

До разової спеціалізованої вченої ради
PhD10480 у Київському національному
університеті технологій та дизайну
01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська
(Немировича-Данченка), 2

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем.

Хмельницького національного університету, кандидата технічних наук,
доцента Неймака Віталія Станіславовича
на дисертаційну роботу Безуглого Дмитра Миколайовича «Удосконалення
швейних машин для виготовлення армуючих елементів композитних
виробів»,

що представлена на здобуття ступеня доктора філософії
у галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

Актуальність дисертаційної роботи

Стрімкий розвиток інноваційних виробничих технологій, зокрема в галузі композитних матеріалів, зумовлює необхідність створення гнучкого, адаптивного та економічно ефективного обладнання для формування армуючих структур із текстильної сировини. Поряд з традиційними технологіями (ткацтво, в'язання, плетіння) дедалі більшої уваги набуває швейна технологія як універсальний, високошвидкісний та доступний інструмент для виготовлення армуючих 2D- і 3D елементів преформ.

Швейні машини одониткового ланцюгового стібка типу 101 мають значний потенціал для інтеграції в автоматизовані лінії з виготовлення текстильних преформ для композитних виробів. Водночас їх серійні конструкції, спроектовані переважно для інших технологічних завдань (зшивання мішків, тимчасове ниткове з'єднання матеріалів сталої товщини), не відповідають сучасним вимогам адаптивності та гнучкого регулювання подачі нитки залежно від технологічних параметрів стібка, зокрема товщини матеріалів і довжини стібка.

Ключовою проблемою, що обмежує ефективність таких машин, є відсутність автоматичного налаштування під змінні технологічні параметри стібка, що залежать від геометрії армуючих преформ. Це спричиняє до нерівномірного натягу в стібках, деформацію армуючих елементів і, як наслідок, зниження міцності композитного виробу. Для вирішення цих проблем вимагає розробки адаптивних механізмів подачі нитки, які забезпечують процес подачі нитки у відповідності до поточних значень технологічних параметрів стібка.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Безуглого Д.М. є актуальною, оскільки спрямована на вирішення практично важливої задачі — удосконалення швейних машин шляхом аналітичного моделювання і конструктивної модернізації механізмів подачі нитки для виготовлення армуючих елементів композитних виробів, що відповідає сучасним вимогам до інженерних систем нового покоління.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана у Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД) на кафедрі механічної інженерії протягом 2021 - 2025 рр. у межах науково-дослідної роботи «Розробка каркасних 3D текстильних структур для композитних матеріалів та робочого процесу обладнання на засадах об'єктно-орієнтованого проектування».

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджуються логічною структурою дослідження, системністю аналізу та коректним використанням сучасних методів машинознавства, механіки, математичного моделювання і експериментальної верифікації. Аналітичні моделі функцій подачі нитки побудовано шляхом апроксимації емпіричних залежностей із використанням регресійного аналізу. Високий рівень відповідності моделей реальному процесу підтверджено значенням коефіцієнтів достовірності апроксимації $R^2 > 0,99$.

Методика експериментальних досліджень базується на прямих вимірюваннях функцій положень механізмів, подачі та зусилля натягу нитки із застосуванням тензометричних датчиків і високоточних приладів, що забезпечило отримання надійних та статистично обґрунтованих результатів. Було виконано багаторазову перевірку гіпотез і проведено аналіз чутливості моделей до змін вхідних технологічних параметрів, зокрема довжини стібка та товщини матеріалу. Верифікацію математичних моделей здійснено шляхом порівняння теоретичних залежностей з експериментальними значеннями, що дало змогу переконливо підтвердити їхню адекватність.

Проведений конструктивно-функціональний аналіз удосконаленого механізму подачі нитки підтвердив його здатність забезпечити стабільне формування стібка типу 101 при зшиванні багатошарових матеріалів, мінімізувати коливання натягу нитки та підвищити якість шва за умов змінних технологічних параметрів стібка.

