

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Яблонського Петра Миколайовича**  
**«Інтегроване комплексне геометричне моделювання ґрунтообробних  
знарядь».**

подану до спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06  
у Київському національному університеті будівництва і архітектури  
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

### **Актуальність теми дослідження.**

Створення сучасних технічних об'єктів, у тому числі сільськогосподарських ґрунтообробних знарядь, характеризується широким застосуванням інтегрованих CAD/CAM/CAE/PLM систем, що покращує якість промислової продукції, зменшує витрати на її проєктування, виготовлення та експлуатацію. Методологія прикладної геометрії дозволяє проводити ефективні наукові дослідження шляхом розроблення якісно нових інноваційних теорій для покращення конкурентоздатності різноманітних виробничих систем.

На засадах напрацьовань загальної методології прикладної геометрії, у даному дослідженні розроблено спеціальну теорію інтегрованого комплексного геометричного моделювання технічних об'єктів, подану на прикладі ґрунтообробних знарядь. Створено спеціальний інструментарій, який сприяє здійсненню комплексної багатокритеріальної оптимізації складних промислових виробів. На базі цього розширено відомий топологічний ряд геометричних моделей, моделями із новими якісними характеристиками, що при ітераційному варіантному опрацюванні великого числа технічних об'єктів, для фахівців різного профілю, комплексно виконують узгоджувальну та узагальнюючу роль.

Створення зазначеної спеціальної теорії обумовлено також потребою систематизації, якісного оновлення та розвитку існуючих здобутків наукової школи КПІ ім. Ігоря Сікорського «Геометричне моделювання об'єктів, процесів та явищ». У такому розумінні, в даній роботі виконано інтеграцію напрацьованих напрямків структурно-параметричного формоутворення технічних об'єктів, розроблення сільськогосподарських машин, досліджень у галузі багатовимірної геометрії.

Необхідність у високоефективних засобах комп'ютерного конструювання різноманітної технічної продукції, в тому числі цифровізації процесів виготовлення та експлуатації ґрунтообробних знарядь, вимагає новітніх якісних ефективних науково-прикладних рішень. У нинішніх складних умовах воєнного часу в Україні сільське господарство відіграє визначну роль в економіці нашої

держави. Тому вдосконалення відповідного виробництва є нагальним та важливим із точки зору національної безпеки нашої держави.

Таким чином, **актуальність** теми даної дисертаційної роботи, базується на необхідності розширення теоретичного ядра прикладної геометрії, шляхом розроблення спеціальної теорії інтегрованого комплексного геометричного моделювання та належного інструментарію для якісно нового дослідження багатопараметричних складних технічних об'єктів і процесів на прикладі ґрунтообробних знарядь.

Дисертацію виконано в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки згідно з науково-дослідною темою 0114U002701 «Автоматизоване варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність.**

Достовірність отриманих автором результатів забезпечується коректним формулюванням та розв'язком поставлених задач. Наведені в дисертаційній роботі наукові положення, зроблені висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими належними математичними викладками, виконаними комп'ютерними експериментами, побудованими відповідними моделями, здійсненими впровадженнями у практику.

Зазначені результати спираються на загальноприйняті підходи сучасної науки. Дисертантом у проведених дослідженнях успішно використано методи аналітичної, диференціальної, обчислювальної, нарисної геометрії; апроксимації та інтерполяції; математичного аналізу; теорії множин і графів; комп'ютерної графіки; теорії алгоритмів; програмування; проєктування, виготовлення та експлуатації ґрунтообробних знарядь; структурно-параметричної оптимізації.

Напрацьовані наукові положення та рекомендації достатньою мірою висвітлені у фахових виданнях та апробовані на науково-практичних конференціях. Загальні висновки по дисертаційній роботі є достовірними з наукової та практичної точок зору.

### **Наукова новизна результатів дослідження.**

#### **У роботі вперше:**

– розроблено спеціальну теорію, методологію та інструментарій інтегрованого комплексного геометричного моделювання для якісно нового дослідження багатопараметричних складних технічних об'єктів і процесів на прикладі ґрунтообробних знарядь;

– розроблено нові способи комп'ютерного інтегрованого комплексного геометричного моделювання (способи інтегрованих класифікацій для

автоматизованого формоутворення груп технічних об'єктів; спосіб узагальненого контуру; спосіб зменшення області проєктних розв'язків);

– на основі напрацьованих способів розроблено нові інтегровані комплексні геометричні моделі полицевих, дискових і чизельних сільськогосподарських знарядь;

– розроблено узагальнену геометричну модель робочих поверхонь широкої номенклатури полицевих і чизельних знарядь, з метою комплексної їх оптимізації;

– визначено залежності змінювання кутів розпушення, обертання та зсуву ґрунту полицевих робочих поверхонь, що особливо важливо для забезпечення високих агротехнічних показників сільськогосподарських знарядь;

– обґрунтовано можливість використання методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання в інших (не сільськогосподарських) сферах життєдіяльності.

