

Голові спеціалізованої вченої ради ДФ
70.052.034 у Хмельницькому національному
університеті, доктору технічних наук,
професору, проректору з наукової роботи
Хмельницького національного університету
Синюку Олегу Миколайовичу

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, лауреата Державної премії України в
галузі науки і техніки, заступника директора Київського фахового коледжу
прикладних наук Щербаня Юрія Юрійовича
на дисертацію **Поліщука Андрія Олеговича**

**«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ ДЛЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ»**

подану до захисту у спеціалізовану вчену раду ДФ 70.052.034 у
Хмельницькому національному університеті на здобуття наукового ступеня
доктора філософії за спеціальністю
133 - Галузеве машинобудування

1. Актуальність обраної теми дослідження

Аддитивні технології сьогодні найбільш динамічно розвиваюча галузь матеріального виробництва, яка дає можливість отримувати нові властивості виробів, економити час та матеріали при їх виготовленні. Беззаперечно можна вважати, що ступінь впровадження цих технологій є індикатором реальної індустріальної потужності держави. Характерною ознакою останніх років є

постійний ріст асортименту та кількості деталей, що виготовляються за адитивними технологіями. Означені тенденції знаходять свій відгук і в легкій промисловості де виробництва характеризуються широкою гамою технологічних процесів та обладнання, що призначено для реалізації останніх. І все ж, пори широке представлення у галузі як сучасних технологій та і обладнання, існує потреба у створенні новітніх рішень, що дозволяють отримати нову якість виробу і можливість оновлення устаткування в умовах виробництв різної виробничої потужності з опорою на ресурсощадні технології.

Перехід на цифровий опис виробу – CAD і використання АМ-технології приводить до кардинальних змін не тільки в технологічних процесах виготовлення виробів легкої промисловості, а й суттєво змінює саме обладнання для виробництв легкої промисловості і формує нові підходи до його проектування. Варіантом такого підходу є шнекові екструдери в обладнанні тривимірного друку, які використовують в якості вихідної сировини вторинні полімерні матеріали.

З урахуванням вище зазначеного, дисертаційна робота Поліщука Андрія Олеговича, яка присвячена удосконалення обладнання тривимірного друку для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини, особливостями форми шнекових екструдерів, як їх конструкції так і окремих структурних елементів на основі використання сучасних інформаційних технологій, дозволить вирішити цілу низку проблем, які є ключовим фактором підвищення якості та конкурентоспроможності готової продукції виробництв легкої промисловості.

Обраний напрям досліджень є перспективними та економічно вигідним для підприємств галузі.

Дисертаційна робота Поліщука А.О. виконана у Хмельницькому національному університеті у рамках договору про творчу співдружність між ПП «Кредо» та Хмельницьким національним університетом: «Розробка

обладнання для рециклінгу полімерних відходів взуттєвого виробництва» (№ 02-2021ТС, номер державної реєстрації 0121U110126), 2021-2024 р.р.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх вірогідність

Дисертаційна робота Поліщука Андрія Олеговича вміщує в собі низку авторських наукових положень, вискоків і рекомендацій, які становлять науковий інтерес та відповідність існуючим вимогам до наукових робіт такого рівня.

У роботі використано теоретичні, експериментальні методи дослідження та статистичної обробки результатів експериментів, що дозволило отримати достовірні результати. Одержані результати і положення дисертації забезпечено методологічною обґрунтованістю її вихідних позицій, системним аналізом теоретичного й емпіричного матеріалу; застосуванням методів дослідження, адекватних меті і завданням; результатами експериментальних досліджень та кількісним і якісним аналізом їх даних.

Сформована Поліщуком А.О. теоретична основа є достатньо об'ємною і репрезентативною. Об'єм інформаційної бази відповідає його меті і завданням, автором використано достатньо велику кількість наукових та інших джерел, згідно списку їх кількості складає 128 найменувань, з яких третина викладена іноземною мовою. Кількість та якість використаних джерел створили необхідні передумови для забезпечення достатнього рівня достовірності та обґрунтованості дисертаційної роботи.