Сформульовані наукові положення, висновки і практичні рекомендації ґрунтуються на поєднанні аналітичного моделювання й достовірного експериментального підтвердження, що забезпечує їхню практичну цінність і наукову валідність та адекватність.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розробленні та обґрунтуванні теоретичних і експериментальних засад удосконалення швейних машин одониткового ланцюгового стібка типу 101, призначених для виготовлення армуючих елементів композитних конструкцій, з реалізацією автоматизованого регулювання подачі нитки відповідно до змін технологічних параметрів стібка.

У межах виконаного дослідження вперше:

встановлено закономірності формування стібка типу 101 з урахуванням взаємодії робочих органів механізму подачі нитки за умов змінних технологічних параметрів стібка;

розроблено узагальнену аналітичну модель функції необхідної подачі нитки з урахуванням градієнтної залежності від довжини стібка та товщини матеріалів;

здійснено експериментальне визначення зусиль натягу нитки під час зшивання текстильних матеріалів різної товщини з використанням тензометричних методів;

побудовано узагальнену синхрограму взаємодії функціональних механізмів швейної машини при роботі з багатошаровими армуючими преформами.

Подальшого розвитку набули:

підходи до визначення дійсної та необхідної функції подачі нитки з урахуванням технологічних параметрів стібка;

методика застосування регресійного моделювання для оптимізації конструктивних параметрів механізму подачі нитки;

використання методу Монте-Карло для статистичного синтезу параметрів механізму подачі нитки в умовах варіативності вихідних даних.

Удосконалено:

класифікацію текстильних армуючих елементів шляхом введення дворівневої структури класифікації: за принципом формування армуючих ниток і за технологією побудови просторової преформи;

конструктивну схему механізму подачі нитки, спроєктовану на основі принципів функціональної адаптивності та призначену для автоматизованого регулювання довжини подачі нитки відповідно до змін технологічних вимог.

Практичне значення отриманих результатів

Полягає у можливості безпосереднього використання результатів під час проєктування, модернізації та дослідження механізмів подачі нитки в швейних машинах одониткового ланцюгового стібка типу 101. Отримані наукові й інженерні рішення мають прикладну цінність для впровадження у промисловість, освітній процес і науково-дослідну практику.

Зокрема:

- запропонована аналітична функція необхідної подачі нитки може бути використана як еталонна залежність для розрахунків механізмів у середовищах автоматизованого проєктування (CAD/CAE/CAM), що забезпечує достатню точність синтезу та моделювання технологічних процесів утворення стібка;

- розроблені регресійні моделі дають змогу здійснювати інженерну оцінку впливу технологічних параметрів (довжини стібка, товщини матеріалів) на подачу нитки та застосовуються для реалізації адаптивного керування процесом зшивання;

- результати оптимізаційного синтезу параметрів подачі нитки можуть бути впроваджені при модернізації серійного або спеціалізованого швейного обладнання, призначеного для виготовлення армуючих текстильних структур для композитних виробів;

- удосконалена швейна машина, оснащена приладами для вимірювання довжини подачі нитки та зусиль її натягу, функціонує як універсальна дослідна установка і може бути використана для проведення подальших експериментальних досліджень, тестування нових механізмів і перевірки моделей;

- створена експериментальна база, включно з методикою вимірювань, пристроями та результатами, придатна для інтеграції в освітній процес при підготовці фахівців інженерно-механічного та технологічного профілю, зокрема в рамках лабораторних практикумів і наукових гуртків.

Особистий внесок дисертанта полягає у виборі теми дослідження, постановці мети та вирішенні основних задач, формулюванні наукової новизни, плануванні експериментальних досліджень та аналізі отриманих даних, апробації проведених результатів досліджень, узагальненні та формулюванні висновків роботи. Наукові ідеї дисертаційної роботи та отримані результати, що виносяться на захист, особисто одержані автором.

