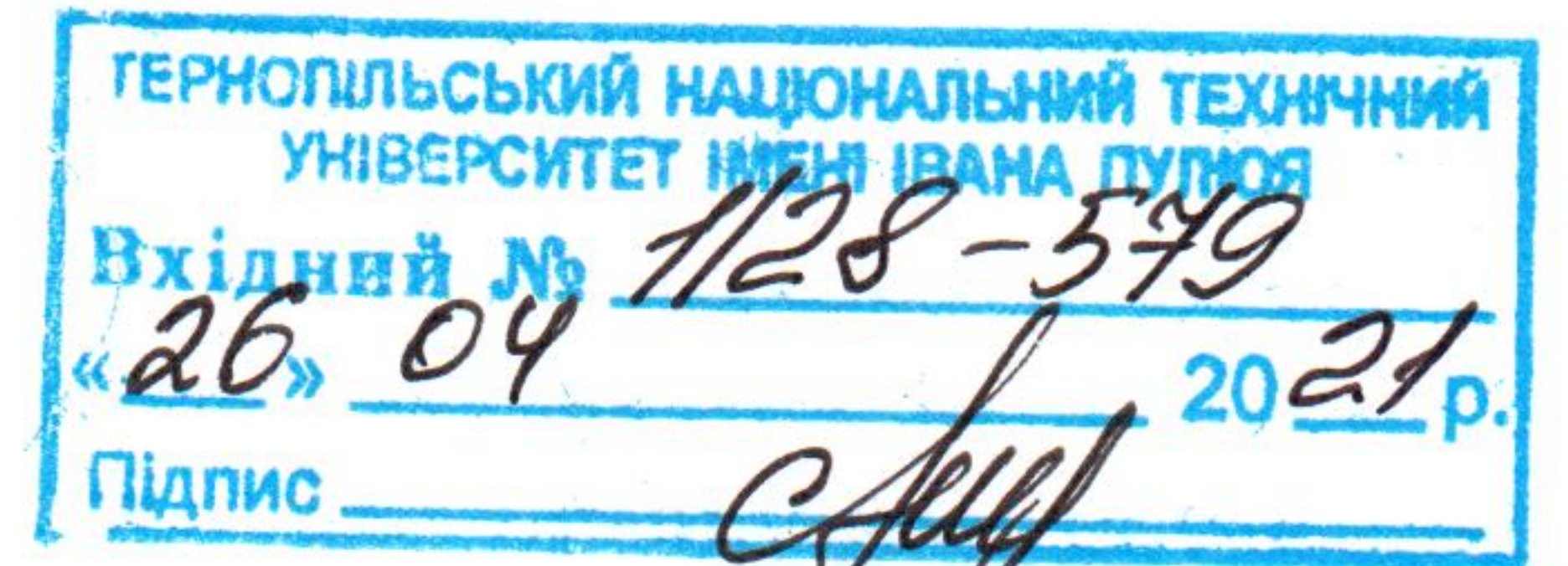


## ВІДГУК



офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національного університету водного господарства та природокористування, **Кондратюка Олександра Михайловича** на дисертаційну роботу **Навроцької Тетяни Дем'янівни «Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових секційних робочих органів машин»**, що представлена на захист у спеціалізованій вченій раді К 58.052.03 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

### **1. Актуальність роботи, її зв'язок із науковими програмами, планами та темами**

На сьогоднішній час розвиток машинобудування в умовах ринкової економіки вимагає нових підходів до підвищення експлуатаційних і технологічних параметрів машин, що дають можливість підвищити продуктивність праці та ефективність виробництва, покращити якість продукції. Це вимагає розширення номенклатури, створення й використання високоефективних ресурсощадних технологій виготовлення робочих органів машин.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені проектуванню та виготовленню гвинтових секційних робочих органів (ГСРО), залишаються відкритими питання щодо підвищення ефективності їх виготовлення із врахуванням їх конструктивних особливостей. Принциповою відмінністю таких конвеєрів є те, що гнучкий гвинтовий секційний робочий орган вільно (без опор) розташовується в еластичному кожусі і по його внутрішній поверхні переміщає матеріал в зону вивантаження. Перевагою такого типу конвеєра є можливість зміни траси транспортування і, відповідно, зони вивантаження виключно переміщенням технологічної магістралі при стаціонарному розташуванні бункера і елементів приводу.

