

Відгук

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора **Семенюка Володимира Федоровича** на дисертаційну роботу Проценка Владислава Олександровича «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02. - машинознавство

1. Актуальність теми дисертації.

Сучасні приводи машин часто мають неспіввісність поєднаних валів внаслідок похибок виготовлення та монтажу, експлуатаційних деформацій базових елементів і неточностей технологічних процесів. Для компенсації цих неспіввісностей застосовують пружні муфти з неметалевими або з металевими пружними елементами. Для муфт з неметалевими пружними елементами однією з характерних відмов є перегрівання пружних елементів під час роботи машини за рахунок низької теплопровідності матеріалів. Значна частина таких муфт має низьку ремонтпридатність, тому що пружні елементи через низьку міцність потребують їх заміни і, як наслідок, розбирання муфт та навіть демонтаж сполучених ними агрегатів. Муфти з металевими пружними елементами, маючи очевидні переваги характеризуються високою складністю та вартістю пружних елементів, низькою компенсуючою здатністю, незначним демпфуванням. Тому актуальною є проблема створення простих за конструкцією муфт з підвищеною компенсуючою здатністю. Застосування сталевих канатів у порівнянні з поширеними в муфтах металевими пружними елементами, як показано автором, дозволяє позбавити муфт багатьох недоліків, оскільки канати гнучкіші ніж поширені суцільнометалеві елементи, здатні до розсіяння енергії внаслідок взаємного тертя дротів і сталок, технологічніші, дешевші та масово виготовляються промисловістю, але їх ширше застосування в муфтах вимагає подальших досліджень, оскільки основи проектування таких муфт розроблені недостатньо. Тому синтез нових конструкцій канатних муфт та обґрунтування їх параметрів є *актуальною* та

доцільною задачею, розв'язання якої сприяє розширенню сфери використання вказаних муфт у машинобудуванні і відповідно має велике значення для виробництва. Актуальність роботи додатково підтверджена тим, що вона виконана у відповідності до Постанови Кабінету Міністрів України № 942-2011-п, а також в рамках наукового напрямку кафедри технічної механіки та динаміки машин Національного університету «Львівська політехніка», науково-дослідних робіт кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії «Обґрунтування параметрів та технологічного забезпечення виробництва пружних ланок машин с канатними елементами» (номер державної реєстрації 0116U003474) та «Дослідження і розробка нових матеріалів і технологій для експлуатації та ремонту засобів транспорту» (номер державної реєстрації 0117U000443).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, базуються на коректному використанні фундаментальних положень теоретичної механіки, опору матеріалів, теорії механізмів, прикладної математики та динаміки машин, застосуванні автором сучасних методів та апарату математичної і прикладної статистики. програмних комплексів, достатньою збіжністю результатів експериментів з теоретично розробленими моделями.

3. Достовірність, новизна висновків і рекомендацій.

На основі застосування методу морфологічного аналізу і синтезу автором розроблено новий клас пружно-компенсуючих муфт, оснащених канатними елементами.

Теоретично обґрунтовано нові способи забезпечення змінної жорсткості суцільнометалевих та канатних пружних елементів, що дозволило розробити нові конструкції пружно-компенсуючих муфт.

Розроблено нові підходи геометричного розрахунку муфт з торцевою установкою канатів тангенціального та хордального розташування за рахунок встановлення умов їх геометричного існування, що разом з обґрунтованими моделями передачі навантаження деталями муфт стало основою їх раціонального проектування.

Розроблені конструкції, методи розрахунку та конструювання канатно-роликкових муфт підвищеної компенсуючої здатності з обґрунтуванням їх геометричних, силових та енергетичних показників.

Встановлено закономірності кінематики на експлуатаційні показники запобіжних муфт з канатними елементами, що мають на 30...50% вищу точність спрацьовування ніж поширені конструкції муфт аналогічного призначення.

Вперше на основі системно-морфологічного підходу розроблено конструкції затискних механізмів для закріплення канатів, розкрито процеси їх функціонування та розроблено моделі передачі ними навантаження, обґрунтування їх міцнісних параметрів та основні засади їх раціонального конструювання.