Апробація результатів дисертації

Основні теоретичні положення, наукові результати та практичні розробки, викладені в дисертаційній роботі, доповідались, обговорювались та отримали позитивну оцінку на міжнародних наукових конференціях:

- на V Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інженерінг» (21-22 жовтня 2021 р., Київ, КНУТД);
- на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інженерінг» (20-21 жовтня 2022 р., Київ, КНУТД);
- на XV Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2023)» (25-26 травня 2023 р., Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»);
- на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інженерінг» (19-20 жовтня 2023 р., Київ, КНУТД);

- на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Мехатронні системи: інновації та інженерінг» (травень 2024 р., Київ, КНУТД);
- на XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2025)» (22-23 травня 2025 р., Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»).

Матеріали апробації опубліковані у збірниках тез зазначених конференцій, що підтверджується авторськими публікаціями у співавторстві з науковим керівником, колегами здобувачами вищої освіти. Здобувачем особисто виконано розробку технічних рішень, моделювання процесів, аналіз результатів і формулювання висновків.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях

Основні положення і результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковано 3 наукові статті у фахових виданнях: 2 - у виданнях категорії А, 1 - категорії В. Апробація результатів дослідження здійснена у формі 8 тез, оприлюднених на міжнародних наукових конференціях.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Детальне вивчення результатів дослідження свідчить про те, що дисертація, подана Безуглим Д.М. до захисту, є завершеною науково-дослідною роботою. Структура дисертації є чіткою і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 194 сторінок основного тексту, 78 рисунків, 48 таблиць, список використаних джерел -191 найменувань, додатки на 51 сторінках. Загальний обсяг дисертації - 267 сторінок).

У вступі автором обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, викладені наукова новизна і практичне значення результатів, наведені дані про особистий внесок автора та апробацію результатів досліджень.

У першому розділі подано огляд класифікацій текстильних армуючих елементів за вимірністю, орієнтацією волокон і технологією формування. Проаналізовано основні способи створення армуючих структур (ткацтво, в'язання, вишивання, зшивання, тафтинг, Z-штифтування) та їх придатність для виготовлення 2D- і 3D-композитів. Розглянуто особливості пошарового та наскрізного армування, переваги ниткових зв'язків у багатошарових пакетах. Детально проаналізовано технологічний процес утворення одноститкового ланцюгового стібка типу 101, взаємодію його основних робочих органів і вплив функцій подачі нитки на якість ниткового з'єднання. Виявлено недоліки типових конструкцій у частині автоматичного регулювання подачі нитки та відсутність повних синхрограм машин цього типу, за умов змінних технологічних параметрів стібка. Сформульовано завдання подальших досліджень щодо моделювання подачі нитки та розробки адаптивних механізмів.

У другому розділі проведено комплексне дослідження з удосконалення процесів формування армуючих текстильних структур для композитних виробів з акцентом на механічні аспекти. Запропоновано оновлену класифікацію виготовлення преформ за типом волокна, методу формування, структурною впорядкованістю та орієнтацією елементів, побудовану на технологіях ткацтва, плетіння, в'язання та шиття. Створено об'єктно-орієнтовану модель механіко-технологічної системи, що дозволяє виявляти переваги й недоліки технологій та визначати компоновку обладнання.

Досліджено процес утворення стібка типу 101, визначено функції положення голки, ниткоподавача, розширювача та зубчастої рейки, побудовано синхрограму їх взаємодії та отримано залежності дійсної подачі нитки. Запропоновано трирівневу модель силової рівноваги в стібку та ієрархічну модель 3D текстильної структури для інтеграції в CAD/CAE-системи.

Отримані результати формують наукову й методичну базу для розробки адаптивних механізмів подачі нитки, проектування сучасного швейного обладнання та автоматизованих систем виготовлення армуючих елементів у композитних виробах.

У третьому розділі виконано аналітичне та експериментальне дослідження роботи типової швейної машини GK-9-2 при формуванні стібка типу 101. Визначено функції положення робочих органів і подачі нитки. Сформована синхрограма дозволила дати оцінку та визначити параметри взаємодії всіх функціональних органів машини. Встановлено перевищення дійсної подачі нитки на 6,2-64,4 %, зростання натягу до 6,2 Н та залежність впливу технологічних параметрів стібка на функцію необхідної подачі нитки. Отримані результати підтверджують адекватність побудованих моделей і створюють основу для проектування нового адаптивного механізму подачі нитки, здатного забезпечити стабільну якість стібка при змінні його технологічних параметрах.