Відповідно, важливою задачею є дослідження та розроблення ефективних технологічних процесів виготовлення ГСРО із вдосконаленням їх конструкції, що знаходять важливе застосування в різних галузях народного господарства.

Тому в межах означених завдань створення та практична реалізація раціональних технологічних процесів виготовлення нових конструкцій гнучких гвинтових секційних робочих органів з розширеними технологічними можливостями є **актуальним**, що сприяє впровадженню конкурентоздатної технології з високими техніко-економічними показниками, значному підвищенню експлуатаційної надійності та продуктивності праці.

Вирішення актуальної проблеми, що складає основу дисертаційної роботи, виконано відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 6 серпня 2014 р. № 385 “Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року”. Дисертаційна робота виконано відповідно до тематик наукового напрямку Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в рамках науково-дослідних держбюджетних тем: «Синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з розширеними



технологічними можливостями на основі САПР «Гвинтові конвеєри»» (№ державної реєстрації 0115U002450); «Моделювання, синтез і розроблення енергоефективних транспортуючих та перевантажувальних систем для технологічної обробки насипних вантажів» (№ державної реєстрації 0117U002240); «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів автоматизованих виробничих систем» (№ державної реєстрації 0117U003998).

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх вірогідність та новизна**

Обґрунтування наукових положень дисертаційної роботи Навроцької Т.Д. обумовлено тим, що завдання, поставлені у роботі, вирішувались за допомогою сучасних методів з використанням математичного моделювання, положень теоретичної механіки, методів диференціального числення, теорії ймовірності та математичної статистики. Експериментальні дослідження проведені з використанням як загальноприйнятих, так і розроблених методик й обладнання, методик планування багатофакторного експерименту.

Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались й представлялись на міжнародних науково-практичних конференціях, форумах і відображені у наукових працях, з них монографія у співавторстві, у наукових фахових виданнях, одна з яких опублікована в журналі за кордоном, та патентами України на корисні моделі, у матеріалах наукових конференцій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у дослідженні технологічних процесів виготовлення ГСРО з одержанням таких наукових результатів:

- вперше виведені аналітичні та емпіричні залежності для розрахунку силових і конструктивних параметрів процесу виготовлення елементів секційних гвинтових робочих органів конвеєрів методом навивання стрічок пристроєм з обертовою втулкою, який дозволяє розподілити навантаження на формоутворюючі ролики;

- отримала подальший розвиток модель формоутворення гвинтових секційних елементів способом навивання на оправу складного профілю, отримано аналітичні залежності для розрахунку силових параметрів формування гвинтових секційних заготовок складного профілю та їх зв'язок з конструктивними параметрами технологічного спорядження;

- набуло подальшого розвитку дослідження динамічних характеристик процесу калібрування гвинтових секційних заготовок (ГСЗ) на крок із щільно навитих витків змінного зовнішнього діаметра, що дає змогу визначити основні параметри процесу калібрування та встановити характер зміни величини деформацій складових приведеної системи із встановленням силових параметрів та динамічних навантажень процесу.

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає в удосконаленні технології формоутворення ГСРО підвищеної продуктивності, зменшенні собівартості та енергомісткості процесів їх виготовлення. Запропоновано практичні рекомендації щодо створення нових методів формоутворення та оброблення ГСРО, устаткування для їх виготовлення, спорядження для контролю технологічних параметрів.



Основні результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» для викладання дисциплін «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», «Технологія обробки типових деталей та складання машин», «Технологія та устаткування машинобудівних виробництв» на кафедрі інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Технічну новизну одержаних результатів захищено 5 патентами України на корисні моделі. Основні результати роботи впроваджено у ТДВ «Булат» (сmt. Микулинці).

У **першому** висновку наведено теоретичне узагальнення й нове вирішення науково-прикладної задачі розроблення та практичної реалізації раціонального технологічного процесу виготовлення гвинтових секційних робочих органів, що дозволяє підвищити ресурс і надійність, забезпечити працездатність деталей і вузлів у умовах експлуатації. Ця задача вирішена на основі досліджень силових параметрів та динаміки процесу калібрування гвинтових секційних робочих органів, що дає можливість розробляти технологію і виготовляти нові робочі органи з розробленням високопродуктивного технологічного оснащення для їх виготовлення.

