ВІДГУК

офіційного опонента Кондуся Владислава Юрійовича
на дисертаційну роботу Панченка Ігоря Анатолійовича
“Особливості розрахунку та проєктування систем роторів планетарних гідромоторів”,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми.

Сучасні тенденції розвитку самохідної техніки значною мірою пов’язані з підвищенням рівня гідрофікації як робочих органів, так і ходових систем. У зв’язку з цим актуальним є пошук конструктивних рішень для створення нових об’ємних гідромашин та вдосконалення наявних зразків. Основні напрями таких розробок охоплюють спрощення конструкції та технології виготовлення при мінімальних витратах, створення високомоментних низькообертових гідромоторів з невеликою швидкістю відносного переміщення робочих елементів і високою навантажувальною здатністю, а також забезпечення надійності, високого ККД і компактності гідромашин.

У силових гідроприводах самохідної техніки найбільшого поширення набули планетарні гідромашини, робота яких базується на принципі планетарного редуктора. До цього класу належать, зокрема, орбітальні, героторні та геролерні гідромашини. Значну нішу в практичному застосуванні займають планетарні гідромотори з циклоїдальним зачепленням, що використовуються у приводах мобільної, дорожньо-будівельної, комунальної техніки, спеціальних машин, роботизованих платформ і техніки подвійного призначення. Їх популярність пояснюється поєднанням компактності, високого питомого крутного моменту, стійкості до перевантажень і здатності стабільно працювати у важких умовах експлуатації.

Важливим конструктивним елементом планетарних гідромашин є система роторів, що формує робочі камери. Від точності її геометрії, якості виготовлення, ступеня зносу та взаємного розташування роторів безпосередньо залежать об’ємний коефіцієнт корисної дії, стабільність крутного моменту, частота обертання, рівномірність подачі робочої рідини та рівень вібрацій. Особливу роль відіграє діаметральний зазор між роторами – проміжок між протилежними зубцями у зоні кінематичного зчеплення. Його зміна під час експлуатації, зумовлена як виробничими відхиленнями, так і зносом, призводить до коливань об’єму робочих камер, порушення контактної геометрії та нестабільності навантаження, що в підсумку знижує ефективність роботи гідромотора.

При цьому більшість наявних математичних моделей, що описують роботу планетарних гідромашин, враховують зазначені фактори лише частково або з використанням суттєвих наближень. Переважно увагу дослідників зосереджено на загальній оцінці ККД, без детального аналізу впливу діаметральних зазорів, похибок профілю зубців та фазових зсувів. Це зумовлює необхідність створення більш точної математичної моделі, здатної кількісно оцінювати внесок кожного з цих факторів у зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора.

Отже, дослідження, спрямоване на уточнення моделей силової взаємодії роторів з урахуванням діаметрального зазору, зносу, похибок виготовлення зубчастого профілю, а також проведення варіаційного аналізу та оптимізації конструкції планетарних гідромашин, має беззаперечну актуальність. Воно є важливим як для розвитку теоретичних основ гідромеханіки, так і для вдосконалення практики проєктування та експлуатації сучасних гідромашин з планетарною передачею.

Додатковим підтвердженням актуальності теми є її безпосередній зв'язок з виконанням низки держбюджетних науково-дослідних робіт, зокрема: «Удосконалення і розробка наукових основ підвищення експлуатаційної ефективності мобільної сільськогосподарської техніки» (ДР № 0111U002558, 2011–2015 рр.), «Удосконалення і розробка наукових основ підвищення експлуатаційної ефективності мобільної сільськогосподарської техніки» (ДР № 0116U002719, 2015–2020 рр.) та «Удосконалення і розробка наукових основ підвищення експлуатаційної ефективності гідроприводів мехатронних систем сучасної самохідної техніки» (ДР № 0121U109974, 2021–2025 рр.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Панченка І. А. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, а також якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату та враховує фізичні явища, характерні для процесів, що відбуваються в системах роторів планетарних гідромоторів при їх експлуатації. Отримані результати підтверджуються їх узгодженістю з відомими раніше залежностями, що свідчить про обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, верифікацією використаних моделей, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу та методів математичного моделювання з використанням пакета імітаційного моделювання "Vissim" і універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу "Ansys". Експериментальна перевірка теоретичних досліджень проводилася в реальних умовах з обробкою отриманих результатів з використанням методів математичної статистики і теорії імовірності. Достовірність підтверджується зіставленням результатів моделювання та експериментальних досліджень. Результати досліджень показали, що математична модель адекватно описує досліджуваний процес, а відхилення складають не більше ніж 5–7 % від розрахункових значень, що свідчить про високу точність запропонованого підходу і можливість його практичного застосування для прогнозування ресурсу планетарного гідромотора.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше встановлено вплив діаметрального зазору на кінематику переміщення внутрішнього ротора та явище «спливання», що змінює вихідні характеристики планетарного гідромотора, це дає можливість прогнозувати зміну вихідних характеристик гідромотора ще на стадії проєктування;