У четвертому розділі реалізовано практичне впровадження попередніх теоретичних і експериментальних напрацювань шляхом синтезу вдосконаленої конструкції механізму подачі нитки. Автором запропоновано механізм з можливістю автоматичного регулювання довжини подачі нитки залежно від змін у товщині матеріалу.

Проведено кінематичне моделювання ниткоподавачів та встановлено вплив параметрів нитконапрямників на функцію дійсної подачі нитки в процесі утворення стібка. Реалізовано конструкцію важільного механізму подачі нитки, інтегрованого з пристроєм притискної лапки, що забезпечує адаптацію подачі нитки до поточних умов процесу утворення стібка.

У розділі виконано побудову сімейства діаграм подачі нитки для різних умов (мінімальна, середня, максимальна товщина матеріалу), що

підтверджують ефективність нового механізму. Проведено порівняння з базовою конструкцією, яке засвідчило покращення рівномірності подачі нитки, зменшення зусиль натягу на 15–30 %, підвищення якості формування стібка. Встановлено перспективність застосування запропонованого механізму для створення армуючих 2D- і 3D-текстильних структур.

Загальні висновки по дисертації відповідають її змісту, стисло і логічно представляють основні наукові та практичні результати проведених досліджень.

Дотримання академічної доброчесності, відповідність анотації основним положенням дисертації

Аналіз тексту дисертаційної роботи дає підстави зробити висновок, що здобувач дотримувався вимог академічної доброчесності та загальних вимог. В основному тексті автором оформлено посилання на використані інформаційні джерела. Анотація відображає поетапність вирішення мети і завдань дисертації.

Дискусійні положення і зауваження до змісту дисертації

Відзначаючи актуальність теми представленої дисертаційної роботи, наявність досягнутих наукових та практичних результатів, загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, також є необхідність висловити окремі зауваження та побажання.

1. У першому розділі доцільно надати більш розгорнуту характеристику механізмів швейних машин із висвітленням їх конструктивних особливостей та принципів роботи. Водночас обсяг розділу є надмірним, що обумовлює можливість скорочення матеріалу без зниження змістової насиченості.

2. У таблиці 3.6 (стор. 142), де наведено значення максимального зусилля натягу нитки, виявлено нелогічність у розподілі параметрів $F_{\max}$ для різних товщин матеріалу. Зокрема: для товщини $m = 0,4$ мм зазначено $F_{\max} = 6,2$ Н, та $m = 8$ мм вказано значно менше значення - $F_{\max} = 1,28$ Н. З огляду на закономірності механіки процесу зшивання, при збільшенні товщини матеріалу зусилля натягу нитки зазвичай зростає, а не зменшується.

3. У четвертому розділі опис конструкції нового механізму подачі нитки подано занадто узагальнено, без необхідного рівня технічної деталізації. Відсутні робочі креслення, специфікації елементів та візуалізація вузлів.

4. У розділі, де описано експериментальні дослідження, зазначено, що як випробувальний матеріал використовувався картон, проте відсутні його фізико-механічні характеристики.

5. Незважаючи на загалом високий рівень наукового викладу, окремі підрозділи містять стилістичні нерівномірності, повтори та відсутність пояснень деяких термінів.

Загальний висновок та оцінка дисертації

Сформульовані вище зауваження не знижують загального позитивного враження від роботи, а можуть бути предметом обговорення і дискусії та побажаннями щодо подальшої дослідницької та практичної роботи.

Вважаю, що дисертаційне дослідження Д.М. Безуглого є повноцінною, самостійною науковою роботою. Викладені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що дисертація Д.М. Безуглого «Удосконалення швейних машин для виготовлення армуючих елементів композитних виробів», заслуговує позитивної оцінки.

Зміст дисертації, її структура відповідають вимогам наказу МОН України № 44 від 12 січня 2022р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Безуглий Дмитро Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем.

Хмельницького національного
університету, кандидат технічних
наук, доцент



Віталій НЕЙМАК