Запропонована методика проектування муфт з канатними елементами, яка випробована на практиці впровадженням сконструйованих муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування у приводах діючих відцентрових насосів К200-150-400 продуктивністю 400 м³/год., де вони підтвердили свою працездатність та безвідмовність при довготривалій експлуатації. Застосування сталевих канатів та технологічність конструкції муфт дозволила знизити їх вартість на 65% порівняно зі втулково-пальцевими муфтами, що були встановлені в базовому варіанті. Запропоновано методику проведення досліджень навантажувальної здатності затискних механізмів для закріплення сталевих канатів та міцності канатів, розроблено та виготовлено оснащення для їх виконання.

Отримані в роботі результати та практичні рекомендації впроваджені на підприємствах: ХДП «Промавтоматика» № 434 (акт від 24.09.2013 р.), ПАТ

«Укрремфлот», «Інститут проблем надійності машин і споруд», що підтверджено відповідними документами.

Розроблена методика проектування муфт та оснащення для дослідження сталевих канатів впроваджені в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Суднові вантажні та палубні механізми» у Херсонській державній морській академії, «Деталі машин», «Деталі машин та підйомно-транспортне обладнання», «Основи конструювання», «Прикладна механіка», «Технічна механіка» у Національному університеті «Львівська політехніка».

4. Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень, що захищаються, опубліковані в 100 друкованих працях, з них: 26 – статей в наукових фахових виданнях України (з них 9 одноосібних, 8 – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних); 2 статті у виданнях інших країн, що індексуються базою Web of Science Core Collection, 27 – тез доповідей на конференціях і симпозіумах; 3 – патенти України на винаходи; 37 – патентів України на корисні моделі; 5 – статті у наукових виданнях України, що додатково відображають результати досліджень. Кількість публікацій та рівень видань, де вони надруковані, достатні для висвітлення результатів докторської дисертації згідно діючих вимог. Публікації повністю відображають основні положення дисертації, що винесені на захист.

5. Структура і обсяг дисертації.

Рецензована робота складається зі вступу з загальною характеристикою роботи, шести розділів, висновків до розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 505 сторінок. Додатки наведені на 76 сторінках. Основний текст дисертації викладено на 429 сторінках, що включає анотацію на 25 сторінках, 12 окремих сторінок, що на них містяться тільки рисунки і таблиці, список джерел на 44 сторінках.

6. Загальна характеристика роботи.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт і предмет досліджень, сформульовано мету та завдання роботи, висвітлено наукову новизну, практичну цінність, наведено дані щодо апробації та публікації одержаних результатів. що ними охоплені основні положення роботи.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз конструкцій та відмов пружно-компенсуючих муфт механічних приводів на прикладі енергетичних установок. причому використано значний обсяг практичних результатів з досвіду їх експлуатації. За рахунок аналізу цих прикладів автор констатує, що наявні недоліки поширених у приводах пружних муфт можна пояснити причинами, які умовно можна поділити на три напрямки – недоліками матеріалів пружних елементів, недоліками конструкції пружних елементів, а також складність конструкції муфт. Показано, що сталеві канати, при їх застосуванні у муфтах здатні стати резервом для підвищення їхнього технічного рівня за рахунок наявності конструкційного демпфування, в *десятки* разів вищій теплопровідності ніж у еластомірів та універсальності, що дозволяє спростити конструкцію пружних ланок машин.

Аналіз стану розвитку синтезу пружних ланок машин перемінної жорсткості дав можливість показати перспективність їх створення на основі керування жорсткісними параметрами сталевих канатів як основи для побудови таких ланок. Виконаний огляд та комплексний аналіз дозволив поставити мету та чітко сформулювати задачі подальших досліджень.