– вперше обґрунтовано можливості технічної діагностики систем роторів у натурних умовах, що дає можливість визначення моторесурсу безрозбірними методами;

– набула подальшого розвитку уточнена математична та фізична моделі взаємодії роторів планетарного гідромотора з урахуванням похибок виготовлення зубчатого циклоїдального профілю, наявності діаметрального зазору та зносу, що дозволяє прогнозувати зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора;

– удосконалено методику розрахунку гідромотора з урахуванням конструктивних похибок і реальних умов роботи, математичний апарат для оцінювання зміни кутової швидкості та ККД залежно від зносу та похибок профілю, що дозволяє визначити остаточний ресурс планетарного гідромотора;

– систематизовано вплив геометричних і кінематичних параметрів на ККД, крутний момент, частоту обертання, запропоновано критерії оптимізації геометрії роторної системи для підвищення стабільності функціональних характеристик планетарного гідромотора.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Розроблені здобувачем наукові підходи та математичні моделі використані при створенні нових конструкцій систем роторів планетарних гідромоторів дозволяють враховувати вплив похибки виготовлення зубчастого профілю, зносу та діаметрального зазору на кінематику і динаміку роботи. Запропоновані моделі можуть бути використані при проєктуванні гідромоторів. Розроблено регресійні моделі щодо прогнозування технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність запропонованих моделей, які описують процеси, що відбуваються в системі роторів планетарного гідромотора. Розроблено рекомендації та запропоновано пристрої для контролю діаметрального зазору та точності виготовлення профілю зубців. Вдосконалена методика розрахунку та контролю параметрів системи роторів реалізована в технічних рішеннях, які захищені патентами на корисні моделі України. Результати роботи сформульовані у формі рекомендацій для розрахунку та проектування системи роторів планетарного гідромотора та передано АТ «Ямпільський приладобудівний завод» (м. Ямпіль, Україна) та АТ «Гідроінпекс» (м. Сорока, Молдова) для впровадження у виробництво. Результати дослідження впроваджено в навчальний процес та науково-виробничу практику при підготовці здобувачів вищої освіти, зокрема: у вигляді практичних курсів з експлуатації та діагностики гідравлічних машин; при підготовці дипломних та кваліфікаційних робіт; у науково-технічній співпраці з підприємствами, що займаються сервісом гідроприводів самохідної техніки.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 23 наукових працях, у тому числі: 3 публікації у періодичних наукових виданнях, які індексуються у міжнародній науково-метричній базі даних Scopus; 6 публікацій у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 9 – матеріали міжнародних науково-практичних конференцій, отримано 5 патентів. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Панченка Ігоря Анатолійовича складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків.

У **вступі** чітко обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, описано використані методи та зв'язок роботи з науковими програмами і тематиками. Наведено відомості про наукову новизну, практичну значущість отриманих результатів, особистий внесок здобувача та його публікації за темою роботи.

В першому розділі проаналізовано класифікацію гідравлічних машин планетарного типу з циклоїдальним зачепленням. Встановлено, що такі машини характеризуються високим крутним моментом, компактністю, стійкістю до перевантажень і широким застосуванням у мобільній та промисловій техніці. Проведено аналіз конструкцій роторних систем і особливостей їх кінематичних схем. Визначено вплив похибок виготовлення зубчастого профілю, діаметрального зазору та зносу на зміну частоти обертання, крутного моменту і ККД гідромотора, визначено відповідні задачі досліджень та шляхи вирішення виявленої науково-практичної проблеми. Разом з тим, доцільно було би коротко описати основні технічні характеристики досліджуваних гідромоторів та навести порівняльну характеристику з існуючими аналогами. Також у розділі недостатньо підкреслено переваги планетарних гідромоторів порівняно з іншими типами гідромашин.

