

67-72-58/3
08.05.2019р.

До спеціалізованої вченої ради
Д 35.052.06
Національного університету
«Львівська політехніка»

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Струтинського В.Б. на дисертаційну роботу **Проценка Владислава Олександровича «РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МУФТ З КАНАТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ»**, що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.02 – машинознавство.

Аналіз дисертації Проценка В.О. «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами» дозволяє сформулювати наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичної цінності, а також загальної оцінки роботи.

1. Оцінка актуальності теми дисертації.

Розвиток машинобудування України потребує розв'язання важливої проблеми - розроблення та впровадження в промисловість та народне господарство ресурсощадних виробів, в тому числі елементів приводів машин. Особливо актуальним, у зв'язку з розробленням машинобудівних виробів на модульному принципі, є також зниження витрат часу та ресурсів на складання, ремонт та технічне обслуговування привідної техніки, що напряму залежить від конструкцій застосованих сполучних муфт. Сучасне муфтобудування розвивається здебільшого за напрямком модифікації властивостей матеріалів пружних елементів та зміни їх конфігурації, що зазвичай збільшує вартість муфт та ускладнює їх конструкцію. В той же час недостатньо використаним є застосування в муфтах приводів технічних рішень з інших галузей, зокрема сталевих канатів у якості пружних елементів.

Муфти з канатними елементами володіють багатьма перевагами над відомими конструкціями завдяки властивостям власне сталевих канатів, проте

досліджені вони на сьогодні недостатньо, а у відомих роботах недостатньо враховані досягнення теорії технічних систем та системні методи створення нових технічних рішень, що значно знижує резерви створення таких муфт та впровадження їх у промисловість.

Тому дисертація Проценка В.О., яка присвячена створенню системи принципів і способів створення ресурсоощадних конструкцій пружних ланок машин на основі канатних елементів, спрямована на вирішення актуальної науково-технічної проблеми та сприяє підвищенню ефективності та ресурсозбереження у промисловості України. Дослідження виконувались у рамках постанови Кабінету Міністрів України, а також в рамках виконання науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка» та Херсонської державної морської академії, що додатково підтверджує актуальність теми рецензованої роботи.

2. Загальна характеристика роботи.

Дисертація виконувалась на кафедрі технічної механіки та динаміки машин Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків до розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 505 стор. у тому числі 429 стор. основного тексту та 76 стор. додатків. Список джерел містить 410 найменувань на 44 стор.

3. Оцінка новизни наукових результатів та висновків дисертації.

Нові наукові результати, що захищаються, полягають у наступному:

1. Подальшого розвитку набули системні методи синтезу технічних рішень, зокрема метод морфологічного синтезу, а саме синтезу структури пружних ланок машин та муфт з металевими та канатними пружними елементами, затискних механізмів для сталевих канатів.

2. Встановлено умови геометричного існування постійних муфт з канатними елементами, розроблено математичне забезпечення для перевірки цих умов, а також моделі і методи силового розрахунку та компоновання муфт, оцінки їх параметрів та характеристик при роботі в умовах неспіввісності.

3. Запропоновано конструкцію та обґрунтовано параметри принципово нових муфт, що містять ролики які мають можливість обкочування по канату. Розроблено методи геометричного, силового та енергетичного розрахунків таких муфт і вибору їх раціональних параметрів, в тому числі при роботі в умовах неспіввісності.

4. Розроблено аналітичне забезпечення для оцінки несівної здатності, експлуатаційних характеристик та процесів функціонування нових конструкцій запобіжних муфт з канатними елементами, в тому числі з екстрагованими канатами, фрикційних та профільних відцентрових.

5. Виконані експериментальні дослідження процесів передачі навантаження затискними механізмами для закріплення сталевих канатів. синтезовано їх основні схеми та розроблено засади оцінки напруженого стану, методи розрахунку та конструювання їх деталей.

4. Оцінка практичного значення отриманих результатів та наведених результатів.