Другий розділ містить обґрунтування структури пружних ланок, що оснащені канатними елементами. Автором внесено уточнення у розроблену ним раніше класифікацію пружних муфт з суцільними металевими та канатними пружними елементами. Показано, що пружні елементи, які розташовані в перепендикулярній до осей поєднаних валів площині. можуть бути орієнтовані так, що їх осі утворюватимуть хорди кіл фланців напівмуфт чи дотичні до них, відповідно базову класифікацію модифіковано із введенням

понять торцевої установки хордального і тангенціального розташування. Така диференціація дала можливість автору розробити та запатентувати гаму нових конструкцій постійних і запобіжних муфт з канатами, розташованими у торцевій площині напівмуфт, які оснащені проміжними дисками та валами, що доводить доцільність уточнення класифікації та її практичне значення для створення нових елементів механічних приводів машин.

За рахунок застосування системно-морфологічного підходу автором запропоновано способи розроблення структури пружних ланок машин змінної жорсткості, що побудовані на базі суцільних металевих (зокрема пружних стрижнів прямокутного перерізу) та канатних пружних елементів. В якості джерела для зміни жорсткостей пружних елементів у розробленій класифікації передбачено кінематичні та силові параметри робочих режимів, які виконують пружні ланки. Вперше запропоновано морфологічні матриці способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин, розкриття яких показало, що у випадку оснащення їх суцільнометалевими пружними елементами можливо передбачити 14 способів забезпечення зміни жорсткості, а у випадку канатних елементів – 26 таких способів. На основі цього розроблено алгоритм, який дав можливість автору розробити ряд конструкцій пружних ланок, новизна яких підтверджена отриманням патентів на винаходи.

Третій розділ містить розроблення аналітичного забезпечення проектування постійних муфт, оснащених канатами розташованими в торцевій площині та обґрунтування характеристик цих пристроїв. За рахунок виконаних теоретичних досліджень розроблено основи силового та геометричного розрахунку муфт.

Виділено умови геометричного існування муфт з тангенціально розташованими канатами та отримано компактні вирази для їх перевірки під час конструювання. Розроблені моделі силопередачі із обґрунтуванням умов мінімальної завантаженості деталей та геометричного розрахунку муфт стали основою для комплексного розв'язання проблеми їх конструювання, оскільки дозволяють наочно інтерпретувати силові та геометричні характеристики на

графіках, які дають можливість конструктору обґрунтовано приймати рішення щодо прийняття до використання того чи іншого варіанту параметрів розроблюваної муфти. За рахунок отриманих моделей компоновання автором розроблено рекомендації щодо застосування муфт з хордально і тангенціально розташованими канатами.

Виконано також аналіз роботи муфт в умовах неспіввісності і отримано вирази для обчислення видовження будь-якого каната на протязі оберта муфт в залежності від величини неспіввісності. Показано, що канати навантажені в такому випадку неоднаково та запропоновано це враховувати введенням коефіцієнта нерівномірності при обчисленні розрахункового натягу каната.

Застосування отриманих в даному розділі результатів проілюстровано розрахунком, конструюванням та встановленням муфти в приводі діючого відцентрового насоса, де вона показала свою працездатність на протязі кількох років експлуатації, що демонструє достовірність прийнятих автором рішень та правомірність наведених рекомендацій.

Четвертий розділ присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням канатно-роликкових муфт, розроблених і запатентованих автором у реверсивному та нереверсивному виконанні. На першому етапі розроблено основи геометричного та силового розрахунку муфт із отриманням відповідних аналітичних виразів для обчислення сили натягу каната, кутів охоплення роликів тощо. Кількісний аналіз побудованих розрахункових моделей дозволив переконливо довести, що муфта поряд з простотою конструкції володіє іншими перевагами, зокрема низькою чутливістю до точності складання. За рахунок вирішення оптимізаційної задачі отримано компактні та зручні рекомендації у вигляді номограм для вибору геометричних параметрів муфти, що забезпечують мінімальний натяг каната і відповідно навантаження інших її деталей. Для ілюстрації користування номограмами наведено докладні приклади, якими доведено результативність запропонованого методу визначення геометричних параметрів муфти. На другому етапі детально вивчено роботу муфти в умовах неспіввісності сполучених валів. Аналітично

