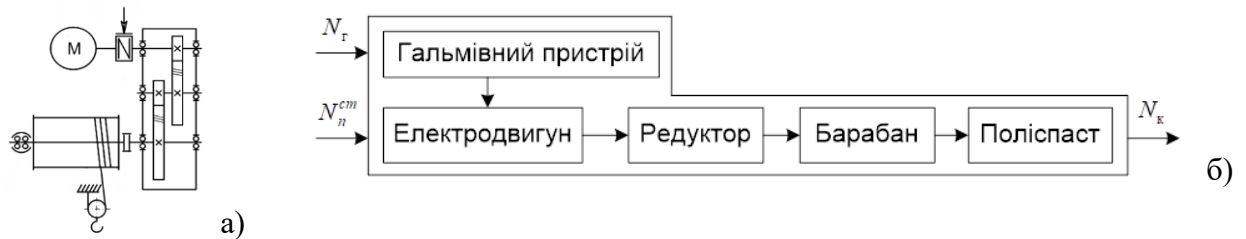


Рисунок 20 – Вантажопідйомний механізм мостового крана: а – кінематична схема; б – структурно-функціональна схема

При застосуванні системного підходу з урахуванням рівності енергій та знання складових ККД механізму з урахуванням структурно-функціональної схеми (рис. 20, б), визначено загальний ККД механізму базової конструкції, яка за розрахунком складає $\eta_{заг}^{cm} = 0,45$.

Використовуючи теоретичні дослідження, запропоновано вперше структурно-функціональну схему вантажопідйомного механізму із застосуванням НВГ (рис. 21). Такий НВГ, створено з запровадженням зворотних клапанів з електрогідроправлінням, застосуванням яких дозволяє в ряді випадків відмовитись від застосування гальмівного пристрою. Таким чином, кінематичні схеми нового вантажопідйомного механізму із застосуванням НВГ відрізняються наявністю і відсутністю гальмівного пристрою (рис. 22). Загальний ККД таких механізмів при наявності гальмівного пристрою, складає $\eta_{заг}^{м6} = 0,49$, при його відсутності – $\eta_{заг}^{м6.1} = 0,54$.

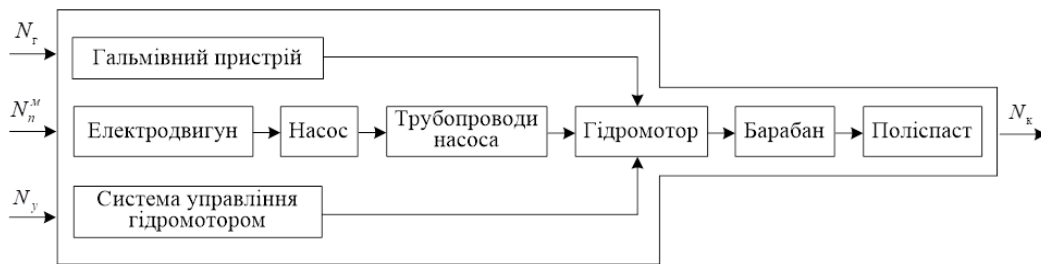


Рисунок 21 – Структурно-функціональна схема вантажопідйомного механізму крана з гальмівним пристроєм

Доцільність застосування нової конструкції механізму крана з НВГ в порівнянні з базовою конструкцією механізму визначається при порівнянні отриманих величин їх загальних ККД.



Рисунок 22 – Вантажопідйомний механізм з застосуванням НВГ:

а – з гальмівним пристроєм, $\eta_{заг}^{м6} = 0,49$; б – без гальмівного пристрою, $\eta_{заг}^{м6.1} = 0,54$

За результатами порівняння загальних ККД механізмів, економія електроенергії при застосуванні механізму з НВГ для варіантів з гальмівним пристроєм та без нього, складає величину 1632 кВт/р. і 3552 кВт/р., відповідно. На підставі отриманих результатів економії електроенергії та знання її вартістю на 2019 р. визначено максимальну економію коштів в грошовому еквіваленті, яка складає 9057,6 грн/р. Термін окупності вантажопідйомного механізму при застосуванні НВГ на базі циліндрів складає 6 років.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-практичної задачі, а саме, зменшення неефективних втрат в структурі механізмів БКВРМ. Досягнуто рішення задачі шляхом розробки теорії проектування НВГ на базі циліндрів з визначенням їх основних параметрів при механічному з'єднанні штоків і гідравлічному з'єднанні їх різнойменних робочих порожнин та створення системи управління скоординованим рухом штоків циліндрів для отримання прямого та зворотного обертового руху вала НВГ.