В дисертаційній роботі обґрунтовано основні принципи створення постійних та запобіжних муфт, а також пружних ланок змінної жорсткості. За рахунок системного підходу та широкого застосування творчих методів пошуку нових технічних рішень розроблено алгоритми синтезу структурних схем цих пристроїв, результативність яких підтверджена отриманням достатньої кількості патентів на винаходи та корисні моделі.

Розроблено та апробовано аналітичне забезпечення та методи проектування пружних муфт з канатними елементами, результативність та правомірність використання яких підтверджено використанням розроблених муфт у діючому обладнанні, де вони показали працездатність в реальних умовах експлуатації. Створено практичні засади для визначення раціональних конструктивних, кінематичних і силових параметрів запобіжних муфт з канатними елементами. Розроблено основи проектування канатно-роликкових муфт підвищеної компенсуючої здатності, що здатні знизити вимоги до радіальної співвісності сполучених муфтами валів в багато разів. Досліджено навантажувальну здатність розроблених автором затискних механізмів для фіксації канатів у напівмуфтах.

Оцінено напружено-деформований стан деталей розроблених конструкцій затискних механізмів та розроблено основи їх конструювання з отриманням довідкових матеріалів для проєктантів у вигляді зручного для використання графічного супроводження.

Результати роботи у вигляді конкретних конструкцій муфт та методик їх проектування та розрахунку впроваджені при ремонті та модернізації обладнання на ХДП «Промавтоматика» №434, ПАТ «Укрремфлот», «Інститут проблем надійності машин і споруд», що підтверджено актами впровадження.

Представлені в дисертації дослідження використовуються при викладанні ряду навчальних дисциплін для студентів-механіків у Національному університеті «Львівська політехніка» та Херсонській державній морській академії.

5. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів, положень та оцінка висновків.

Основні наукові положення та висновки, які сформульовані та наведені у дисертаційній роботі, поряд з достатніми теоретичним обґрунтуванням та експериментальною перевіркою, не суперечать відомим теоріям, доповнюють їх та мають своєю основою класичні положення теоретичної та прикладної механіки, теорії технічних систем, основ конструювання, теорії імовірності та математичної статистики. Вони достатньо добре узгоджуються з отриманими даними інших дослідників. Достовірність отриманих результатів забезпечена достатнім об'ємом досліджень, їх коректною математичною обробкою, використанням апробованих методів досліджень, обчислювальної техніки, практичною апробацією отриманих положень та сформульованих рекомендацій при проектуванні муфт. Аргументація, наведена у дисертації є коректною, застосовані математичні методи є універсальними та апробованими в галузі машинознавства. Теоретичні положення та їх практичні результати добре узгоджуються між собою.

Дисертаційна робота пройшла достатньо широку апробацію на достатній кількості наукових конференцій та семінарів різних рівнів.

Основні положення та результати, що захищаються у дисертації цілком повно відображені у 100 наукових працях, з яких 26 статей у наукових фахових виданнях України (з них 8 видань індексовані наукометричними базами), 2

статті опубліковано у закордонних виданнях, що індексуються наукометричною базою Web of Science Core Collection, 27 тез доповідей на конференціях та симпозиумах, 40 патентів України (з них 3 патенти на винахід), 5 статей у наукових виданнях України, що додатково відображають результати дисертації.

Кількість опублікованих праць, їх обсяг та повнота відображають особистий внесок здобувача та відповідають діючим вимогам до докторських дисертацій.

6. Оцінка змісту, оформлення дисертації та автореферату.

Аналіз дисертаційної роботи, автореферату та наукових праць представлених на рецензування дає підстави констатувати, що дисертація Проценка В.О. за актуальністю та змістом, структурою побудови, обсягом, якістю оформлення, повнотою викладення її основних теоретичних та практичних результатів у наукових публікаціях відповідає вимогами, що ставляться МОН до докторських робіт. У тексті автореферату відображено найголовніші положення, зміст, результати і висновки виконаного дослідження.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і задачі дослідження, наукова новизна практичне значення, наведено про апробацію та опублікування отриманих результатів.