#### **У дисертації вдосконалено:**

– базові положення структурно-параметричного формоутворення об'єктів за рахунок запровадження методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання.

#### **У дисертаційній роботі отримали подальший розвиток:**

– теоретичне ядро прикладної геометрії в частині розроблення спеціальної теорії інтегрованого комплексного геометричного моделювання для якісно нового дослідження багатопараметричних складних технічних об'єктів і процесів;

– теорія автоматизованого проєктування технічних об'єктів у вигляді запропонованих інтегрованих комплексних геометричних моделей на прикладі ґрунтообробних знарядь.

#### **Оцінка змісту дисертації.**

Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та трьох додатків.

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету та завдання виконаного дослідження, сформульовано наукову новизну отриманих результатів, подано відомості про їхню апробацію і впровадження у практику, зазначено кількість публікацій здобувача.

У **першому розділі** проаналізовані літературні джерела, які систематизовано за такими напрямками: геометричне моделювання технічних об'єктів, процесів їхнього виготовлення та експлуатації; комп'ютерне автоматизоване формоутворення; методологія структурно-параметричного геометричного моделювання; системи землеробства; створення сільськогосподарської техніки, підвищення її якості, перспективи автоматизації; актуальні задачі землеробської механіки; моделювання технологічних процесів обробітку ґрунту.

Було зроблено висновки про те, що: для сучасного автоматизованого проектування технічних об'єктів фундаментальну складову становлять теоретичні засади, методологія та інструментарій прикладної геометрії; сучасне автоматизоване конструювання технічних об'єктів реалізується в середовищі інтегрованих CAD/CAM/CAE/PLM систем; для параметричного конструювання структурно-параметричне формо-утворення є теоретичним узагальненням; необхідність створення нової інноваційної методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання; акцентовано важливість підвищення продуктивності ґрунтообробних знарядь; для землеробської механіки актуальними є питання формування вдосконалених теоретичних засад оброблення ґрунтів; опрацювання технологічних процесів обробітку ґрунту потребує математичних описів застосовуваних машин і механізмів, їхніх робочих органів, методик раціонального вибору конструкцій. Ці висновки обумовили зміст і характер виконаних наукових досліджень.

У **другому розділі** розроблено спеціальну теорію, методологію та інструментарій інтегрованого комплексного геометричного моделювання для якісно нового дослідження багатопараметричних складних технічних об'єктів і процесів на прикладі ґрунтообробних знарядь. Це дозволило узагальнити вже відомі методи структурно-параметричного моделювання промислової продукції, процесів її виготовлення та експлуатації, підходи до сільськогосподарського машинобудування, використання апарату багатовимірної геометрії. Зокрема, розроблено: спосіб інтегрованих класифікацій для автоматизованого формоутворення груп технічних об'єктів, який реалізує продуктивне комп'ютерне геометричне моделювання належної номенклатури; спосіб узагальненого контуру, що базується на структурно-параметричному підході до формоутворення, є доволі універсальним, оскільки придатний для ефективного проектування різноманітних груп технічних об'єктів; спосіб зменшення області проектних розв'язків, який дозволяє визначати раціональні величини параметрів і характеристик опрацьовуваних технічних об'єктів та процесів, є інваріантною складовою запропонованої спеціальної інтегрованої комплексної методології автоматизованого формоутворення. Важливим теоретичним здобутком другого розділу є запропоноване узагальнення кривих Безьє, із застосуванням ступеневі параметризації.

У **третьому розділі** дисертації основну увагу приділено використанню запропонованих узагальнених геометричних моделей для ефективного комп'ютерного конструювання ґрунтообробних знарядь. Акцентовано важливий, в аспекті інтеграції та комплексного підходу, момент, що запропоновані результати досліджень здатні охоплювати процеси проектування доволі різних, з точки зору обробітку ґрунту, знарядь. У даному випадку це стосується полицевих

та чизельних знарядь.