показано закономірності зміни геометричних та силових параметрів муфти в залежності від величини неспіввісності. Це дало можливість визначити довжину канату муфти, в будь-якому її кутовому положенні відносно площини неспіввісності і відповідно виконати оцінку навантаження від муфт на сполучені вали, що дозволило довести високі компенсаційні властивості муфти – так радіальна жорсткість модельної муфти більше ніж в п'ять разів нижча ніж у муфти – прототипа з пружною зірочкою. З урахуванням отриманих для геометричного розрахунку неспіввісних муфт аналітичних результатів обґрунтовано механізм виникнення втрат у канатно-роликових муфтах і аналітично описано процес передачі ними енергії. За рахунок цього отримано вирази для обчислення коефіцієнтів корисної дії муфт – миттєвого та середнього. За рахунок кількісного моделювання показано, що муфти можуть мати високу енергетичну ефективність, оскільки мають ККД до 0,94. Для доведення достовірності отриманих результатів виготовлено експериментальний зразок муфти та модифіковано серійну установку ДП-5К для оцінки ККД планетарних передач, виконані експерименти довели можливість використання отриманих залежностей у інженерній практиці.

У п'ятому розділі виконано обґрунтування параметрів запобіжних муфт з канатними елементами, що розроблені та запатентовані автором. Прийнято три принципи дії – екстракції канатів із затискних механізмів однієї з напівмуфт під дією перевантажень; - пробуксовування фрикційних колодок, що встановленні на канатних тягах відносно введеної напівмуфти з фрикційним барабаном; - розмикання виступів введеної профільної напівмуфти від контакту з роликами, що встановленні на канатних тягах у ведучій напівмуфті. Автором розроблено аналітичне забезпечення для оцінки параметрів швидкодії муфт з екстрагованими канатами, зокрема отриманні вирази для обчислення тривалості основних етапів спрацьовування муфти та критичних частот обертання, при яких муфти здатні реалізовувати свої запобіжні функції без виникнення небезпеки співударіння елементів ведучою та веденої напівмуфт. Сформульованні рекомендації щодо використання досліджених муфт з

екстрагованими канатами. Для муфт відцентрового типу, що працюють за другим та третім принципом дії показано, що встановлення їх несівних елементів на канатних тягах дозволяє ліквідувати у механізмах муфт надлишкові зв'язки, які є джерелом нерівномірності розподілу навантаження між несівними елементами. Для фрикційних відцентрових муфт обґрунтовано вирази для оцінки навантажувальної здатності та параметри точності обмеження навантаження. За рахунок кількісного аналізу отриманих закономірностей доведено, що застосування канатних елементів у фрикційних відцентрових муфтах дозволяє підвищити точність їх спрацьовування порівняно з муфтою, у якої колодки виконані радіальнорухомими на напрямних штифтах на 30...50% для муфт, що мають циліндричні поверхні тертя та на більше ніж на 40% для муфт, що мають конічні поверхні тертя фрикційних колодок. Для профільної роликової муфти виконане обґрунтування навантажувальної здатності. отримані вирази для обчислення моменту, при якому муфта почне спрацьовувати, а також співвідношення для оцінки якісних характеристик – коефіцієнта точності спрацьовування, перевищення номінального навантаження та ін. Кількісний аналіз параметрів відомих та розробленої муфт показав, що профільна муфта конструкції автора має високу точність спрацьовування та мало чутлива до якості догляду в експлуатації.

Шостий розділ містить результати комплексних теоретичних та експериментальних досліджень затискних механізмів для закріплення сталевих канатів у деталях досліджуваних муфт. Тут розроблено морфологічну матрицю синтезу структурних схем затискних механізмів і за рахунок її розкриття розроблено і запатентовано ряд конструкцій цих механізмів. Нові конструкції мають різні типи виконавчих поверхонь, що дозволяють виконувати швидко заміну та закріплення канатів жорстко чи шарнірно відносно напівмуфт. Для оцінки навантажувальної здатності затискних механізмів виконано експериментальні дослідження. Для цього виготовлене запатентоване автором оснащення і досліджені закономірності закріплення канатів у розроблених затискних механізмах, за рахунок чого отримані значення коефіцієнта опору

екстракції каната із затискних механізмів в залежності від зусилля зтягування рухомої деталі. У результаті отримано ряд практичних висновків щодо вибору параметрів затискних механізмів під час проектування. Досліджено напружений стан пальців з різними виконавчими поверхнями для закріплення сталевих канатів і розроблено компактні рекомендації у вигляді графіків, таблиць та номограм, що разом з отриманими залежностями дозволяють обґрунтовано визначати розміри деталей затискних механізмів і ефективно виконувати їх конструювання.

