

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Рогового Андрія Сергійовича  
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.**

Планетарні гідромотори з циклоїдальним зачепленням займають важливе місце у сучасному гідроприводі робочих активних органів та ходових систем самохідної техніки завдяки їхній компактності, простоті конструкції та надійності. Гідромотори планетарного типу широко використовуються у сільськогосподарській, дорожній техніці, гірничодобувному та лісозаготівельному обладнанні, що працює в складних експлуатаційних умовах – при змінних навантаженнях, вібраціях, перепадах температур і агресивному середовищі.

Ключовими конструктивними елементами цих гідромоторів є системи роторів, до яких висуваються жорсткі вимоги щодо точності виготовлення зубчастого контуру, стабільності зачеплення та мінімізації втрат енергії через витоки. На практиці ці вузли схильні до зносу, геометричних похибок виготовлення зубчастого контуру, деформацій робочих поверхонь, що призводить до зниження продуктивності, погіршення технічного стану та зменшення загального ресурсу.

Незважаючи на наявність певних теоретичних моделей та конструкційних підходів, у галузі все ще відчувається нестача комплексних досліджень, які б враховували взаємний вплив зазорів, похибок виготовлення зубчастого профілю роторів, деформацій і експлуатаційного зносу на вихідні характеристики планетарного гідромотора. Особливо актуальним є питання визначення граничних значень діаметрального зазору, при перевищенні яких суттєво погіршується робота планетарного гідромотора, а також розробка надійних методів технічної діагностики та контролю точності виготовлення роторних пар.

Одже, тематика дослідження є актуальною з огляду на такі аспекти: науковий – відсутність достатньо повних аналітичних моделей, що враховують діаметральний зазор між зубцями роторів, експлуатаційний знос, похибку виготовлення зубчастого профілю роторів та зміну силової взаємодії в циклоїдальному зачепленні; технічний – потреба в підвищенні ресурсу і точності роботи планетарних гідромоторів шляхом оптимізації роторних систем; інженерно-практичний – необхідність створення методик безрозбірної діагностики технічного стану гідромоторів для підвищення ефективності обслуговування та зниження витрат; виробничий – потреба точного контролю параметрів зубчастого профілю роторів при масовому серійному виготовленні планетарних гідромоторів, де навіть незначні похибки можуть призвести до відмов.

Таким чином, робота спрямована на вирішення комплексної науково-практичної проблеми прогнозування технічного стану систем роторів планетарних гідромашин в умовах експлуатації з урахуванням зносу, похибки форми

виготовлення зубчастого профілю роторів та змінного діаметрального зазору, яка має вагоме значення для машинобудування, гідромеханіки, проєктування та експлуатації сучасних гідромашин з планетарною передачею.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням досліджень, проведених у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства аграрної політики та продовольства України: “Удосконалення і розробка наукових основ підвищення експлуатаційної ефективності мобільної сільськогосподарської техніки” (ДР № 0111U002558, 2011-2015 рр.), а також держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України “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. Наукові положення, сформульовані в дисертаційній роботі, мають достатній рівень теоретичного та практичного обґрунтування. Автор у послідовній формі розробив аналітичні, чисельні та експериментальні підходи до дослідження роторних систем планетарних гідромоторів. 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”. Достовірність положень підкріплюється такими аспектами:

– *теоретичне обґрунтування*: використано класичні методи механіки контактної взаємодії, геометричного моделювання зачеплення, механіки рідини та газу, опору матеріалів. Також у роботі реалізовано побудову моделей, що враховують змінність діаметрального зазору між зубцями роторів та похибку виготовлення зубчастого контуру роторів в умовах експлуатації. Математичні виводи мають логічну послідовність та взаємну узгодженість;

– *експериментальна перевірка*: основні гіпотези підтверджено експериментальними дослідженнями, які проведено з використанням власного випробувального стенду. Отримані в результаті експериментальних досліджень дані аналізуються в порівнянні з теоретичними розрахунками, що забезпечує валідацію моделей. Результати досліджень показали, що математична модель

адекватно описує досліджуваний процес;

– *впровадження у виробничу практику*: практична реалізація розроблених технічних рішень у вигляді пристроїв для контролю точності виготовлення зубчастого профілю роторів, а також методик безрозбірної діагностики гідромоторів, свідчить про інженерну реалізованість запропонованих рекомендацій, що підтверджується патентами на корисні моделі та актами впровадження у виробничі та навчальні структури.

**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 проектування;

– 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 зубчастого 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 наукові підходи та математичні моделі використані при створенні нових конструкцій систем роторів планетарних гідромоторів, які дозволяють враховувати вплив похибки виготовлення зубчастого профілю, зносу та діаметрального зазору на кінематику і динаміку роботи. Запропоновані моделі можуть бути використані при проектуванні 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, зокрема: спосіб контролю зубчастих коліс (патент № 122059); прилади для контролю зубчастих коліс (патенти № 131510, № 131511); планетарно-роторний гідромотор (патент № 94047) – з удосконаленим фазорозподілом робочої рідини; (патент № 155350) – з удосконаленим зовнішнім ротором.

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 за спеціальностями 208 – Агроінженерія, 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування при вивченні дисциплін «Гідропривод мехатронних систем» та «Гідро-, пневмо- та електропривод» у Таврійському державному агротехнологічному університеті імені Дмитра Моторного, 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** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, наукову новизну та практичну значущість одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача в проведені дослідження та відповідні наукові публікації.