Перший розділ містить аналіз сучасного стану розв'язуваної у дисертації проблеми. Розглянуті основні конструкції сполучних муфт, що використовуються у приводах сучасних машин. Показано, що поширені пружні елементи муфт характеризуються рядом недоліків, що визначають відмови цих муфт та складність їх конструкції, що в свою чергу потребує значних витрат часу на демонтаж та заміну пружних елементів. На прикладі пускових муфт відцентрових сепараторів та інших конструкцій запобіжних муфт показано, що одним із недоліків поширених конструкцій муфт є недосконалість структури, а саме наявність надлишкових зв'язків у їх механізмах, що впливає на розподіл навантаження між виконавчими елементами муфт.

Проаналізовано еволюцію розвитку ряду технічних систем, що розглядаються в роботі - пружних та запобіжних муфт, а також ланок змінної жорсткості чим проілюстровано, що застосування системних методів створення нових технічних рішень може прискорити розвиток технічних систем.

Показано, що стан досліджень пружних ланок машин з канатними елементами знаходиться на недостатньо розвиненому рівні і має резерв для подальшого розвитку. Це доведено за рахунок аналізу еволюції та сучасного стану механіки сталевих канатів та квазіпружних моделей їх жорсткості, які дозволяють реалізовувати керування жорсткостями канатів за рахунок впливу на окремі їх складові.

Другий розділ присвячено дослідженню процесів синтезу структури пружних ланок машин з канатними елементами. Тут застосовано системно-морфологічний метод синтезу, що довів свою ефективність для вирішення подібних задач. В основу запропонованих підходів до синтезу схем постійних муфт та пружних ланок змінної жорсткості покладено запропоновані автором класифікації цих пристроїв. Для постійних муфт уточнено їх класифікацію за видом, формою та способом установки пружних елементів за рахунок диференціації торцевої установки на два варіанти – хордального і тангенціального розташування. На цьому етапі розроблено і запатентовано гамму муфт з торцевою установкою канатів хордального і тангенціального розташування, в тому числі таких, що здатні виконувати запобіжні функції.

Системно-морфологічний підхід дав можливість також розробити класифікацію способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок. Повноту запропонованої класифікації забезпечено детальним аналізом моделей жорсткості для класичних суцільнометалевих пружних елементів і сталевих канатів. За рахунок цього встановлено резерви для зміни жорсткості пружних елементів за рахунок впливу на складові моделей із застосуванням різних джерел – передаваного навантаження чи швидкості руху. Результатом запровадження створеної класифікації в практику стало розроблення алгоритму синтезу структурних схем пружних ланок машин змінної жорсткості. Наведено приклади користування запропонованим алгоритмом та розроблення схем муфт та амортизаторів змінної жорсткості.

Доцільність та результативність застосування системних методів синтезу, зокрема морфологічного методу доводить значна кількість технічних рішень отриманих в роботі – вони захищені сорока патентами, з них три патенти на винахід.

Третій розділ присвячено розробленню принципів і способів проектування муфт з торцевою установкою канатів, а також дослідженню їх параметрів та обґрунтуванню характеристик. Тут запропоновано методи силового та геометричного розрахунку таких муфт та принципи їх раціонального конструювання. Отримано вирази для обчислення навантаження на деталі муфт та співвідношення для їх конструктивних показників, що забезпечують мінімізацію цих навантажень. Показано, що можливість геометричного існування муфт може бути забезпечена при виконанні п'яти умов для перевірки яких розроблено аналітичне забезпечення. Отримані результати уможливили комплексно розглядати процес компонування муфт та ілюструвати його графічно в автоматизованому режимі. За рахунок цього вдалося встановити випадки раціонального використання муфт з хордальним і тангенціальним розташуванням канатів торцевої установки.