Постановка проблеми, мети і завдань, визначення об'єкта і предмета є коректними, відповідають існуючим вимогам. Усе вищенаведене дає змогу констатувати достатню обґрунтованість роботи, її виконання на належному науковому рівні.

Метою дисертаційного дослідження Поліщука Андрія Олеговича є удосконалення обладнання тривимірного друку за рахунок встановлення шнекового екструдера, що використовує гранули чи подрібнені відходи

полімерів в якості вихідної сировини для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості

Об'єктом дослідження є процеси тривимірного друку при виготовленні деталей та виробів легкої промисловості.

Предметом дослідження є шнековий екструдер обладнання тривимірного друку для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості.

Висновки дисертаційного дослідження відповідають поставленим завданням.

У першому розділі тексту дисертації наведено огляд робіт за тематикою роботи, де також визначені напрямки та основні задачі дослідження.

У другому розділі представлені теоретичні дослідження параметрів шнекового екструдера, а саме математична модель, що пов'язує об'ємну продуктивність з геометричними параметрами шнеку, визначено тиск в зоні живлення полімерного матеріалу. Проведено конструктивний аналіз шнека екструдера, ступінь стиснення в зоні шнека і визначені параметри, що впливають на процес екструзії і ефективність переробки вторинної сировини. Наведено залежності об'ємної продуктивності, тиску та споживаної потужності в зоні дозування. Виконано варіативний пошук сопел шнекового екструдера та запропоновано їх конструктивні зміни, виходячи з характеру руху полімеру у екструдері. Виконано розрахунок потужності приводу шнекового екструдера з урахуванням фізико-механічних властивостей полімеру та кінематичних параметрів робочих органів обладнання тривимірного друку з використанням програмного середовища MathCad.

У третьому розділі виконано експериментальні дослідження тривимірного принтера де основна увага приділена шнековому екструдеру. На підставі досліджень сформульовано вимоги до шнека, а також визначені чинники що впливають на продуктивність, рівномірність подачі розплавленого полімеру та працездатність пристрою. Виконана розробка зразка шнекового екструдера за допомогою програмного комплексу

SolidWorks та визначені оптимальні, для певного складу полімерного середовища, параметри пристрою, а також характеристики міцності для всього устаткування в цілому. Проведено комплексне вивчення проблеми охолодження шнекового екструдера на основі теоретичних та експериментальних досліджень і запропоновані ефективні засоби конструктивного характеру та застосування нових термостійких матеріалів.

У *четвертому розділі* наведені результати експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей подрібнених полімерних відходів. Представлено обґрунтування вибору сировини. З використанням активного планування експерименту отримані регресійні залежності об'ємної продуктивності в залежності від діаметра подрібненого полімеру, частоти обертання шнеку та температури плавлення пластику. Визначені характеристики процесу і параметри конструкції, що суттєво впливають на продуктивність екструдера та оптимізації процесу тривимірного друку.

У *п'ятому розділі* виконане експериментальне дослідження фізико-механічних властивостей полімерних матеріалів які використовуються в пристроях об'ємного друку. Визначені переваги використання певних полімерних матеріалів у реальному виробництві. Проведені комплексні дослідження на напівфабрикатах виробів легкої промисловості. Визначені характеристики міцності виробів при застосуванні багатоциклічного та знакозмінного навантаження. Надані рекомендації для впровадження результатів дослідження у реальний процес виробництв легкої промисловості.

В кінці кожного розділу отримані результати підсумовуються висновками. Висновки дисертаційної роботи узагальнюють результати проведених досліджень.

Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 262 сторінки, з яких обсяг основного тексту становить 179 сторінок. Структура дисертаційної роботи логічна, матеріали розділів викладено відповідно до мети і поставлених завдань, що відповідають сутності об'єкту і предмету досліджень.

Достовірність результатів досліджень підтверджується апробацією роботи на наукових конференціях, публікаціями у наукових виданнях України та виданнях, що входять до міжнародних баз даних.