Для конструювання даних робочих органів застосовуються лінійчасті поверхні, зовнішній контур яких можна розглядати як топологічний чотирикутник. Основними недоліками існуючих методик їх моделювання є: процес здійснюється лише графічними засобами; обмежена номенклатура опрацьовуваних робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь; відсутність орієнтації на комп'ютерну техніку; значна трудомісткість побудови великого числа варіантів проєктованих поверхонь; брак гнучкого і прогнозованого змінювання форми та розмірів досліджуваних робочих органів; неможливість точної реалізації в системах CAD/CAM/CAE. Це зумовило необхідність напрацювання відповідного нового математичного апарату формоутворення поверхонь ґрунтообробних знарядь, який викладено у даному розділі.

Здійснено комп'ютерне варіантне формоутворення циліндричних (параболічних, еліптичних, гіперболічних), циліндроїдальних загального вигляду, квазіконоїдальних і гелікоїдальних поверхонь та гіперболічних параболоїдів. Особливу увагу приділено визначенню аналітичних залежностей змінювання кутів розпушення, обертання та зсуву ґрунту проєктованих робочих поверхонь відвалів плугів, що доволі важливо для досягнення необхідних високих агротехнічних показників. Проведено оптимізацію вузлів конструкції стрілочастих лап із використанням структурно-параметричних геометричних моделей.

Таким чином, у даному розділі дисертації висвітлено практичну реалізацію напрацьованих теоретичних положень, методології та інструментарію інтегрованого комплексного геометричного моделювання на прикладі формоутворення робочих поверхонь полицевих і чизельних знарядь.

**Четвертий розділ** присвячено ґрунтообробним дискам, зокрема, методології раціонального вибору типу ротаційних знарядь, узагальненої класифікації ґрунтообробних дисків, комп'ютерному геометричному моделюванню даних робочих органів, відтворенню технологічних операцій їхнього виготовлення.

Популярність цих сільськогосподарських знарядь обумовлена сучасними прогресивними тенденціями, стосовно ефективності обробітку ґрунту. Порівняно з плугами зазначені технології забезпечують зменшення витрат пального, сприяють збереженню вологи у ґрунті, його структури, зміцнюють протиерозійні фактори тощо. Велике розмаїття обставин застосування вказаних дисків спричинило належні їхні чисельні різновиди. Розглянуто використання побудованих комп'ютерних твердотільних моделей для виконання розрахунків на міцність методом скінченних елементів. З позицій інтегрованого комплексного підходу при оптимізації геометрії сільськогосподарських знарядь їхнє визначення, з точки зору агротехнічних вимог, обов'язково треба поєднувати не тільки з розрахунками на міцність, а й із питаннями технології виробництва, експлуатації,

економічними, екологічними та ін. Розроблено математичну модель деформації вихідної заготовки (прямого кругового циліндра з висотою, яка суттєво менша за діаметр його основи) в оболонку тієї ж товщини з серединною поверхнею у вигляді сферичного сегмента потрібного радіуса та висоти.

Отже, в даному розділі, на прикладі ґрунтообробних дисків, розглянуто додаткові питання методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання технічних об'єктів, які належним чином доповнюють проаналізовані відомості щодо полицевих і чизельних робочих органів.

У **п'ятому розділі** описано процеси використання ґрунтообробних знарядь, розглянутих у попередніх частинах дисертації. Удосконалено конструювання лемішно-полицевих плугів, за рахунок ефективної графічної візуалізації відповідних аналітичних залежностей та побудови належних комп'ютерних твердотільних моделей.

Побудовано комп'ютерні твердотільні геометричні моделі можливих варіантів конструювання плугів. Це стосується стадії ескізного проєктування, коли визначаються принципові рішення для створюваної конструкції, які дають загальне уявлення про призначення, головні параметри та характеристики опрацьовуваного виробу.

Для дискових знарядь напрацьовано нову математичну модель профілю борозни, виконано відповідне конструювання конструкцій, досліджено вплив їхніх параметрів на показники обробітку ґрунту. Розроблено комп'ютерну твердотільну геометричну модель конструювання конструкції дискатора, в якого робочі органи встановлені на індивідуальних стояках із необхідними кутами атаки та відхиленнями від вертикалі. Проаналізовано залежність агротехнічних показників від конструкційних параметрів дисків. Це продемонстровано на прикладі застосування запропонованого способу зменшення області проєктних розв'язків.

Розкрито питання раціонального конструювання культиваторів на стадії ескізного проєктування, що проілюстровано на прикладі варіантних комп'ютерних твердотільних геометричних моделей, які в якості робочих органів застосовують проаналізовані у третьому розділі дисертації ґрунтообробні лани. Акцентовано увагу на важливому аспекті інтегрованого комплексного підходу стосовно уніфікації застосовуваних конструкційних елементів.