Основні результати і висновки з даної роботи наступні:

1. Аналіз конструктивних рішень НВГ на базі циліндрів показав, що в 1954 р. був розроблений мотор на базі трьох циліндрів для привода вантажного механізму. Такий механізм наведено без застосування редуктора, гальмівного пристрою, гідравлічної схеми та системи управління циліндрами. До подібного рішення відноситься конструкція мотора на базі трьох циліндрів (патент № 74601 2006 р.). Конструкції моторів на базі циліндрів повинні працювати при дотриманні, рівності швидкості руху штоків та здатних передавати своїми штоками однакових зусиль при виконанні ними прямих і зворотних рухів. Для дотримання вказаних вище умов, для таких моторів, необхідно забезпечити відношення діаметра штока до діаметра поршня рівним 0,707.

2. Вперше встановлено залежність для визначення загального ККД НВГ на базі гідроциліндрів як системи, що базується на основі системного підходу. Користуючись теоретичними знаннями, що базуються на послідовному та паралельному схемному з'єднанні складових елементів у систему, створено структурно-функціональну схему НВГ на базі циліндрів. Отримано змішану схему з'єднання елементів системи НВГ, яка дозволила отримати залежність для визначення загального ККД з урахуванням знання відомої корисної потужності на валу мотора. Вперше запропоновано залежність для визначення діаметра поршня гідроциліндрів у складі НВГ, яка враховує корисну потужність на його валу, ККД гідромотора, частоту його обертання та гідравлічне з'єднання різнойменних порожнин циліндрів.

3. Застосування стикового з'єднання послідовно дванадцяти зворотних клапанів з гідравлічним управлінням робочими поверхнями з додатковими проміжними вставками згідно створеної гідравлічної схеми мотора дозволило вперше створити СУ НВГ на базі циліндрів, що дало змогу зменшити гідромеханічні втрати в гідросистемі мотора пропорційно зменшенню загальної довжини трубопроводів.

4. Застосування механічних кінцевих перемикачів разом з одним ексцентриковим кулачком, форма якого відповідає режимам роботи циліндрів рівномірно розміщених по колу, дозволило реалізувати безперервний обертовий рух вихідного вала мотора. Створена електрична схема системи скоординованого руху штоків циліндрів дала змогу визначати напрям обертового руху до його початку та забезпечити сталий обертовий рух вала НВГ.

5. Теоретичні дослідження закономірностей руху штоків циліндрів для варіантів конструкцій мотора на базі трьох циліндрів і на базі трьох пар циліндрів показали однакові результати. Тому фізичне моделювання та експериментальні дослідження виконано із застосуванням трьох циліндрів при включенні поршневих порожнин.

5.1 Результати досліджень функціонування моделі з застосуванням електроциліндрів показали зниження рівня споживання енергії мотором при застосуванні індивідуальних джерел живлення циліндрів на 20 % на відміну від застосування загального джерела живлення.

5.2 Застосування індивідуальних регуляторів тиску для живлення пневмоциліндрів дозволили виключити пульсації тиску в напірній магістралі. Нерівномірність частоти обертання вала з застосуванням індивідуальних регуляторів тиску змінюється в діапазоні 10 – 18 % відповідно зміни діапазону частоти обертання вала 60 – 150 об/хв.

5.3 Дослідження моделі мотора на базі гідроциліндрів в діапазоні частоти обертання вала 1–70 об/хв виявили ефективне застосування дроселя в зливній магістралі, за допомогою якого

відбувається управління частотою обертання. Пульсації тиску робочої рідини в напірній магістралі майже відсутні і складають 2 %.

6. Застосування та дослідження моделі мотора на базі гідроциліндрів у складі вантажопідйомного механізму дозволили визначити залежність зміни його ККД від частоти обертання вала.

Для вантажопідйомного механізму запропоновано залежності для визначення загального ККД для базової та нової конструкції з застосуванням НВГ на базі циліндрів. Величина максимальної економії електроенергії складає 3552 кВт/р., у грошовому еквіваленті 9057,6 грн/р. відповідно до вартості електроенергії на 2019 р.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Ремарчук М.П. Гідромотор-колесо механізму переміщення трактора, створений на базі силових гідроциліндрів / М.П. Ремарчук, С.І. Овсянніков, А.П. Холодов, Я.В. Чмуж, Т.Т. Байрамашвілі // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 94. – С. 353-357.

2. Ремарчук М.П. Енергозбереження в гідросистемі бульдозера / М.П. Ремарчук, А.П. Холодов, Я.В. Чмуж, Т.Т. Байрамашвілі // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 94. – С. 385-392.