У **другому розділі** досліджено вплив зносу в циклоїдальному зачепленні планетарного гідромотора на його технічний стан. В результаті проведених досліджень розроблено фізичну та уточнено математичну моделі взаємодії роторів планетарного гідромотора, які дозволяють визначити зміну його геометричних та функціональних параметрів від зносу (збільшення діаметрального зазору) та провести математичне імітаційне моделювання зміни геометричних параметрів циклоїдального зачеплення планетарного гідромотора в умовах експлуатації (при зносі). Однак, в дисертації зустрічаються надто громіздкі математичні вирази без пояснення їх фізичного змісту (наприклад, формули (2.31)-(2.35)). Також бажано було би навести приклади числового порівняння уточненої математичної моделі з відомими аналогами та проаналізувати межі застосування запропонованої моделі, завдяки чому теоретична частина виглядала би повнішою.

У **третьому розділі** проведено математичне моделювання зміни технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Для моделювання зміни технічного стану планетарного гідромотора від діаметрального зазору (зносу) розроблено структурно-функціональні схеми, що дозволили моделювати зміну

геометричних параметрів циклоїдального зачеплення, а також зміну технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Моделювання відбувалося за допомогою програмного комплексу VisSim. Моделюванням підтверджено результати теоретичних досліджень, отже, діаметральний зазор є ключовим функціонально обґрунтованим показником, який визначає технічний стан циклоїдального зачеплення та гідромотора в цілому. Здобувачем проведена ретельна робота. але варто було б зазначити параметри налаштувань моделей, що впливають на точність розрахунків. Також хотілося відзначити, що у структурі викладення результатів математичного моделювання не дуже чітко розмежовано вхідні, проміжні та вихідні параметри. Однак, незважаючи на зазначені недоліки розділ відзначається повнотою та завершеністю проведеного дослідження.

У четвертому розділі представлено розроблені способи та пристрої для контролю точності виготовлення зубчастого профілю внутрішнього та зовнішнього роторів, що дозволяють оцінювати похибку форми їх зубчастого профілю. Вдосконалена методика розрахунку та контролю параметрів системи роторів реалізована в технічних рішеннях, які захищені патентами на корисні моделі України. Разом з тим, бажано було б уточнити точність вимірювальних приладів і методи обробки похибок.

У **п'ятому розділі** проведено повнофакторний експеримент з метою отримання рівнянь регресії, що адекватно описують: вплив навантаження, витрати робочої рідини та діаметрального зазору на технічний стан планетарного гідромотора. Підтверджено статистичну значущість отриманих рівнянь та їхню придатність для прогнозування зміни технічного стану гідромотора. Також представлено результати експериментальних досліджень, які проводились на спеціальному випробувальному стенді, розробленому відповідно до нормативної документації. Розроблений стенд та методика випробувань дозволили встановити вплив діаметрального зазору на функціональні характеристики планетарного гідромотора в реальних режимах навантаження. Однак опис обладнання і умов проведення експерименту подано недостатньо детально.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи, узгоджуються із метою та поставленими задачами і містять основні результати дослідження.

Список використаних джерел досить повний, охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 111 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. При моделюванні не враховано зміну в'язкості робочої рідини залежно від температури.
2. Доцільно було б провести аналіз впливу вібраційних навантажень на роторну систему планетарного гідромотора.
3. У проведених дослідженнях бракує відомостей про вплив осьового зміщення роторів на втрати енергії.
4. У розділі 2 бажано навести більше прикладів практичного застосування моделей.

5. На мій погляд, експериментальна частина потребує ширшого обґрунтування вибору режимів випробувань.
6. У деяких таблицях не вказано одиниць вимірювання (наприклад, у таблиці 5.2).
7. У додатках було б корисно розмістити приклади програмних алгоритмів розрахунку.
8. Бажано було б конкретизувати економічний ефект від впровадження.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Панченка Ігоря Анатолійовича “Особливості розрахунку та проєктування систем роторів планетарних гідромоторів” за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Дисертація виконана є завершеною науково-дослідною роботою, яка у розв’язує важливу наукову проблему, суть якої полягає в прогнозуванні технічного стану систем роторів планетарних гідромашин в умовах експлуатації з урахуванням зносу, похибки форми виготовлення зубчастого профілю роторів та змінного діаметрального зазору, що призводить до зниження надійності та ресурсу гідромашин. Вважаю, що дисертаційна робота Панченка Ігоря Анатолійовича повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 щодо дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата наук, а її автор, Панченко Ігор Анатолійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент:
начальник науково-дослідної частини
Сумського державного університету
кандидат технічних наук, доцент

Владислав КОНДУСЬ

19.08.2025 р.

Підпис Кондуся В.Ю.
засвідчую
пров. фахівець відділу кадрів
Давидова Т.Г.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІДДІЛ КАДРІВ