

Вченому секретарю спеціалізованої  
вченої ради Д 35.052.06 при  
Національному університеті  
«Львівська політехніка»  
доц. Шоловій Ю.П.  
79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

### **Відгук**

офіційного опонента Луціва Ігоря Володимировича  
на дисертаційну роботу Проценка Владислава Олександровича  
на тему «Розроблення методології проектування муфт з канатними  
елементами», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних  
наук зі спеціальності 05.02.02 – машинознавство

### **Актуальність теми дисертації**

Дана дисертаційна робота присвячена розробці сукупності нових методів створення і проектування муфт із канатними елементами.

Ефективність технологічних процесів у різних сферах виробництва визначається в значній мірі підвищенням продуктивності технологічних машин. Це в свою чергу пов'язане із значним збільшенням статичних, а особливо динамічних навантажень на приводи машин та їх елементи. Таке збільшення навантажень може відбуватися при різних несприятливих умовах – широкому діапазоні зміни температур, тисків, а також у агресивному технологічному середовищі. Для зменшення перевантаження приводів та елементів машин доцільно застосовувати різного роду пружні з'єднувальні ланки. Серед таких компонентів вирізняються своєю відносною простотою і надійністю муфти із канатними елементами.

На даний момент такі муфти створені і застосовуються на практиці. Проте відчувається істотна потреба у створенні теорії та загальних методик розробки і проектування таких важливих технічних об'єктів.

При цьому видається можливим знаходження нових принципів роботи і конструктивного виконання муфт із канатними елементами, які б забезпечували нові позитивні ефекти з можливим відходом навіть від традиційних конструктивних рішень.

З цієї точки зору розвиток методології проектування муфт із канатними елементами з підвищеними техніко-економічними параметрами і розширеними функціональними можливостями є актуальною науково-технічною проблемою, яка має виражене народногосподарське значення.

## **1. Наукова новизна одержаних результатів**

Найбільш вагомим науковим результатом, який забезпечує вирішення поставленої в дисертації важливої науково-прикладної проблеми підвищення техніко-економічних показників приводів машин, є розроблення методології проектування муфт із канатними елементами шляхом поєднання їх структурного синтезу із науковим обґрунтуванням конструктивних параметрів.

При цьому вперше на рівні морфологічного синтезу структури пружних ланок змінної жорсткості розроблені основи створення нових пружних пристроїв із канатними елементами, які забезпечують регулювання жорсткості таких муфт у процесі функціонування. Уточнена автором класифікація пружних муфт різних конструкцій дозволила запропонувати методологію створення нових конструкцій постійних і запобіжних муфт. В роботі розвинуті математичні моделі компонування та передачі навантажень оригінальними канатними муфтами із торцевою установкою канатів тангенціального розташування в умовах неспіввісності валів. Також запропоновані моделі передачі енергії канатно-роликівими муфтами підвищеної компенсуючої здатності, що дало можливість обґрунтувати їх геометричні і силові параметри. Значна увага приділена математичному моделюванню кінематичної поведінки муфт із канатними елементами. Важливим аспектом наукової новизни дисертації є дослідження на основі запропонованих моделей процесу затиску і зрізу канатів у канатних муфтах, що дозволило оцінити їх навантажувальну здатність, проаналізувати напружено-деформований стан елементів муфт і науково обґрунтувати відповідні практичні рекомендації.

Такі наукові результати дисертаційного дослідження у поєднанні з представленими процедурами синтезу конструкцій досліджуваних технічних об'єктів дозволили у сукупності сформувати загальну наукову методологію проектування муфт із канатними елементами.

Наведені наукові результати є новими і до даного часу не були відомими.

## **2. Практична цінність одержаних результатів**

Найбільш важливими науковими результатами з точки зору практичної цінності є розроблені в роботі структурні схеми, конструкції і запатентовані нові зразки муфт із канатними елементами, які дозволяють підвищити техніко-економічні показники приводів технологічних машин та обладнання і розширити їх функціональні можливості.

Зокрема, запропоновані та досліджені нові конструкції: постійних і запобіжних муфт із торцевою установкою прямих канатів тангенціального розташування; канатно-роликкових муфт із підвищеною компенсуючою здатністю; запобіжних фрикційних і профільних муфт із канатними елементами.