3. Достовірність та наукова новизна одержаних результатів, повнота їх викладу в опублікованих працях

Достовірність та наукова новизна дослідження не викликають сумнівів. Емпірична база дисертаційного дослідження виглядає переконливо, що забезпечує необхідний ступінь наукової достовірності.

Наукова новизна дисертаційного дослідження Поліщука А.О. простежується в положеннях, що виносяться на захист, отриманих результатах, висновках і рекомендаціях, сформульованих ним.

Низка авторських положень мають наукову новизну результатів дослідження, серед яких слід відмінити наступні:

- вперше встановлено залежність об'ємної продуктивності шнекового екструдера від діаметра подрібнених полімерних відходів, частоти обертання шнеку та температури плавлення полімеру для двох видів полімерів на основі регресійних рівнянь; що у свою чергу дозволило створити умови для пошуку оптимально доцільного процесу виготовлення виробів легкої промисловості;

- розвинуто аналітичний метод дослідження і визначення оптимальних конструктивних елементів екструзійного устаткування, який включає розрахунок коефіцієнта опору сопел, об'ємної продуктивності, тиску в шнековому каналі, потужності приводу;

- на основі аналітичного дослідження розподілу температурних зон шнекового екструдера запропоновано нову систему його охолодження, що запобігає перегріву полімерного матеріалу в завантажувальному бункері та підтримує стабільність процесу виготовлення деталей і виробів;

- експериментально досліджено характеристики подрібнених полімерних відходів, як вихідної сировини для шнекового екструдера

обладнання тривимірного друку та побудовано регресійну модель залежності насипної густини від діаметра полімерних часток.

Положення наукової новизни дослідження достатньою мірою відображені у змісті дисертаційного дослідження і підтверджені ґрунтовими висновками дисертанта.

Повноту викладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, підтверджується матеріалами апробації та оприлюднення результатів дисертаційного дослідження у наукових публікаціях Поліщука А.О. у фахових наукових національних та міжнародних виданнях, в опублікованих тезах доповідей на міжнародних, всеукраїнських науково-практичних конференціях.

За результатами досліджень дисертації опубліковано 38 наукових праць, серед яких 13 статей у наукових фахових виданнях України у тому числі 2 статті у виданні, яке входить до міжнародної науко – метричної бази Scopus та 1 патент України на корисну модель. Апробація роботи засвідчена у 16 публікаціях в матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій та у 9 публікаціях, що додатково відображають наукові результати дисертації.

Наукові публікації відповідають вимогам п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44). В публікаціях дисертант повною мірою висвітлив усі основні положення, які виносяться на захист, що підтверджує повноту викладення та розкриття теми дисертаційної роботи.

4. Практичне значення і впровадження одержаних результатів дослідження

Результати наукових положень, висновків і науково-практичних рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Поліщука А.О. можуть

бути безпосередньо використані у науково-дослідній роботі, навчальному процесі, підприємствах легкої промисловості, а також сервісними підприємствами для обслуговування обладнання виробництв легкої промисловості. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

- розроблено класифікацію сопел для об'ємного друку та запропоновано їх геометричні параметри які відповідають вимогам шнекової екструзії;
- узагальнено класифікацію полімерних матеріалів для тривимірного друку виробів легкої промисловості з огляду на їх фізико-механічні властивості;
- виконано класифікацію методів нанесення зображень на тканину;
- розроблено класифікацію обладнання для потреб легкої промисловості, що працює за FDM технологією;
- визначено параметри бункера, шнека, сопла для заданої об'ємної продуктивності шнекового екструдера;
- запропоновано програму розрахунку параметрів шнекового екструдера та потужності його приводу;
- основні результати досліджень впроваджені на ПМП «Вітнел», ПП «КМ-Поділля», ТОВ «Спарк-Швейне обладнання» з сумарним економічним ефектом 97 тис. гривень.

Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційному дослідженні Поліщука А.О., знайшли практичне застосування в освітньому процесі Хмельницького національного університету на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем для спеціальності 133 Галузеве машинобудування, зокрема при вивченні дисциплін «Сучасні 3D-технології виробництва», «Сучасні технології та обладнання виробництв галузі».

5. Оцінка ідентичності анотації та основних положень дисертації

Анотація ідентична основним положенням, викладеним в тексті дисертації, оформлена українською та англійською мовами. Являє собою лаконічний загальний виклад основного змісту дисертації.

Анотація відповідає вимогам, що ставляться до робіт такого роду, зокрема вимогам, передбаченим пунктом 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів від 12 січня 2022 р. №44, а також пунктом 2 Вимог до оформлення дисертації, затверджених Наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. №40.

6. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Поліщука А.О., варто зазначити окремі зауваження, на які доцільно звернути увагу при дискусійному розгляді цієї дисертаційної роботи:

- введене автором поняття “неізотропність” (стр.80-82) не є досить коректним, так як у даному випадку, з урахуванням фізичної моделі процесу, щодо гранул, порошку і тиску скоріше доречно ввести поняття анізотропність;
- при застосуванні певних виразів (2.30), (2.31), (2.39) у тексті дисертаційної роботи необхідно наводити посилання на літературні джерела;
- потребує корегування або уточнення рівняння (2.75), так як его перша складова не співпадає за розмірністю з двома останніми складовими;
- висновок де коефіцієнт, що враховує геометричні параметри може мати від’ємне значення, приводить до того, що у свою чергу коефіцієнт опору кінцевого кільцевого каналу тоді отримує від’ємне значення за рахунок того, що чисельник рівняння (2.74) більше нуля. Тоді слід очікувати ефект надтекучості полімерного матеріалу, що на практиці не спостерігається.
- рівняння (3.1) складається з двох компонент, значення яких треба шукати у [121] для розрахунку крутного моменту. Було б доцільно навести ці данні у тексті роботи, що спростую процес верифікації;

- після етапу розрахунку шнека екструдера і перевірки його на міцність бажано все ж таки, на підставі сформульованої тези (стр.119) «...умови та фактори, які можуть призвести до механічних збоїв у роботі шнека та екструдера в цілому.», визначити їх. Крім того, обумовити відмову від перевірки шнека на жорсткість;

- наведене на стр.125 поняття «...сильна флуктуація..» вимагає більш чіткої характеристики, в кількісних показниках і межах її існування;

- виникає питання щодо доцільності введення в рівняння (4.12) статистично не значимих коефіцієнтів рівняння регресії. Сама математична модель процесу, а потім і графічна інтерпретація результатів дослідження (рис.4.17-4.18) свідчить про виключно лінійний характер зміни об'ємної функції продуктивності і як слідством цього є знаходження оптимуму на межі параметрів що варіюються. Аналогічне зауваження відносяться і до рівняння (4.20);

- в певних розрахунках (стр.161,168,254-258), що стосуються точності обрахування коефіцієнтів рівняння регресії, дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії мабуть доцільно обмежуватись, що не погіршить результати дослідження, тисячними долями.

7. Загальний висновок та оцінка дисертації

Дисертація Поліщука Андрія Олеговича є закінченою, самостійно виконаною науково-дослідною роботою, яка містить нові наукові положення, має теоретичне та практичне значення. За рівнем актуальності теми, новизною та закінченістю виконаних досліджень, обґрунтованістю і достовірністю висновків дисертаційна робота «Удосконалення обладнання тривимірного друку для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості» заслуговує позитивної оцінки.

Зміст дисертації, її структура відповідають паспорту спеціальності 133 - Галузеве машинобудування.

Науковий рівень та практична цінність дисертації відповідають вимогам

пп.6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44), які висувуються до дисертацій на здобуття наукового доктора філософії, а її автор Поліщук Андрій Олегович заслуговує присудження наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки, заступник
директора Київського фахового коледжу
прикладних наук



Юрій Щербань