У **другому** висновку досліджено процес навивання ГСЗ пристроєм з обертовою втулкою. Отримано аналітичні залежності, на основі яких встановлено момент навивання (згину) на ребро стрічки із матеріалу Ст 3 постійної ширини та товщини заготовки від зовнішнього радіуса ГСЗ (радіуса пустотілої формувальної втулки). Побудовані графіки зміни моменту навивання пристроєм з обертовою втулкою від ширини заготовки із зовнішніми радіусами в межах  $R = 50-150$  мм. Встановлено, що розподіл навантаження на формоутворюючі ролики залежить від конструктивного виконання пристосування, від технологічних зазорів між стрічкою і калібром, утвореним поверхнями оправки та роликів. Встановлено, що основний процес формоутворення (до 70-90 % формування кривини профілю) припадає на перший ролик, де здійснюється згин на ребро, та другий і третій ролики, що завершують процес згину стрічки.

У **третьому** висновку проведено дослідження силових параметрів процесу навивання стрічки на оправу складного профілю. Виведено аналітичні залежності радіуса кривизни профілю оправки, які використовується для визначення сили гнуття. Побудовані графічні залежності з яких видно, що при товщині стрічки  $H_0 = 1$  мм, сила гнуття профільної стрічки притискним роликом знаходиться в межах  $P_1 = 1500 - 1800$  Н, а момент, який необхідно прикласти для обертання оправки  $M_{кр} = 55 - 72$  Н·м, при  $H_0 = 1,5$  мм сила гнуття знаходиться в межах  $P_1 = 2200 - 2700$  Н, а момент  $M_{кр} = 80 - 108$  Н·м. Встановлено, що зусилля та момент формоутворення набувають максимального значення в процесі формування заготовки на частині оправки із найменшим радіусом кривизни, тобто в даному випадку при 105 та 250 градусах, найменші значення досягаються при 180 градусах, коли радіус гнуття є найбільшим.

У **четвертому** висновку досліджено процес калібрування конічних витків гвинтових заготовок на крок з розробкою технологічного оснащення. Отримані аналітичні залежності для визначення силових і конструктивних параметрів



процесу. Виведено рівняння пластичності з визначенням напружень в зонах стискування і розтягування витка, аналітичні залежності для визначення моменту розгинання витка, визначення осьової сили деформації витка і необхідного крутного моменту на приводі для здійснення калібрування ГСЗ на крок. Побудовані графічні залежності крутного моменту на приводі для матеріалу сталь 08кп від ширини витка при  $\alpha = 20^\circ$ , товщині  $H_0 = 2-4$  мм, а також ширини заготовки  $B_0 = 20-40$  мм. Встановлено, що збільшення ширини і товщини витка і кута нахилу клина приводить до збільшення крутного моменту на приводі при калібруванні заготовки на крок.

У **п'ятому** висновку проведено динаміку калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок. Встановлено, що при цьому процесі виникають динамічні коливання оправки, амплітуда коливань яких збільшується із збільшенням ширини витка, що впливає на міцність оправки. При цьому виведено диференціальне рівняння коливань на основі рівняння Лагранжа другого роду. Досліджено ударну взаємодію клина із витком конічної гвинтової заготовки і виведено аналітичну залежність для визначення сили удару клина і заготовки. Побудовані графічні залежності зміни кута деформації шпинделя верстату та оправки в часі в межах від 0 до 0,018 рад., лінійної деформації оправки для калібрування в напрямку осі  $y$  в часі від 0 до 0,043 мм, зміни лінійної деформації клина в напрямку осі  $z$  в часі від 0 до 0,064 мм, зміни лінійної деформації клина в напрямку осі  $y$  в часі від 0 до 0,082 мм. Встановлено, що деформації складових елементів системи в часі спочатку різко зростають, як наслідок ударних навантажень, а потім поступово зростають із затухаючими коливаннями при переміщенні клина до циліндричної частини заготовки.