Таким чином, у цій частині дисертаційної роботи розглянуто важливі питання математичного та комп'ютерного моделювання процесів обробітку ґрунту.

У **шостому розділі** наведено відомості стосовно аналізу отриманих у дисертації наукових результатів із точки зору теорії та практики, визначено напрямки вдосконалення запропонованої методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання, розширення сфери її використання.

До одержаних практичних результатів, зокрема, відносяться: виконаний

всесторонній аналіз літературних джерел; узагальнена аналітична модель поверхонь полицевих і чизельних ґрунтообробних знарядь, орієнтованих на ефективне використання сучасних комп'ютерних засобів; розроблений математичний апарат визначення кутів розпушення, обертання та зсуву ґрунту полицевих робочих поверхонь, що особливо важливо для забезпечення високих агротехнічних показників сільськогосподарських знарядь; запропонований інструментарій для формування області проєктних розв'язків, з метою підвищення ефективності процесів опрацювання технічної продукції; розроблені комп'ютерні геометричні моделі полицевих і чизельних знарядь, із використанням методу експертних оцінок та структурно-параметричної оптимізації для коригування потрібних параметрів; інструментарій для уточнення розрахунків траєкторій руху сільськогосподарських знарядь, що сприяє поліпшенню обробітку ґрунту та економії паливно-мастильних матеріалів та інше.

Визначено основні напрямки подальшого вдосконалення запропонованої методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання технічних об'єктів. Зокрема, це стосується: дослідження нових властивостей запропонованих кривих Безьє зі степеневою параметризацією, наприклад, ліній вищих порядків; інтегрованого комплексного геометричного моделювання ґрунтообробних знарядь не тільки основного, а і спеціального обробітку; наскрізного охоплення всіх стадій створення промислової продукції, тобто ескізного, технічного та робочого проєкта; оптимального компонування машинно-тракторних агрегатів; комп'ютерного динамічного варіантного моделювання різноманітних технологій обробітку ґрунту; опрацювання суміжних сільськогосподарських процесів, наприклад сівби, збирання врожаю, його транспортування тощо.

У **загальних висновках** сформульовано основні, отримані здобувачем в дисертації, наукові та практичні результати. Ці висновки відображають сутність виконаного дослідження, є достатньо обґрунтованими, підтверджують суттєвий внесок автора в розвиток теорії, методології і практики використання засобів прикладної геометрії та інженерної графіки.

У **додатках** наведено приклади практичної реалізації напрацьованого інтегрованого комплексного підходу до формоутворення технічних об'єктів, зокрема, вихідні коди розроблених здобувачем комп'ютерних програм, результати їхньої роботи, а також документи про практичне впровадження дисертаційного дослідження.

**Практична цінність наукових результатів, рекомендації щодо їх використання** полягає в побудові для ґрунтообробних знарядь нових комп'ютерних інтегрованих комплексних геометричних моделей, які ефективно відтворюють стадію ескізного проєктування зазначених виробів, реалізують їхню

багатоаспектну оптимізацію.

Напрацьовані результати впроваджено: в Іванівській дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України при виконанні обробітку ґрунту дисками, виготовленими за запропонованими в дисертації геометричними моделями; у фермерському господарстві «Павільйон флори» Миргородського району Полтавської області під час проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень дискових поверхонь, виконаних згідно із методикою, запропонованою здобувачем; у навчальний процес КПІ ім Ігоря Сікорського при викладанні дисципліни «Інженерна та комп'ютерна графіка» для формування комплексних комп'ютерних геометричних моделей технічних об'єктів; у Науково-виробничому підприємстві «Техногаз» м. Полтави, де застосовано розроблені автором підходи та способи комп'ютерного моделювання для покращення інтеграції складових комплексної підготовки газу; у ТОВ «Інноваційні інженерні рішення» м. Києва, із використанням напрацьованої автором методології при створенні проєктів будівельно-монтажних робіт.

**Повнота викладу основних наукових результатів в опублікованих працях.**

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 64 роботи, зокрема: 2 – монографії; 4 – у виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus/ WoS; 24 – у наукових фахових виданнях України; 2 – у наукових періодичних виданнях інших держав; 5 – патентів на корисну модель; 25 – у матеріалах конференцій; 2 – додаткові публікації. У наведених виданнях повною мірою викладено основні наукові результати виконаного дисертаційного дослідження, які пройшли необхідну апробацію на вітчизняних та міжнародних конференціях.

**Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подана до захисту.**

Дисертація за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.01.01 – «Прикладна геометрія, інженерна графіка», за якою спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 у Київському національному технічному університеті будівництва і архітектури надано право проводити захист дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

**Мова та стиль дисертації.**

Дисертація написана державною мовою. Текст дисертації викладено аргументовано та в науковому стилі. Представлений у роботі матеріал має логічну послідовність. Розділи дисертації взаємопов'язані та повністю розкривають поставлену мету. Стиль викладення результатів дослідження, наукових положень та висновків забезпечує їхнє легке сприйняття. Результати проілюстровані рисунками, графіками та таблицями.



### **Відповідність академічній доброчесності.**

Використанні в дисертації ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Аналіз тексту дисертації дозволяє зробити висновок про відсутність порушень з боку автора даного наукового дослідження академічної доброчесності, тобто дисертаційна робота не містить елементів фальсифікації, фабрикації, компіляції, плагіату та запозичень і є результатом самостійних досліджень автора.

### **Ідентичність змісту реферату та основних положень дисертації.**

Реферат повністю відображає основні положення, висновки та рекомендації дисертаційного дослідження, є ідентичним із результатами дисертації.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації.**

Визнаючи наукову цінність та практичне значення отриманих здобувачем результатів, вважаю за доцільне акцентувати увагу на деяких дискусійних питаннях, висловити окремі зауваження та побажання:

1. У другому розділі дисертації в рамках запропонованих теоретичних засад, методології та інструментарію розроблено три способи інтегрованого комплексного геометричного моделювання: спосіб інтегрованих класифікацій для ефективного автоматизованого формоутворення груп технічних об'єктів; спосіб узагальненого контуру, який базується на структурно-параметричному підході до формоутворення; спосіб зменшення області проектних розв'язків, що дозволяє визначати раціональні параметри і характеристики опрацьовуваних технічних об'єктів та процесів. У дисертації не акцентовано чи є ці способи вичерпним математичним апаратом, чи потребують свого розширення тощо. Відповідь на зазначене зауваження дало б краще розуміння теоретичної і практичної цінності виконаного дослідження.

2. Запропонована автором у другому розділі структурно-параметрична класифікація ґрунтообробних знарядь сформована у вигляді відповідних множин, які є доволі зручними для комп'ютерної реалізації. З математичної точки зору ієрархічна сукупність даних множин є орієнтованим графом, який не містить у собі циклів. Зазначену модель варто було відобразити відповідними графічними засобами (наприклад, у вигляді зв'язного графа). Це дозволило б краще сприймати вказану класифікацію та застосовувати її на практиці.

3. Наведені у 2 розділі дисертації рис. 2.12 та рис. 2.13 (с. 117-119), які демонструють додаткові можливості формоутворення кривих Безье зі степеневою параметризацією, потребують більш розлогих пояснень (наприклад, в чому суть механізмів прогнозованого керування формою та розмірами модельованих ліній).

4. Подану в четвертому розділі методику раціонального вибору типу ґрунтообробних знарядь, яку проілюстровано на прикладі ротаційних органів (с. 211-216), варто було б розмістити в дисертації раніше, що більш логічно

стосовно викладення запропонованої методології інтегрованого комплексного геометричного моделювання технічних об'єктів.

5. В рефераті недостатньо акцентовано важливість виконаного автором узагальнення кривих Безье шляхом ступеневої параметризації та їх практичного застосування. Останнє на прикладі моделювання газових балонів викладено в додатках дисертації, що можна було б перемістити до її основного тексту.

Однак, наведені вище зауваження ніяким чином не знижують загального високого рівня дисертаційної роботи Яблонського Петра Миколайовича.

**Висновок:** виконаний аналіз дисертації, реферату та опублікованих праць дає можливість сформулювати загальний висновок про те, що дисертаційна робота **Яблонського Петра Миколайовича** на тему «Інтегроване комплексне геометричне моделювання ґрунтообробних знарядь» є завершеною науковою працею, що має наукову новизну, теоретичне та практичне значення, які в сукупності розв'язують актуальну науково-прикладну проблему розширення теоретичного ядра прикладної геометрії, шляхом розроблення спеціальної теорії інтегрованого комплексного геометричного моделювання для якісно нового дослідження багатопараметричних технічних об'єктів і процесів на прикладі ґрунтообробних знарядь.

За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, змістом та оформленням, дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 № 1197 та паспорту спеціальності 05.01.01 – «Прикладна геометрія, інженерна графіка», а її автор **Яблонський Петро Миколайович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – «Прикладна геометрія, інженерна графіка».

Офіційний опонент:  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри архітектури та дизайну  
Луцького національного технічного університету

Сергій ПУСТЮЛЬГА



**ВІРНО:**  
Начальник відділу кадрів  
" " 20\_\_ р.