

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з навчальної роботи  
Національного технічного  
університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
к.філос.н., проф.  
Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО



“21” березня 2024 р.

**ВИТЯГ**  
з протоколу № 9 від 13 березня 2024 р. розширеного засідання  
кафедри конструювання машин  
Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

**БУЛИ ПРИСУТНІ:**

- з кафедри конструювання машин НН ММІ:

1. Данильченко Ю. М. - професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри КМ
2. Адаменко Ю. І. – доцент, кандидат технічних наук
3. Бесарабець Ю. Й. - доцент, кандидат технічних наук
4. Беляєва А. Ю. - доцент кандидат технічних наук
5. Вакуленко С. В. - старший викладач
6. Верба І. І. - доцент, кандидат технічних наук
7. Вовк В. В. – доцент, кандидат технічних наук
8. Гаврушкевич А.Ю. – доцент, кандидат технічних наук
9. Гаврушкевич Н. В. – асистент
10. Горбатенко Ю. П. - старший викладач
11. Даниленко О. В. - доцент, кандидат технічних наук
12. Джулій Д. Ю. - доцент, кандидат технічних наук
13. Івановський О. А. - доцент, кандидат технічних наук
14. Ковальов В. А. - доцент, кандидат технічних наук, доцент
15. Кравець О. М. - доцент, кандидат технічних наук

16. Красновид Д. О. - доцент, кандидат технічних наук, заступник завідувача кафедри з навчально-виховної роботи
17. Кузнєцов Ю. М. - професор, доктор технічних наук
18. Лукавенко В. П. - доцент, кандидат технічних наук
19. Майборода В. С. - професор, доктор технічних наук
20. Майданюк С. В. - доцент, кандидат технічних наук
21. Мініцька Н. В. - доцент, кандидат технічних наук
22. Петришин А. І. - старший викладач, кандидат технічних наук
23. Проценко П. Ю. - старший викладач, кандидат технічних наук
24. Ромашко А. С. - доцент, кандидат технічних наук
25. Саленко О. Ф. - професор, доктор технічних наук
26. Самойленко О. В. - доцент, кандидат технічних наук
27. Солодкий В. І. - доцент, кандидат технічних наук
28. Струтинський В. Б. - професор, доктор технічних наук
29. Шевченко О. В. - професор, доктор технічних наук
30. Юрчишин О. Я. - доцент, кандидат технічних наук
31. Протасов С. В. - провідний інженер
32. Пасічник В. А. - професор, доктор технічних наук, проректор з наукової роботи НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського
33. Плівак О. А. - завідувач науково-дослідної (експериментальної) лабораторії вимірювальної техніки НН ММІ

- з кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів НН ММІ:

1. Пискунов С. О. – професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри ДМ та ОМ
2. Бобир М. І. - професор, доктор технічних наук, член кореспондент НАН України
3. Мусієнко О. С. асистент, кандидат технічних наук

- з кафедри прикладної гідроаеромеханіки і мехатроніки НН ММІ:

1. Струтинський С.В. – професор, доктор технічних наук, заступник директора ММІ з наукової роботи,

- з кафедри біобезпеки і здоров'я людини ФБМІ:

1. Худецький І. Ю. - професор, доктор медичних наук

- з кафедри виробництва приладів ПБФ:

1. Антонюк В. С. - професор, доктор технічних наук.

## **СЛУХАЛИ:**

1. Повідомлення аспірантки кафедри конструювання машин Бурбурської Світлани Валеріївни за матеріалами дисертаційної роботи “Технологічне забезпечення виготовлення індивідуальних деталей ендопротезів на базі адитивних технологій”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія, за спеціальністю 131 – Прикладна механіка. Освітньо-наукова програма Прикладна механіка.

Тему дисертаційної роботи “Технологічне забезпечення виготовлення індивідуальних деталей ендопротезів на базі адитивних технологій” затверджено на засіданні Вченої ради НН ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від “23” листопада 2020 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради НН ММІ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від “30” жовтня 2023 року).

Науковим керівником затверджений д.т.н., професор Пасічник В.А.

## **2. Запитання до здобувача.**

Запитання по темі дисертації ставили:

- 1) Професор, доктор технічних наук Шевченко О. В.
- 2) Професор, доктор технічних наук, член кореспондент НАН України Бобир М.І.
- 3) Професор, доктор технічних наук Майборода В.С.
- 3) Професор, доктор технічних наук Шевченко О. В.
- 4) Професор, доктор технічних наук Данильченко Ю. М.
- 5) Професор, доктор технічних наук Саленко О.Ф.