У **шостому** висновку наведено експериментальні дослідження формування елементів ГСРО, розроблено і виготовлено експериментальні дослідні установки для визначення величини крутного моменту навивання ГСЗ пристроєм з обертовою втулкою, крутного моменту калібрування ГСЗ на крок, зусилля утворення сферичної втулки секції гвинтового робочого органа  $P_f$ , та тангенціальної сили різання  $P_z$  під час проточування заготовок гвинтових секційних робочих органів. Проведено комплекс експериментальних досліджень впливу зовнішнього радіуса оправки  $R$ , товщини  $H_0$  заготовки та ширини  $B_0$  заготовки в межах  $40 \leq R \leq 60$  (мм);  $1 \leq H_0 \leq 3$  мм,  $10 \leq B_0 \leq 30$  мм для заготовок із сталі 08кп та Ст 3 на зміни крутного моменту  $M_{3z}$  процесу навивання ГСЗ пристроєм з обертовою втулкою. Побудовані графічні залежності, які показують, що для сталі 08кп при  $H_0 = 2$  мм,  $R = 50$  мм і зміні  $B_0$  у межах від 10 до 30 мм значення крутного моменту навивання знаходиться в межах від 399 до 511 Н·м, а для сталі Ст 3 значення крутного моменту навивання зростає в 1,07 рази в порівнянні із значенням для сталі 08кп та знаходиться в межах від 431 до 548 Н·м.

У **сьомому** висновку представлено методику та результати експериментальних досліджень з отриманням рівнянь регресії для визначення залежності крутного моменту калібрування конічних витків гвинтової заготовки робочого органа на крок від зміни ширини, товщини спіралі та кута нахилу клина для матеріалу сталь 08кп. Крутний момент зростає до 79 Н·м з



факторним полем  $20 \leq B_0 \leq 50$  (мм);  $10 \leq \alpha \leq 30$  (град);  $2 \leq H_0 \leq 6$  (мм). Також проведено дослідження зусилля утворення сферичної втулки секції робочого органа від величини товщини заготовки  $S_1$ , діаметра заготовки  $D_1$ , радіуса сфери  $r_3$  у таких межах зміни вхідних факторів:  $1,2 \leq S_1 \leq 1,7$  (мм);  $40 \leq D_1 \leq 50$  (мм);  $20 \leq r_3 \leq 30$  (мм) з максимальним зусиллям 6,28 кН. Встановлено, що значення тангенціальної сили різання  $P_z$  під час проточування заготовок гвинтових секційних робочих органів збільшується при збільшенні глибини різання  $t$  прохідним різцем, подачі  $S$  прохідного різця та швидкості різання  $V$  у таких межах змінних параметрів  $0,5 \leq t \leq 1$  (мм);  $0,1 \leq S \leq 0,3$  (мм/об);  $100 \leq V \leq 180$  (м/хв).

У **восьмих** висновках проведено комп'ютерну модель гвинтового секційного робочого органу конвеєра. Порівняння отриманих результатів теоретичних досліджень, експериментів та комп'ютерного моделювання дозволяє зробити висновок про подібність отриманих значень та побудованих на їх основі відповідних графічних залежностей. Різниця між розрахунковими та експериментальними значеннями коливається в межах 8..14%. На основі проведеного комплексу теоретичних і експериментальних досліджень створено конкурентоздатні ГСРО, проведено їх техніко-економічне обґрунтування та розроблено методику інженерного розрахунку. Технічна новизна конструкцій захищена 5 патентами України на корисні моделі. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження технологічних процесів навивання ГСЗ складає 16995,79 грн. Технологічні процеси впроваджені у виробництво на підприємстві ТДВ «Булат» (сmt. Микулинці).

### **3. Повнота викладу основних результатів у наукових фахових виданнях**

Результатами дисертаційної роботи опубліковано 24 наукових працях, з них 1 – монографія у співавторстві, 13 – у наукових фахових виданнях, одна з яких опублікована в журналі за кордоном, 5 – патенти України на корисні моделі, 5 – у матеріалах наукових конференцій.