**В першому розділі** проведено глибокий огляд конструктивних особливостей, функціональних принципів та сучасних тенденцій розвитку планетарних гідромоторів з циклоїдальним зачепленням, проаналізовано класифікацію гідравлічних машин планетарного типу. Проаналізовані технічні рішення і підходи, подані в сучасній науково-технічній літературі, свідчать про потребу в побудові уточнених математичних моделей взаємодії елементів системи роторів з урахуванням динамічних і геометричних параметрів. Позитивні сторони розділу: охоплено широкий спектр вітчизняних та закордонних джерел: визначено проблематику, яка зумовлює потребу в нових підходах до розрахунку та проектування гідромашин планетарного типу. Разом з тим бажано було б

узагальнити основні проблеми, пов'язані з неточністю виготовлення зубчастого контуру роторів та експлуатаційними деформаціями; доцільно було би навести класифікацію типових відмов планетарних гідромоторів у контексті виявлених конструктивних недоліків.

У **другому розділі** розглянуто кінематику переміщення внутрішнього ротора при реальному розташуванні роторів планетарного гідромотора, кінематику руху при «спливанні» внутрішнього ротора зі збільшенням діаметрального зазору, досліджено вплив діаметрального зазору (зносу) в циклоїдальному зачепленні планетарного гідромотора на його технічний стан. Позитивні сторони розділу: розроблено фізичну модель переміщення внутрішнього ротора за наявності діаметрального зазору та запропоновано уточнену математичну модель силової взаємодії роторів планетарного гідромотора, що 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 моделі не враховано зміну в'язкості робочої рідини при підвищенні температури; деякі аналітичні рівняння не супроводжено поясненнями щодо опису граничних умов та застосовності.

У **третьому розділі** проведено математичне моделювання зміни технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Автором побудовано структурно-функціональні схеми оптимізації геометричних параметрів циклоїдального зачеплення та моделювання змін технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Позитивні сторони розділу: обґрунтовано кінематичні пари зубців циклоїдального зачеплення в залежності від зміни діаметрального зазору; результати математичного моделювання, проведеного за допомогою пакету імітаційного моделювання VisSim, підтвердили передумови теоретичних досліджень, отже, діаметральний зазор є ключовим функціонально обґрунтованим показником, який визначає технічний стан циклоїдального зачеплення та планетарного гідромотора в цілому. Разом з тим, бажано було б в моделі врахувати вплив температурних градієнтів на швидкість зношування, що є суттєвим при циклічних навантаженнях; доцільно було б навести приклади практичного застосування моделі для аналізу технічного стану конкретного зразка гідромотора.

У **четвертому розділі** запропоновано пристрої для контролю точності виготовлення зубчастого профілю внутрішнього та зовнішнього роторів, що дозволяють оцінювати похибку форми їх зубчастого профілю; описано принципи безрозбірного контролю технічного стану планетарного гідромотора в умовах експлуатації. Позитивні сторони розділу: вдосконалена методика розрахунку та контролю параметрів системи роторів реалізована в технічних рішеннях, які захищені патентами на корисні моделі та впроваджено у виробництво на підприємствах України і Молдови та в навчальний процес, та науково-виробничу практику при підготовці здобувачів вищої освіти, у вигляді практичних курсів з експлуатації та діагностики гідравлічних машин, а також при підготовці дипломних та кваліфікаційних робіт. Однак можна зазначити наступні недоліки: опис пристрою для контролю точності не містить оцінки метрологічних

характеристик; бажано було б навести порівняльну оцінку з існуючими методами контролю на виробництві.

У **п'ятому розділі** представлені результати експериментальних досліджень, проведених на спеціально розробленому випробувальному стенді. Наведено методику проведення випробувань, параметри вимірювання, а також порівняльний аналіз результатів випробувань серійного та модернізованого гідромоторів. Позитивні сторони розділу: Проведена експериментальна перевірка теоретичних досліджень та математичного моделювання. Отримані математичні моделі, описані рівняннями регресії, 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. Надано візуалізацію експериментальних результатів у вигляді залежностей зміни функціональних параметрів планетарного гідромотора при різних вихідних витратах робочої рідини та при наявності діаметрального зазору. Разом з тим недостатньо докладно описано умови проведення експериментів (температура, характеристики робочої рідини).

Наведені недоліки, зауваження та рекомендації не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

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 аналізі конструктивних особливостей гідромашин з циклоїдальним зачепленням не надано порівняння з існуючими аналогами у світовій практиці.

2. При моделюванні взаємодії роторів не розглянуто вплив динамічних коливань робочого тиску на стійкість обертального руху внутрішнього ротора.

3. Методика визначення критичного зазору ґрунтується переважно на геометричних параметрах, без урахування в'язкості робочої рідини та її температурної залежності.

4. При обґрунтуванні конструктивних змін роторів бракує аналізу впливу нових геометричних параметрів на зносостійкість поверхонь контакту.

5. У роботі практично не розглянуто питання адаптації запропонованих моделей до програмно-обчислювальних комплексів, що використовуються у сучасному САПР.

6. При проведенні математичного моделювання не надано детального огляду програмних засобів, використаних для розрахунків.

7. В роботі бажано було б розглянути можливість автоматизованого контролю технічного стану гідромотора у складі реальної гідросистеми.

8. Оформлення рисунків не завжди відповідає єдиним вимогам (наприклад, відсутність масштабних сіток). Окремі рисунки потребують збільшення масштабу

для кращого читання (наприклад, рис. 3.14).

9. Текст роботи містить незначні стилістичні повтори та тавтології, що не впливають на зміст дисертаційного дослідження, але знижують читацьке сприйняття.

### ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Панченка Ігоря Анатолійовича «Особливості розрахунку та проектування систем роторів планетарних гідромоторів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову задачу, 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:  
завідувачу кафедри гідравлічних  
машин ім. Г.Ф. Проскури  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
доктор технічних наук, професор



ADP  
Підпис Андрій РОГОВИЙ  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
21 "серпня" 2025 р.