3. Ремарчук М.П. Створення гідромоторів на основі використання стандартних силових гідроциліндрів / М.П. Ремарчук, А.П. Холодов, Я.В. Чмуж, Т.Т. Байрамашвілі // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 57. – С. 430-434.

4. Ремарчук М. П. Надійність силових передач механізмів переміщення самохідних машин в залежності від величини ККД / М.П. Ремарчук, А.П. Холодов, Я.В. Чмуж, Т.Т. Байрамашвілі // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 100. – С. 191-196.

5. Ремарчук М.П. Удосконалення схеми підключення силових гідроциліндрів в складі високомоментних гідромоторів / М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж, С.І. Овсянніков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 58. – С. 147-151.

6. Ремарчук М.П. Підвищення показників функціонування високомоментного гідромотора для приводу механізмів машин / М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж, С.І. Овсянніков, Ю.В. Рижков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 111. – С. 17-23.

7. Ремарчук М.П. Енергозбереження в гідравлічних приводах мобільних і стаціонарних технічних систем / М.П. Ремарчук, С.І. Овсянніков, Я.В. Чмуж, С.В. Воронін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 136. – С. 97-106.

8. Ремарчук М.П. Методологія проектування гідравлічного приводу на основі застосування системного аналізу / М.П. Ремарчук, А.О. Задорожній, Я.В. Чмуж // «Східно-європейський журнал передових технологій» 2017р. № 2/7(86). – С. 42-50 (SCOPUS).

Публікації апробаційного характеру:

9. Ремарчук М.П. Створення високомоментного гідромотора на базі силових гідроциліндрів / М.П. Ремарчук, С.В. Воронін, С.І. Овсянніков, Я.В. Чмуж // X міжвузівська науково-практична конференція «Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій» (м. Харків, 9 грудня, 2011 р.). – Харків: НУЦЗУ, 2011. – С. 32-33.

10. Ремарчук М.П. Визначення загального коефіцієнта корисної дії технічних систем / М.П. Ремарчук, С.В. Воронін, С.І. Овсянніков, Я.В. Чмуж // XI міжвузівська науково-практична конференція «Можливості використання методів механіки для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій» (м. Харків, 7 грудня, 2012 р.). – Харків: НУЦЗУ, 2012. – С. 44-46.

11. Чмуж Я.В. Дослідження роботи тихохідного мотору на базі електроциліндрів для механізмів оборонної техніки / Я.В. Чмуж // Міжвузівська конференція «Національна академія Національної гвардії України» (м. Харків, 30 квітня, 2015 р.). – Харків: НАНГУ, 2015. – С. 9-10.

12. Ремарчук М.П. Розробка системи управління гідравлічним мотором на основі результатів дослідження роботи мотора на базі електроциліндрів / М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж // XVI Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка та пневматика» Матеріали конференції. м. Суми, 14-16 жовтня, 2015 р. – Суми, СДУ, 2015 р. – С. 73-74.

13. Чмуж Я.В. Удосконалення поршневих насосів для подачі забруднених і агресивних рідин / Я.В. Чмуж, М.П. Ремарчук, Р.А. Бережний // Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (м. Харків, 4 грудня 2015 р.). – Харків: НУЦЗУ, 2015. – С. 19-21.

14. Ремарчук М.П. Моделювання працездатності гідромотора на базі трьох електроциліндрів. / М.П. Ремарчук, С.В. Воронін, Я.В. Чмуж // Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування : II міжнародна науково-технічна конференція 15-16 листопада 2016 р. : збірник тез доповідей. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2016. – С. 24.

15. Ремарчук М.П. Проектування гідроприводу в складі різних за призначенням машин / М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж, А.О. Задорожній // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Вінниця 3-6 жовтня, 2017 р.). – Вінниця, 2017. – С. 117.

16. Ремарчук М.П. Вплив вібрації на працездатність машин з поступальним і обертовим рухом їх механізмів / М.П. Ремарчук, А.О. Задорожній, Я.В. Чмуж // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях» Вінницький національний технічний університет (м. Вінниця 26-27 жовтня 2017 р.) – Вінниця, 2017. – С. 86-87.

17. Чмуж Я.В. Моделювання та оптимізація параметрів високомоментного мотора для механізмів військової техніки / Я.В. Чмуж // Науково-практична конференція «Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів» Національна академія Національної гвардії України (м. Харків, 26 жовтня, 2017 р.). – м. Харків, 2017р. – С. 146-148.

АНОТАЦІЯ

Чмуж Я. В. «Обґрунтування параметрів низькооберткових високомоментних гідромоторів створених на базі циліндрів» - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.17 – Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Сумський державний університет, Суми 2019 р.