Розділ «Загальні висновки» містить стислий перелік отриманих результатів, які наведено у конкретному, цифровому вигляді, що підтверджує їх практичне значення.

В цілому дисертаційна робота характеризується єдністю змісту, логічністю викладу матеріалу. Автореферат достатньо повно в стислій формі відображає основні положення та зроблені висновки, ступінь новизни та практичне значення отриманих результатів, їхню суть і особистий внесок автора.

7. Загальні зауваження.

1. В дисертації недостатньо приділено уваги для оцінки впливу параметрів муфт з канатними елементами на динамічні навантаження цих муфт у приводах машин. Тільки у додатку «ж» наведено аналіз динамічних навантажень муфти приводу відцентрового насоса.
2. В розділі 5 представлено аналіз роботи запобіжної муфти з канатними елементами, яка працює за принципом дії – екстракції канатів із затискних механізмів однієї з напівмуфт під дією перевантажень. Але не вказано, яким чином після спрацювання муфти відновити її працездатність.
3. На с.119 наведено формулу (2.8) для визначення зведеної стискальної жорсткості. Які переваги дає застосування у муфтах пружних елементів, які працюють на стиск?
4. В розділі 4 отримано формулу (4.51) для обчислення середнього ККД канатно-роlikової муфти та проведено аналіз між теоретичними і експериментальними результатами визначення коефіцієнта корисної дії

канатно-роlikової муфти, який показав, що відмінність між ними становить 2...4%. Для значень ККД 0,98/0,95 така відмінність є досить великою.

5. В розділі 4 наведено конструкцію канатно-роlikової муфти в реверсному виконанні (рис. 4.4), проте не сказано, чи справедливі для такої муфти висновки, отримані для нереверсивних муфт, зокрема про їх енергетичну ефективність (наприклад, вираз (4.50) для визначення ККД муфт).

6. В розділі 6, при аналізі напруженого стану деталей затискних елементів для сталевих канатів та розробленні рекомендації, деякі розрахункові моделі дуже ідеалізовано, зокрема у виразі (6.56) не враховано закруглену форму дна паза, що, однак, іде в запас міцності деталей.

7. Розділ 1 містить великий обсяг інформації про конструктивні та експлуатаційні недоліки поширених в суднових енергетичних установках муфт, а також інформації, яка не відноситься безпосередньо до теми дисертації. Цей розділ можна було би значно зменшити.

Зазначенні зауваження мають здебільшого рекомендаційні ознаки і не знижують наукового рівня та практичної цінності роботи. Вони направлені на її покращення і доповнення.

8. Загальний висновок:

1. Дисертація Проценка Владислава Олександровича «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами» є завершеною науковою працею і відповідає паспорту спеціальності 05.02.02 – машинознавство. У роботі розв'язано актуальну науково-прикладну проблему розроблення методології проектування перспективних та ресурсощадних конструкцій муфт з канатними елементами на підставі розроблення наукових основ їх створення.

2. Одержані в дисертаційній роботі результати мають наукову новизну, практичну цінність і впроваджені у виробництво та навчальний процес.

3. Дисертаційна робота «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами» повністю відповідає вимогам ДАК України до докторських дисертацій, зокрема пп. 9, 10 та 12 «Порядку присудження

наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р., № 567, а її автор, **Проценко Владислав Олександрович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор кафедри підйомно-транспортного
та робото технічного обладнання
Одеського національного
політехнічного університету (ОНПУ),
заслужений діяч науки і техніки України

В.Ф. Семенюк

Підпис професора Семенюка В.Ф. засвідчую:

Вчений секретар ОНПУ



В.І. Шевчук