Досліджено роботу муфт в умовах неспіввсності та показано її вплив на розподіл навантаження між канатами. Встановлено, що канати доцільно закріплювати шарнірно відносно напівмуфт, що потребує відповідної конструкції затискних механізмів. Отримано вирази для обчислення крутильної жорсткості муфт. В додатках наведено приклад проектування муфти для оснащення приводу відцентрового насоса та виконано аналіз динаміки його приводу з канатною муфтою. Розраховані муфти було виготовлено та встановлено у приводах насосів, що експлуатуються чим підтверджено результативність запропонованих принципів проектування та можливість їх впровадження в інженерну практику.

Четвертий розділ містить результати досліджень муфт нового типу – канатно-роликівих, де реалізовано закріплення каната тільки в одній із напівмуфт, а інша муфта містить встановлені з можливістю обертання ролики, які охоплено канатом. за рахунок такої конструкції вдається реалізувати роботу муфти в умовах значних не співвісностей, що теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено автором. В рамках теоретичних досліджень виконане обґрунтування конструктивно-силових параметрів муфти та за рахунок їх оптимізації отримані рекомендації щодо вибору раціональних їх значень, що дають можливість виконувати вибір конструктивних параметрів муфти, що забезпечують мінімізацію

навантажень її елементів. Виконано аналітичний опис роботи муфти в умовах неспіввісності, в рамках чого проаналізовано зміну її геометрії. Отримані вирази для оцінки видовження каната при роботі в таких умовах і виконане кількісне моделювання дали можливість довести, що канатно-роликові муфти мають низьку радіальну жорсткість і відповідно високу компенсуючу здатність. Розглянуті також процеси передачі енергії при роботі канатно-роликової муфти в умовах неспіввісності – показано джерела виникнення втрат в муфті та вирази для їх обчислення з отриманням співвідношень для коефіцієнта корисної дії. В рамках виконання експериментів було виконано дослідну оцінку енергетичних втрат у муфтах для чого виготовлено дослідний зразок зі змінними роликами і випробувано його на модифікованій установці для вивчення ККД зубчастих передач. В результаті виконання дослідів встановлено, що різниця між теоретичними і експериментальними значенням ККД не перевищує 4%.

П'ятий розділ містить результати досліджень параметрів та характеристик канатних муфт призначених для обмеження навантажень приводу та роботи в якості пускових. Тут описано запатентовані автором конструкції муфт, що працюють за рахунок екстракції канатів із затискних механізмів однієї з напівмуфт. Для таких муфт математично описано механізм виконання запобіжної функції та визначено час спрацьовування муфт. Аналіз структури розроблених автором фрикційних та профільних роликових відцентрових муфт розроблених і запатентованих автором, показав, що сполучення несівних елементів муфт з напівмуфтою канатами дозволяє зменшити кількість надлишкових зв'язків у механізмах муфт до нуля.

Обґрунтування механізмів передачі навантаження розробленими муфтами дало можливість оцінити якісні показники їх роботи, зокрема коефіцієнти точності спрацьовування та перевищення номінального моменту. Кількісний аналіз запропонованих розрахункових моделей дозволив довести, що застосування канатних елементів дозволяє суттєво підвищити точність спрацьовування муфт.

Шостий розділ присвячено розробленню основ конструювання та розрахунку затискних механізмів для закріплення сталевих канатів. Тут також вдало застосовано системно-морфологічний підхід до створення структурних схем

цих пристроїв, що дозволило охопити достатньо широку гаму можливих варіантів для застосування у різних конструктивних випадках. Розроблені конструкції затискних механізмів дозволяють виконувати заміну канатів без демонтажу чи навіть осьового зсуву сполучених муфтами агрегатів. Експериментально виконана оцінка несівної здатності розроблених затискних механізмів на базі виготовлено спеціального спорядження, що імітувало їх роботу, дозволило встановити, що між зусиллям затиску рухомих елементів та зусиллям екстракції каната існує прямо пропорційна залежність, що дозволяє виконувати розрахунок затискних механізмів. Виконані експерименти з оцінки зрізної міцності канатів дозволили встановити для них руйнівні напруження. Вагомим практичним наслідком цих дослідів стало те, що їх виконання уможливило конструювання деталей розроблених затискних механізмів, розроблення основ їх розрахунку з отриманням відповідного забезпечення у вигляді графіків та формулярів, що дозволяють спростити роботу конструктора-проектанта канатних муфт.