Вирішено важливе науково-практичне завдання: обґрунтування параметрів низькообертових високомоментних гідромоторів на базі циліндрів.

Робочі процеси механізмів БКВРМ потребують реалізації обертового руху робочого обладнання з низькою частотою, від 0–1 об/хв. і більше. Застосування стандартних моторів потребує додатково використовувати редуктори, а в деяких випадках і гальмівні пристрої. Застосування в механізмах машин таких гідромоторів є неефективним рішенням, що підтверджується низьким рівнем ККД таких механізмів. Аналіз НВГ серійного виробництва виявив також складність реалізації низької частоти обертів, що пов'язано з нестійким режимом роботи через наявність об'ємних втрат робочої рідини в стандартних гідромоторах.

Застосування НВГ на базі силових циліндрів дозволяє реалізувати оберти вихідного вала від 0–1 об/хв. і більше, і відмовитись від редукторів, а в деяких випадках – від гальмівних пристроїв. Аналітичний огляд НВГ на базі циліндрів показав відсутність реалізації таких моторів. Вирішення питання реалізації досягається шляхом фізичного моделювання НВГ на базі електро-, пневмо- та гідроциліндрів.

Експериментальні дослідження моделі на базі електроциліндрів дозволили виявити взаємовплив роботи циліндрів при роботі від загального джерела живлення. Застосування індивідуальних джерел живлення дало змогу виключити взаємовплив роботи циліндрів, і як наслідок знизити на 20 % споживану потужність. Базуючись на результатах експериментальних досліджень моделі із застосуванням електроциліндрів, створено моделі моторів на пневмоциліндрах та гідроциліндрах. Розроблені моделі моторів дозволили підвередити сформульовані гіпотези та запропонувати схемні рішення для якісного функціонування НВГ. Дослідження моделі НВГ на базі гідроциліндрів у складі вантажопідйомного механізму дали змогу експериментально визначити його ККД у цілому та ККД створеної моделі мотора. На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо застосування створених НВГ.

Ключові слова: гідромотор, модель, електроциліндри, пневмоциліндри, гідроциліндри, система живлення, рівномірність тиску, рівномірність обертання.

ABSTRACT

Chmuzh Ya.V. Substantiation of the parameters of low-speed high-torque hydraulic motors based on cylinders. – Manuscript.

The thesis for a Candidate degree in Engineering Sciences in Speciality 05.05.17 – Hydraulic Machines and Hydraulic Pneumatic Units.– Sumy State University, 2019.

The study deals with a solution to the theoretical and practical problem of parameter substantiation for low-speed high-torque (LSHT) hydraulic motors based on cylinders.

Working processes running in the mechanisms of building, track, loading and unloading machines require a low rotation frequency of over 0-1 rev/min for the working equipment. Standard motors require drive units, and sometimes braking units. But the use of such hydraulic motors in machine mechanisms is not effective; it is confirmed by a low performance ratio of these mechanisms. The analysis of serial LSHT motors demonstrated complexity of realization of low-frequency rotation due to an unstable working mode through considerable losses of the operating fluid in standard hydraulic motors.

The use of LSHT motors based on power cylinders allows realizing an output shaft frequency of over 0-1 rev/min and rejecting reduction, and sometimes braking units. An analytical review of LSHT motors based on cylinders showed that the motors are not used. The problem is solved with the physical modelling of LSHT models based on electric, pneumatic and hydraulic cylinders.

The experimental research into the model based on electric cylinders made it possible to reveal interference of the cylinders supplied from a single power supply source. The use of individual supply sources excluded cylinder interference, and therefore the power supplied was decreased by 20%. And motor models on pneumatic and hydraulic cylinders were designed on the basis of the results obtained in experiments with electric cylinders. The models designed confirmed the preconceived hypothesis and proposed schematic solutions for effective operation of LSHT hydraulic motors. Research into the LSHT model based on the hydraulic cylinders in a load lifting mechanism made it possible to define its total efficiency and the efficiency of the model motor designed. Due to the results obtained, the recommendations on implementation of LSHT motors were developed.

Keywords: hydraulic motor, model, electric cylinders, pneumatic cylinders, hydraulic cylinders, power supply system, uniform pressure, uniform rotation.

Підписано до друку 15.11.2019.
Формат 60x84/16. Обл.-вид. арк. 0,9.
Гарнітура Times. Тираж 100 пр. Вид. № 53.

Надруковано з макету замовника у Центрі оперативної поліграфії «Скан+»
Україна, 61003, м. Харків, пр. Московський 10/12, тел. (057) 719-98-31
Код ЄДРПОУ 2542520668