Автором дисертації обґрунтовані практичні рекомендації стосовно застосування муфт із канатними елементами, а також розроблено методичку інженерного розрахунку та конструювання цих пристроїв.

Особливо слід відзначити, що практична цінність робота підтверджена 40 патентами України, з них 3 - на винаходи, що визначає визнання у світі високий технічний рівень роботи.

Отримані в дисертаційному дослідженні результати прийняті до впровадження на ХДП «Промавтоматика», ПАТ «Укрремфлот» та «Інституті проблем надійності машин і споруд».

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі Херсонської державної морської академії та Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні ряду навчальних дисциплін.

### **3. Апробація роботи та її відповідність планам наукових досліджень**

Дисертаційна робота виконувалась в рамках наукового напрямку «Навантажувальна здатність та динаміка машин і споруд циклічної дії» кафедри технічної механіки та динаміки машин Національного університету «Львівська політехніка», науково-дослідних робіт кафедри експлуатації судових енергетичних установок та загальної інженерної підготовки Херсонської державної машинобудівної академії «Обґрунтування параметрів та технологічного забезпечення виробництва пружних ланок машин з канатними елементами» (номер державної реєстрації 0116U003474) та «Дослідження і розробка нових матеріалів і технологій для експлуатації та ремонту засобів транспорту» (номер державної реєстрації 011UG000443). Основні питання дисертаційної роботи були представлені, обговорені та одержали схвалення на 27-и державних та міжнародних наукових і науково-технічних конференціях в Україні і закордоном. У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і схвалена на розширеному засіданні кафедри технічної механіки та динаміки машин Національного університету «Львівська політехніка».

#### **4. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації**

Теоретичні дослідження проведені на основі фундаментальних засад теорії технічних систем та машинознавства, автоматизації пошукового конструювання, методології пошуку нових технічних рішень і морфологічного синтезу, методів теоретичної механіки, теорії машин і механізмів та опору матеріалів і теорії розрахунку деталей машин, методів прийняття рішень та оптимізації.

В роботі використані сучасні ефективні інформаційні методи дослідження процесів. Експериментальні дослідження проведені в статистиці і у виробничих умовах, а також на діючих і розроблених автором стендах, а обробка їх результатів здійснювалась з використанням сучасних методів з використанням теорії експерименту і математичної статистики.

Достовірність одержаних результатів підтверджена обґрунтуванням припущень та відповідності результатів розрахунку експериментальним даним, відсутності логічних протиріч і відповідності фізичній сутності вирішуваних задач.

Використані в дисертації основні теоретичні положення та припущення є коректними і узгоджуються із загальноприйнятими в теорії технічних систем і машинознавства та дисциплінах щодо проектування і розрахунку машин. Обґрунтованість наукових результатів забезпечується коректністю поставлених мети та завдань досліджень, точністю використаних засобів вимірювання та підтвердженою адекватністю розроблених моделей.

#### **5. Відповідність змісту автореферату і дисертаційної роботи та висвітлення результатів роботи в наукових виданнях**

Автореферат у повній мірі відображає структуру дисертаційної роботи та за своїм змістом відповідає основним її положенням і висновкам. Оформлення автореферату забезпечує існуючі вимоги. Висновки, зазначені у дисертаційній роботі та в авторефераті, є ідентичними.

За результатами досліджень опубліковано 100 друкованих наукових праць, в тому числі: 18 статей у провідних фахових вітчизняних виданнях, 10 статей у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних (з них 2 статті – у закордонних виданнях), 5 статей, що додатково відображають результати досліджень, 27 матеріалів та тез доповідей міжнародних і державних конференцій, 40 патентів України (з них – 3 патенти на винаходи).

Об'єм публікацій в повній мірі відповідає вимогам до докторських дисертацій відповідно до п. 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

## 6. Структура, зміст та оформлення дисертації

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів основної частини, висновків і додатків.