Загальні висновки до роботи коректно відображають основні її результати. Зміст автореферату та основних положень дисертації є ідентичними.

7. Загальні зауваження:

1. В роботі недостатньо уваги приділено характеристиці властивостей канатних елементів, які визначають механіку процесу передачі навантаження розробленими муфтами. Бажано висвітлити властивості канатів, описати характеристику дроту, його покриття, вид контакту дротів, вид серцевини каната, спосіб навивки, кути звивання та визначити загальні характеристики жорсткості канатів як основних пружно-дисипативних елементів розроблених муфт.

2. В роботі бажано більш детально розглянути робочі процеси защемлених канатів, механізми роботи та пружно-дисипативні процеси в защемленнях. В елементах затискного механізму виникають складні мікропереміщення деталей, наявні невизначені контактні деформації, фреттинг процеси. Вони повинні бути враховані при дослідженні роботи запропонованих конструкцій муфт. Схеми зрізу каната дещо спрощені. Не врахована специфіка структури та напружено-деформованого стану каната в області защемлення.

3. При аналізі робочих процесів у муфтах розглянуто в основному геометричні співвідношення і використані відповідні методи досліджень. Зовсім не розглянуті сучасні методи досліджень напружено-деформованого стану методом кінцевих елементів з використанням ефективних програмних продуктів (ANSYS або інших).

4. Методом кінцевих елементів бажано розглянути міцність фланців муфт з торцевою установкою прямих канатів. Розв'язання такої задачі було б доречним, оскільки фланці являють собою кільцеві пластини, оперті по центральному отвору і навантажені зосередженими моментами, а у відомій літературі розв'язання таких задач відсутнє.

5. В розділі 4, серед отриманих рекомендацій щодо розроблення канатно-роликкових муфт, не в повному обсязі наведено засади конструювання роликів, зокрема глибини їх ручаїв під установку каната, оскільки при роботі в умовах значних неспіввісностей цей параметр може мати вирішальне значення.

6. Окремі зауваження є по оформленню роботи: отримання основних розрахункових залежностей автор подає достатньо докладно, супроводжуючи значною кількістю ілюстрацій, що призвело до збільшення обсягу роботи; частина графічного матеріалу дисертації побудована нераціонально; не всі графіки мають вдало вибрану шкалу та позначення; окремі рисунки є нечіткими, а позначення на них громіздкими, що ускладнює роботу з ними. Це особливо стосується рисунків, що наведені в авторефераті.

7. Одна із важливих частин роботи (підрозділ 2.1), що присвячена уточненню класифікації муфт за видом, формою та установкою пружних елементів відносно напівмуфт в авторефераті викладена недостатньо досконало.

Наведені зауваження носять характер побажань і не вважають на загальну оцінку роботи.

8. Загальна оцінка роботи.

Дисертація «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами» є завершеним науковим дослідженням, викона на високому науково-технічному рівні, відповідає паспорту спеціальності 05.02.02 – машинознавство, діючим вимогам Міністерства освіти і науки України до докторських дисертацій,

зокрема вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", є актуальною, а її результати характеризуються науковою новизною та практичною цінністю. На основі викладеного, вважаємо, що автор дисертаційної роботи **Проценко Владислав Олександрович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Офіційний опонент,
 доктор технічних наук, професор
 кафедри конструювання верстатів та машин
 Національного технічного університету України
 «Київський політехнічний інститут
 імені Ігоря Сікорського»,
 заслужений діяч науки і техніки України

Струтинський В.Б.

Учений секретар Національного технічного
 університету України «Київський політехнічний
 інститут імені Ігоря Сікорського»



Мельниченко А.А.