## **3. Виступи за обговореною роботою.**

В обговоренні дисертації взяли участь:

- 1) Професор, доктор технічних наук Струтинський В. Б.
- 2) Професор доктор технічних наук Данильченко Ю. М.
- 3) Професор доктор технічних наук Саленко О.Ф.

## **УХВАЛИЛИ:**

**ПРИЙНЯТИ** такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

### **1. Актуальність теми дослідження**

Кастомізація ендопротезів була затребувана з початку використання даних виробів але сильно обмежувалась рівнем техніки. Найчастіше процес індивідуалізації відбувався інтраопераційно (під час проведення хірургічного втручання), що не могло забезпечити гарний кінцевий результат, та вимагало збільшення часу на виконання операції. З розвитком технологій візуалізації внутрішніх структур та тканин, таких як комп'ютерна томографія та

магнітно-резонансна томографія, з'явилася можливість не лише побачити органи, кістки, судини, та інш., а й провести вимірювання: геометричні, структурні та навіть фізичні. Однак питання індивідуалізації ендопротезів лишалось відкритим, як на рівні розробки та проектування так і на рівні безпосереднього виготовлення медичного виробу. Оскільки індивідуальний ендопротез – це виріб одиничного виробництва, конструкція якого ніколи більше не повториться, то виготовлення його методами субтрактивного або дистрибутивного формоутворення може значно вплинути, як на вартість самого продукту, так і на час його виготовлення. У окремих випадках конструкція імпланту навіть може бути змінена через технічні обмеження конвенціональних технологій. Розвиток адитивних технологій прямим чином вплинув на розвиток пацієнт-специфічних імплантів, та є базовим у технологічному процесі виготовлення цих медичних виробів. Відсутність науково обґрунтованого зв'язку між набором, послідовністю і змістом етапів технологічної підготовки виготовлення деталей індивідуальних ендопротезів та супровідної оснастки, що в сукупності призводить до неприйнятних строків виконання завдань, низького рівня забезпечення точності й слабкого прогнозування економічної складової.

Наявність комп'ютерно-інтегрованої технології проектування, виготовлення та встановлення хірургічним шляхом деталей індивідуальних ендопротезів, що базується на системному підході й причинно-наслідкових зв'язках етапів, формування цифрових даних для випадків індивідуального проектування основних і допоміжних деталей ендопротезів, забезпечення їх якості і точності технологічними методами та супроводу хірургічної операції дозволить сукупно скоротити строки технологічної підготовки та виготовлення за умов забезпечення точності та прийнятних економічних показників.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Наукове дослідження проводилось в рамках виконання кафедрою конструювання машин КПІ ім. Ігоря Сікорського прикладної науково-дослідної роботи “Застосування адитивних технологій в машинобудуванні та суміжних високотехнологічних галузях”, номер державної реєстрації 0123U104188.

## **3. Наукова новизна отриманих результатів**

1. Вперше запропоновано комп'ютерно-інтегровану технологію проектування і виготовлення кастомних ендопротезів людини, основним процесом якої є адитивний тривимірний друк. На основі системного аналізу визначені складові технології та встановлено причинно-наслідкові зв'язки

між ними, визначені їх параметри, які безпосередньо впливають на якість і продуктивність отримання результату.

2. Запропоновано комп'ютерно-інтегровану технологію проєктування і виготовлення базувати на засадах реверсивного інжинірингу, а вирішення задачі створення індивідуальних ендопротезів розглядати через реалізацію одразу двох комплексних технологій виготовлення індивідуального імпланту та виготовлення індивідуальної хірургічної оснастки.

4. Математично описано складові комп'ютерно-інтегрованої технології та визначено причини, що впливають на ймовірність настання відповідної події, що є науковою основою для прогнозування часових витрат для досягнення результату – вчасного встановлення кастомного імплантату. Вирішено завдання знаходження максимуму продуктивності за умови гарантування якості ключових результатів.

#### **4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи**

Практично досліджено особливості окремих етапів для клінічних випадків, що потребують кастомного ендопротезування з точки інтеграції до загальної комп'ютерно-інтегрованої технології, який підтвердив результативність створеної комплексної комп'ютерно-інтегрованої технології проєктування і виготовлення кастомних ендопротезів та оснастки, а також її високу ефективність з точки зору термінів технологічної підготовки виробництва імплантів та хірургічної технологічної оснастки, передопераційної підготовки та проведення самої операції. Визначення змісту і параметрів інтегрованого технологічного процесу з основним адитивним процесом виготовлення деталей медичного призначення, виявлення і контроль всіх значущих параметрів різних етапів технологічного процесу, дозволив створити практичні рекомендації для всіх етапів від процедур сканування об'єкту хірургічного втручання до контролю виготовлених деталей, інструментарію і оснастки для проведення операції. Результати дисертації широко впроваджені, шляхом застосування проєктно-технологічних рішень у понад 300 хірургічних операцій в Україні, що підтверджується відповідним актами впровадження. Важливість результатів для суспільства та їх вагомість підтверджені численними публікаціями у засобах масової інформації.