Основна частина дисертації викладена на 429 сторінках і включає анотацію на 25 сторінках, повний текст становить 505 сторінок. Список використаних джерел складається із 410 найменувань на 44 сторінках. 10 додатків розміщені на 76 сторінках. Таким чином, об'єм і структура дисертаційної роботи відповідають вимогам, що визначені п.11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

Стиль тексту та оформлення дисертаційної роботи зауважень не викликають.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

**Перший розділ** присвячено аналізу базових конструкцій та основних видів відмов муфт як з неметалевими, так і з металевими пружними елементами. На основі вивчення комплексу наукових праць із створення, розрахунку, проектування та експлуатації пружних запобіжних пристроїв технологічних машин встановлена доцільність застосування канатних елементів у пружних ланках машин. Поряд з тим проаналізований сучасний стан досліджень канатів і канатних систем в аспекті їх розгляду як пружних елементів. Показано, що класифікація муфт із канатними елементами, як і моделі їх розрахунку, потребують уточнення з точки зору розвитку цих пружних пристроїв як технічних систем, а також удосконалення теорії їх проектування. Встановлено, що методика розробки таких об'єктів потребує застосування комплексного підходу, який би поєднував процедури структурного і параметричного синтезу.

В результаті проведеного аналізу стану питання автором сформульовано основну мету дослідження – розроблення загальної методології проектування муфт із канатними елементами - і задачі дисертаційної роботи, а також встановлені шляхи, методи і засоби досягнення поставленої мети.

**Другий розділ** розглядає структурну побудову пружних ланок машин з суцільно металевими та канатними елементами. Уточнена при цьому класифікація таких муфт дала можливість створити нові конструкції реверсивних та нереверсивних постійних муфт, а також запобіжної муфти з

екстрагованими канатами.

На основі формалізованої класифікації способів забезпечення змінної жорсткості пружних ланок машин з суцільно металевими і канатними елементами виділені нові способи забезпечення змінної жорсткості пружних ланок, а також запропонований алгоритм синтезу структури таких ланок із суцільнометалевими та канатними елементами. Вказаний алгоритм містить декілька етапів, а саме – вибір типу пружних елементів ланок; вибір способу зміни жорсткості пружної ланки; встановлення виконавчого руху пружного елемента; визначення параметрів керування робочого руху; встановлення механізму керування і вибір його типу. На цій основі створені нові конструктивні схеми муфт із пружними елементами, що доводить ефективність такого алгоритму.

**У третьому розділі** науково обґрунтовані параметричні характеристики постійних муфт з торцевою установкою канатів хордального і тангенціального розташування. При цьому використана однокритеріальна оптимізація. Також встановлені п'ять можливих геометричних умов існування таких муфт. Ці умови, на думку автора, є основою для конструювання та моделювання навантажувальної здатності муфт. Проведені дослідження дозволили автору виробити рекомендації щодо застосування муфт із канатами хордального розташування, а також муфт із канатами тангенціального розташування в залежності від накладених на систему умов конструювання і експлуатації.

В цьому розділі також побудовані математичні моделі передачі навантаження у муфтах з торцевою установкою канатів у випадку, коли існує не співвісність між валами. В результаті моделювання встановлено, що радіальне зміщення напівмуфт істотно впливає на перерозподіл навантаження між канатами. Доведено, що в таких умовах доцільно закріплювати канати шарнірно. Це сприяє зниженню рівня статичних і динамічних навантажень.

**Четвертий розділ** містить обґрунтування нових підходів щодо розрахунку параметрів і характеристик муфт підвищеної компенсуючої здатності із канатно-роликівими елементами.

На основі застосування мінімізаційної оптимізації навантаження на елементи муфт автором побудовані номограми для визначення геометричних параметрів канатно-роликових муфт, що значно спрощує процедури їх проектування. Загалом розроблений комплекс методів раціонального проектування канатно-роликових муфт високої компенсуючої здатності.

Слід зауважити, що також детально досліджено процес роботи канатно-роликових муфт в умовах неспіввісності валів. Оскільки ці муфти мають

понижену радіальну жорсткість порівняно з іншими аналогами, то вони забезпечують краще компенсування відповідних зміщень. Автором теоретично показано і експериментально підтверджено, що енергетичні втрати при роботі таких муфт є не дуже суттєвими, що дозволяє ефективно застосовувати їх на практиці. На основі моделювання, підтвердженого експериментом, автором вироблені рекомендації щодо проектування досліджуваних муфт.

**П'ятий розділ** присвячений дослідженням характеристик запобіжних муфт з канатними елементами для трьох випадків принципу їх функціонування: з екстракцією канатів із затискних механізмів, фрикційної дії та профільних відцентрових.