Зокрема, у фахових виданнях автором: розроблено теоретичні основи процесу калібрування витків гвинтового робочого органа, досліджено силові параметри формоутворення гвинтових елементів різного профілю, розглянуто методику проектування гвинтових робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів, досліджено динаміку процесу калібрування витка конічної гвинтової заготовки на крок, розроблено практичні рекомендації для виготовлення гвинтових секційних робочих органів гвинтових конвеєрів, компоновальні схеми обладнання та установки; представлено результати експериментальних досліджень.

### **4. Значущість дисертації для науки та практики**

Найважливіше практичне значення отриманих результатів роботи полягає в удосконаленні технології формоутворення ГСРО підвищеної продуктивності, зменшенні собівартості та енергомісткості процесів їх виготовлення. Запропоновано практичні рекомендації щодо створення нових методів формоутворення та оброблення ГСРО, устаткування для їх виготовлення,



спорядження для контролю технологічних параметрів.

Основні результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» для викладання дисциплін «Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин», «Технологія обробки типових деталей та складання машин», «Технологія та устаткування машинобудівних виробництв» на кафедрі інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Технічну новизну одержаних результатів захищено 5 патентами України на корисні моделі. Основні результати роботи впроваджено у ТДВ «Булат» (сmt. Микулинці).

## **5. Оцінка змісту дисертації, її завершеність**

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, і додатків. Загальний обсяг дисертації – 253 сторінки, в тому числі 84 рисунки, 22 таблиць, список використаних літературних джерел із 147 найменувань, 6 додатків. Обсяг основного тексту дисертації – 155 сторінок.

**У першому розділі** проведено аналіз та узагальнення відомих наукових напрацювань і проблемних питань із застосування методів проектування та виготовлення гвинтових робочих органів машин, обґрунтовано доцільність проведення досліджень та перспективність виготовлення ГСРО запропонованим новим методом.

Проведено патентний пошук комплексних методів проектування та виготовлення гвинтових робочих органів машин. На основі проведеного аналізу визначено наукові підходи та напрямки досліджень як вихідні дані для вирішення поставлених в роботі завдань.

**У другому розділі** наведено теоретичні передумови розроблення процесу формоутворення гвинтових секційних заготовок, зокрема із використанням пристрою з обертовою втулкою. Процес навивання стрічки на ребро з калібруванням за зовнішнім діаметром, внаслідок розподілу зусилля згину в контактній зоні притискної оправки, має свої особливості. Для їх виявлення розглянуто навивання стрічкової заготовки у пристосуванні, в якому пустотіла обертова втулка, що обертається від приводу верстату з кутовою швидкістю, формує зовнішній радіус витка.

Наведено розрахункову схему для дослідження силових параметрів процесу навивання стрічки на оправку складного профілю. Побудовані графічні залежності радіуса кривизни складного профілю оправки від кутового параметру та залежності зусилля гнуття і крутного моменту від кута повороту оправки складного профілю.

Наведено процес калібрування витка гвинтової заготовки на крок. Побудовані графічні залежності крутного моменту на приводі для здійснення калібрування гвинтової заготовки на крок від ширини та товщини витка при куті нахилу клина  $\alpha = 20$  град для сталі 08кп.

**У третьому розділі** розглядається комплексна програма та методика проведення експериментальних досліджень для вирішення завдань дисертаційної роботи. Для проведення експериментальних досліджень процесу навивання розроблено та спроектовано технологічне устаткування для виготовлення сферичної втулки ГСРО, формоутворення гвинтових секційних



заготовок пристроєм з обертовою втулкою, процесу калібрування на крок витків гвинтового секційного робочого органу із щільного навивання та сили різання під час проточування ГСЗ в автоматизованому режимі за допомогою перетворювача частоти Altivar та програмного забезпечення PowerSuite v.2.5.0, з отриманням на дисплеї комп'ютера даних про зміну крутного моменту.

Приведено необхідну послідовність статистичної обробки результатів досліджень для визначення коефіцієнтів рівнянь регресій, що адекватно описують досліджуваний процес.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень навивання гвинтової заготовки пристроєм з обертовою втулкою, калібрування витків гвинтових заготовок на крок та проточування крайніх витків заготовок гвинтових секційних робочих органів. На основі проведеного багатofакторного експерименту дослідження крутного моменту навивання гвинтової заготовки пристроєм з обертовою втулкою отримано регресійні залежності для визначення впливу величини зовнішнього радіуса оправки  $R_0$ , товщини заготовки та ширини заготовки на величину крутного моменту процесу навивання для стрічок із матеріалів сталь 08кп та Ст 3.