#### **5. Апробація/використання результатів дисертації.**

Результати дослідження представлено в 4 тезах доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

## 6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Бурбурської С.В., визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

## 7. Перелік публікацій за темою дисертації/

За результатами досліджень опубліковано 13 наукових публікацій, у тому числі:

- 2 статті у наукових фахових виданнях України. За спеціальністю, 131 – Прикладна механіка – 1 стаття, в якій число співавторів (разом із здобувачем) не більше двох осіб; за спеціальність 163 – Біомедична інженерія, в якій число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб.

- 3 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection, з яких 2 видання – Q4, та одне видання- Q3.

- 4 патенти України на корисну модель;

- 4 тез виступів на наукових конференціях.

1. Бурбурська С. В., Пасічник В. А.. “Можливості адитивних технологій у виготовленні високотехнологічної продукції машинобудування та біомедичної інженерії”. *Технічна інженерія*, вип. 1(89), Липень 2022, с.21-26, Вітчизняне фахове видання категорії Б. (особистий внесок авторки полягає у визначенні основних можливостей і трендів застосування адитивних технологій у проектуванні й виготовленні високотехнологічних деталей в машинобудуванні та біомедичній інженерії).

2. Kozei A., Nikolov N., Haluzynskiy O., and Burburska S.. “Method of Threshold CT Image Segmentation of Skeletal Bones”. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, vol. 3, no. 1, Feb. 2019, pp. 4-11, Вітчизняне фахове видання категорії А. (особистий внесок авторки полягає у постановці завдання, підборі первинних матеріалів та апробації методики сегментації, аналізу отриманих результатів).

3. Pasichnyk V., Kryvenko M., Burburska S., Haluzynskiy O.. “Design and Engineering Assurance for the Customized Implants Production Using Additive Technologies”. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.*, 2021, pp. 81–94. Іноземне видання, Scopus Q4. (Авторкою визначено зміст основних етапів інженерного забезпечення виготовлення індивідуальних імплантів на базі адитивних технологій та їх логічна послідовність).

4. Kadyroldina A., Alontseva D., Voinarovych S., Łatka L., Kyslytsia O., Azamatov B., Khozhanov A., Prokhorenkova N., Zhilkashinova A. and Burburska S.. “Microplasma spraying of hydroxyapatite coatings on additive manufacturing titanium implants with trabecular structures”. *Materials Science-Poland*, Vol.40

(Issue 4), 2022, pp. 28-42, Іноземне видання, Scopus Q3. *(особистий внесок авторки полягає у визначенні технологічних особливостей забезпечення виготовлення дослідних зразків на базі адитивних технологій)*).

5. Pasichnyk V., Burburska S., Lashyna Y., Korenkov V.. “Integrated Process Model for Development and Manufacturing of Customized Orthopedic Implants”. *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2024, pp. 193–208, Іноземне видання Scopus Q4 (особистий внесок авторки полягає у визначенні змісту, параметрів та технологічних особливостей етапів інженерного супроводу розробки та виготовлення індивідуальних ортопедичних імплантатів)*).

6. Патент на корисну модель № 133354. “Спосіб передопераційного планування хірургічного лікування захворювань”. Бурбурська С. В., Галузинський О. А., Чорний В. С.. Зареєстровано 25.03.2019 р.. *(особистий внесок авторки полягає у визначенні інтеграції етапів інженерного забезпечення формування у передопераційному плануванні хірургічного лікування при онкологічних захворюваннях, новоутвореннях кісткової тканини)*

7. Патент на корисну модель № 135130. “Спосіб інтегрованого тривимірного моделювання індивідуальних анатомічних структур”. Косяков О. М., Гребенніков К. О., Милосердов А. В., Федін Є. М., Бурбурська С.В., Галузинський О. А., Ніколов М.О., Козей А.С.. Зареєстровано 10.06.2019 р., Бюл. № 11, 2019. *(Авторкою розроблено та описано спосіб інтегрованого тривимірного моделювання індивідуальних анатомічних структур)*