Зокрема, здійснено оцінку кінематичних параметрів муфт із канатами хордального і тангенціального розташування на основі визначення часу їх спрацювання та критичних частот обертання; обчислені навантаження та момент тертя фрикційних канатних муфт з циліндричними і конусними поверхнями тертя і встановлено точність спрацювання цих муфт; для запобіжних відцентрових муфт профільного типу обчислені номінальний момент, ступінь його перевищення, момент та коефіцієнт точності спрацювання.

**Розділ 6** присвячений обґрунтуванню параметрів затискних механізмів для закріплення сталевих канатів у напівмуфтах. З використанням методу морфологічного синтезу запропоновані 18 схем затискних механізмів. В основі розрахунку таких механізмів лежить оцінка їх навантажувальної здатності, яку перевіряли на спеціальній установці, в результаті чого отримані необхідні для практики характеристики процесу затискання канату. Також виконані експериментальні дослідженням зрізу канатів.

На основі отриманих результатів розглянуто напружено-деформований стан деталей затискних механізмів з подальшою розробкою основ їх конструювання та розрахунку.

Комплекс таких досліджень дозволив автору розробити функціональні алгоритми створення запропонованих затискних механізмів.

**У висновках** до роботи автором викладено найбільш важливі отримані наукові і практичні результати.

**В додатках** до роботи містяться використані в дисертації терміни, акти впровадження результатів досліджень на виробництві та у навчальний процес та інші документи.

## 7. Оцінка змісту дисертації

В цілому дисертаційна робота містить всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних підходів та технічних рішень до конкретних рекомендацій.

## 8. Зауваження до дисертації та автореферату

1. Перший розділ дещо переобтяжений інформацією про відомі конструкції муфт, амортизаторів, гасників коливань, а також докладним поданням еволюції формування моделей зведеної жорсткості сталевих канатів.

2. Зі змісту роботи не зрозуміло, чи аналізувався вплив похибок виготовлення деталей муфт на розподіл навантаження між канатами (розділ 3).

3. Для розроблених і досліджених у розділі 4 муфт підвищеної компенсуючої здатності доцільно було б обґрунтувати обмеження по робочій швидкості їх обертання.

4. При обґрунтуванні в 5 розділі параметрів муфт з екстракцією канатів не визначено характеристик точності їх спрацьовування та вплив на неї неспіввісності сполучених валів.

5. В 6 розділі автором доведено, що обчислення геометричних характеристик небезпечних перерізів пальців можна виконувати за спрощеними виразами (зокрема формула (6.41)), зручними для калькуляції вручну, проте сучасне програмне забезпечення дозволяє швидко виконувати обчислення навіть за базовими виразами і необхідність наведення таких спрощених виразів є суперечливою.

6. В рекомендаціях щодо конструювання та розрахунків затискних механізмів для закріплення сталевих канатів в основному звернено увагу на вибір геометричних параметрів деталей затискних механізмів, що проектуються. Бажано розширити рекомендації, охопивши при цьому вибір



ефективних матеріалів для їх виготовлення, урахувати технологічні аспекти, які впливають на працездатність деталей, зокрема їх втомну міцність.

7. Текст дисертації не вільний від пунктуаційних і граматичних помилок та русизмів, які зазвичай характерні для такого роду праць.

8. Автореферат містить повтори у розшифровках складових формул, наприклад формул (5) та (20).

Проте означені зауваження не знижують цінності дисертаційної роботи.

## 9. Загальна оцінка роботи

Дисертація на тему «Розроблення методології проектування муфт з канатними елементами» є завершеним науковим дослідженням, виконана на високому науково-технічному рівні, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій та, насамперед, вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», має актуальність, наукову новизну та практичну цінність, а автор дисертації Проценко Владислав Олександрович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство.

Офіційний опонент

завідувач кафедри конструювання  
верстатів, інструментів і машин  
Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя,  
заслужений працівник освіти України,  
доктор технічних наук, професор,

І.В. Луців

Підпис докт. техн. наук, проф. Луціва Ігоря Володимировича засвідчую:

Проректор з наукової роботи  
ТНТУ ім. І. Пулюя  
д.т.н., професор



Рогатинський Р.М.