Представлено закономірності зміни величини тангенціальної сили різання під час проточування заготовок гвинтових секційних робочих органів машин. Величину тангенціальної сили різання  $P_z$  визначали залежно від зміни трьох основних факторів: глибини різання  $t$  прохідним різцем, подачі  $S$  прохідного різця та швидкості різання  $V$ .

Експериментально підтверджено адекватність проведених теоретичних досліджень процесу навивання гвинтової заготовки робочого органу.

**У п'ятому розділі представлено** комп'ютерну модель гвинтового секційного робочого органу конвеєра. Порівняння отриманих результатів теоретичних досліджень, експериментів та комп'ютерного моделювання дозволяє зробити висновок про подібність отриманих значень та побудованих на їх основі відповідних графічних залежностей. Різниця між розрахунковими та експериментальними значеннями коливається в межах 8..14%.

Запропоновано технологічне оснащення для виготовлення та контролю якості ГСЗ. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження технологічних процесів навивання ГСЗ складає 16995,79 грн.

## **6. Ідентичність змісту автореферату і головних положень дисертації**

Повнота викладу основних результатів дисертації Навроцької Т.Д. у наукових і фахових виданнях відповідає встановленим вимогам МОН України. Основні положення дисертаційної роботи ідентичні автореферату.

За своїм змістом, методологією, використанням основних понять, термінологією дисертаційна робота Навроцької Т.Д. відповідає спеціальності 05.02.08 - технологія машинобудування.

За темою дисертації автора опубліковано 13 праць у фахових виданнях, визначених МОН України для публікацій результатів дисертаційних робіт. Публікації повною мірою відображають результати дисертаційної роботи.

В цілому дисертація оформлена акуратно і написана логічною науковою мовою. Автореферат відображає основні положення дисертації та адекватно розкриває її зміст.



## 7. Зауваження до дисертаційної роботи та її автореферату

1. В першому розділі недостатньо уваги приділено перевагам і недолікам гвинтових секційних робочих органів і їх приводам з точки зору розширення їх технологічних можливостей. Оснащення, приведені у першому розділі, представлено в описовій формі без критичного аналізу.

2. Не зрозуміло як у математичних моделях вибиралися коефіцієнти тертя (експериментально, по довідникових даних) для різних типів пристроїв, що використовуються для виготовлення гвинтових секційних робочих органів.

3. Не вказано в яких межах знаходиться величина радіуса відпружинення гвинтової секційної заготовки після навивання.

4. В роботі не вказані похибки контрольних і вимірювальних інструментів при проведенні експериментальних досліджень.

5. Доцільно було б розглянути шляхи підвищення експлуатаційної надійності та довговічності робочих органів.

6. В роботі не вказано, яка нормативно-технологічна документація і методика використовувалися при розрахунку економічного ефекту.

7. В дисертаційній роботі та авторефераті зустрічаються невдалі звороти, висновки та є відхилення від встановленої термінології, описки тощо.

## 8. Висновок

Дисертаційна робота **Навроцької Тетяни Дем'янівни «Технологічне забезпечення виготовлення гвинтових секційних робочих органів машин»** є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв'язується наукове завдання розроблення технологічного процесу виготовлення нових конструкцій гнучких гвинтових секційних робочих органів з розширеними технологічними можливостями, що сприяє впровадженню конкурентоздатної технології з високими техніко-економічними показниками, значному підвищенню експлуатаційної надійності та продуктивності праці.

За актуальністю вибраного напряму дослідження, науковою та практичною цінністю отриманих результатів, представлена робота відповідає вимогам МОН, які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор, **Навроцька Тетяна Дем'янівна**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальності 05.02.08 - технологія машинобудування.

Офіційний опонент,  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри теоретичної механіки,  
інженерної графіки та машинознавства  
Національного університету водного  
господарства та природокористування

Підпис Кондратюка О.М. засвідчую  
начальник відділу кадрів НУВГІ



О.М. Кондратюк

О.Р. Цаль