8. Патент на корисну модель № 139362. “Спосіб передопераційного планування інтраопераційної навігації при встановленні гленоїдного компонента ендопротеза плечового суглоба”. Косяков О. М., Гребенніков К. О., Милосердов А. В., Федін Є. М., Бурбурська С. В., Галузинський О. А., Гребенніков Ю.К., Кривенко М. О.. Зареєстровано 26.12.2019 р.; Бюл. № 24, 2019. *(Авторкою розроблено та описано спосіб передопераційного планування інтраопераційної навігації при встановленні гленоїдного компонента ендопротеза плечового суглоба)*

9. Патент на корисну модель № 139965. “Персоналізований напрямляч для встановлення гленоїдного компонента ендопротеза плечового суглобу”. Косяков О. М., Гребенніков К. О., Милосердов А. В., Федін Є. М., Бурбурська С. В., Галузинський О. А., Гребенніков Ю. К., Кривенко М. О.. Зареєстровано 27.01.2020 р., Бюл. № 2, 2020. *(особистий внесок авторки полягає у інженерному забезпеченні формування набору початкової інформації, інженерному забезпеченні виготовлення вихідних матеріалів на базі адитивних технологій)*).

10. Пасічник В. А., Бурбурська С. В., Кутуза В.В. “Питання вимірювання параметрів точності ендопротезів, виготовлених з використанням адитивних технологій”. *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: Матеріали XX Міжнар. наук.-техн. конф.*, 10-13 вересня 2019 р.: – Київ-Херсон, 2019. – С.223-226.

<http://conf.mmi.kpi.ua/proc/article/view/172544/179700>. (особистий внесок авторки полягає у визначенні перспективних напрямків застосування адитивних технологій в медицині при виготовленні серійних і кастомних ендопротезів, а також на прикладі деталі “аугмент” показано виділення трьох типів поверхонь - кріпильні, ґратчаста структура, загальна макро-форма).

11. Пасічник В. А., Бурбурська С. В., Кривенко М. О. “Конструкторське та технологічне забезпечення виготовлення індивідуального діафізарного стегнового імплантату по типу ферми”. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції*. м. Суми, 25-26 листопада 2020 року, Суми, СумДУ, 2020. – 183 с., С.50-53, [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80866/3/Mashynobuduvannia\\_2020.pdf](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80866/3/Mashynobuduvannia_2020.pdf). (особистий внесок авторки полягає у визначенні змісту, технологічних особливостей та послідовності реалізації етапів інженерного супроводу розробки та виготовлення індивідуального діафізарного стегнового імплантату по типу ферми).

12. Пасічник В. А., Бурбурська С. В. “Можливості адитивних технологій у виготовленні високотехнологічної продукції машинобудування та біомедичної інженерії”. *Збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент»*, 5–6 листопада 2021 року. – Житомир, 2021. – С. 11-13 <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/11.pdf>. (особистий внесок авторки полягає у аналізі і визначенні сучасного стану і перспективних напрямів застосування адитивних технологій у біомедичній інженерії).

13. Пасічник В. А., Бурбурська С. В., Лашина Ю. В.. “Моделювання і адитивне виготовлення хірургічних навігаторів для кастомних ортопедичних імплантатів”. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023) : матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.), 2023. – Т. 1. – 366 с.. - С. 207-208. ISBN 978-617-7932-46-7, <http://ir.stu.cn.ua/123456789/27912>. (особистий внесок авторки полягає у визначенні переліку ключових ресурсів, необхідних для моделювання та



*адитивного виготовлення хірургічних навігаторів, визначенні залежності критеріїв вартості та часу).*

Якість та кількість публікацій відповідають “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 України від 12 січня 2022 р. № 44”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Бурбурської Світлани Валеріївни “Технологічне забезпечення виготовлення індивідуальних деталей ендопротезів на базі адитивних технологій”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – механічна інженерія за спеціальністю 131 – прикладна механіка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського «Прикладна механіка» зі спеціальності 131 – прикладна механіка.

#### РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Технологічне забезпечення виготовлення індивідуальних деталей ендопротезів на базі адитивних технологій”, подану Бурбурською Світланою Валеріївною на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПП ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

Доктор технічних наук, професор кафедри конструювання машин КПП ім. Ігоря Сікорського, Саленко Олександр Федорович.

Члени:

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор кафедри технологія машинобудування КПП ім. Ігоря Сікорського, Воронцов Борис Сергійович.

Доктор технічних наук, професор кафедри динаміки, міцності машин та опору матеріалів КПП ім. Ігоря Сікорською, Крищук Микола Георгійович.

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національного університету «Львівська політехніка», МОН України, Кусий Ярослав Маркіянович.

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», МОН України, Гаращенко Ярослав Миколайович.

Головуючий на засіданні



д. т. н., проф. Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

Вчений секретар  
кафедри конструювання  
машин



к. т. н., ст. вик. Павло ПРОЦЕНКО