

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора  
Тулученко Галини Яківни  
на дисертаційну роботу **КРЕМЦЯ Ярослава Сергійовича**  
**"ГЕОДЕЗИЧНІ ЛІНІЇ ПОВЕРХОНЬ В ЗАДАЧАХ АРМУВАННЯ**  
**ОБОЛОНОК ТА ІНЕРЦІЙНОГО РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ"**,  
яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка.

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Актуальність теми, що обрана здобувачем для дисертаційних досліджень, визначається широтою застосування геодезичних ліній у інженерних задачах, що зводяться до задач геометричного моделювання, а саме у задачах проектування доріг, конструювання одягу, армування стінок різноманітних виробів, проектування робочих органів механізмів відвального типу тощо.

Як відомо, геодезична лінія на поверхні може визначатися кількома способами:

- як лінії, що мають нульову геодезичну кривину у кожній своїй точці;
- як розв'язок системи двох звичайних диференціальних рівнянь, що визначаються екстремальною властивістю геодезичних кривих мати найменшу довжину серед усіх кривих поверхні, що з'єднують дві точки;
- як лінії, що є найменш викривленими на поверхні;
- як розв'язок кінематичного рівняння руху матеріальної точки по ідеально гладкій поверхні за відсутністю дії зовнішніх сил.

За виключенням окремих загальновідомих випадків класичних поверхонь всі способи визначення геодезичних ліній приводять до диференціальних рівнянь, що можуть бути розв'язані наближеними методами.

Точність або ефективність цих загальних методів (або обидві характеристики одночасно) можуть бути покращені при їх адаптації до поверхонь конкретних видів. Ця можливість і дала підстави для проведення наукового пошуку здобувачем стосовно поверхонь, що визначаються потребами сучасної інженерної практики.

Обернена до розглянутої вище задачі – задача конструювання лінійчатих поверхонь за заданою геодезичною лінією припускає нескінченну множну розв'язків серед нерозгортних поверхонь, які в більшій або меншій мірі відрізняються від розгортної поверхні. Для усунення вказаної невизначеності

Таким чином, питання практичного знаходження геодезичних ліній та розв'язання обернених задач є актуальними для сучасної інженерної практики і містять можливості для подальшого ведення наукового пошуку.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими завдяки теоретичним та розрахунковим дослідженням, які проведені здобувачем. В основу дослідження покладені положення диференціальної геометрії та методів оптимізації, що стосуються обраної теми дисертаційної роботи.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються, підтверджується:

- аналітичною перевіркою отриманих рівнянь геодезичних кривих на наявність в кожній точці такої кривої нульової геодезичної кривини;
- врахуванням аргументованої кількості додаткових вимог, що забезпечують єдиність розв'язку оберненої задачі побудови нерозгортної поверхні за заданою геодезичною лінією;
- візуалізацією всіх отриманих розв'язків тестових та прикладних задач за допомогою графічного інструментарію сучасних систем комп'ютерної математики Mathematica та MatLab;
- коректним застосуванням методів геометричного моделювання, диференціальної геометрії, умовної оптимізації.

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань та додатків. Робота містить 126 сторінок основного тексту, 62 рисунків.

**Наукова новизна результатів дисертації.** Основні наукові результати досліджень і новизна дисертації полягають в наступному.

1. Вперше досліджено два окремих випадки співвідношень складових параметричного опису меридіану поверхні обертання, які дозволяють аналітично обчислити інтеграл на основі теореми Клеро та, як наслідок, отримати групу геодезичних ліній, що описуються параметричними рівняннями в кінцевому вигляді.

2. У роботі вперше отримано систему диференціальних рівнянь другого порядку, які описують геодезичні лінії на поверхні обертання у функції довжини. Ці рівняння дозволяють будувати геодезичні криві для поверхні

обертання у повному обсязі. Завдяки програмному модулю, який реалізує вказаний спосіб побудови геодезичних кривих, автором встановлені приклади помилкових розв'язків досліджуваної задачі у класичній літературі, що виходила друком у часи, які передували широкому використанню обчислювальної техніки.

3. Задача конструювання лінійчатих нерозгортних поверхонь за заданою геодезичною лінією, яка має нескінченну множину розв'язків, вперше зведена автором до задачі побудови однопараметричної сім'ї поверхонь. Завдяки запропонованому підходу з'являється можливість контролювати або задавати ступінь відхилення нерозгортної поверхні від розгортної.

**Практичне значення та реалізація результатів роботи.** Практична цінність роботи визначається важливістю прикладних задач, що виникають в різних галузях інженерної діяльності, які можуть отримати більш ефективні розв'язки завдяки алгоритмічному та програмному забезпеченню, що розроблено здобувачем.

Так практичне застосування знайшов авторський спосіб відшукування геодезичних ліній для лінійчатих поверхонь, як розгортних, так і нерозгортних.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено:

- на підприємстві ТОВ "Інженерний центр "Імпульс"" (м. Ніжин Чернігівської обл.) при проектуванні балонів високого тиску, які зміцнюються армуванням ниткою по геодезичних лініях із заданою щільністю намотки;

- в Інституті садівництва Національної академії аграрних наук (м. Київ) при проектуванні робочої поверхні полицевого типу машини СПМ-1 для висадки саджанців фруктових дерев.

У першому випадку у виробництво впроваджується конструкторське рішення щодо заміни традиційно металевої середньої частини балонів для зберігання стисненого газу на неметалеву армовану із збереженням міцнісних характеристик балонів. Це дозволяє зменшити вагу балонів, що спрощує їх практичну експлуатацію, а також підвищує рівень їх безпеки, оскільки при розриві балону запропонованої конструкції середня неметалева частина не дає уламків.

У другому випадку завдяки розробкам здобувача стає можливою модифікація садово-посадочної машини СПМ-1 за рахунок оснащення її полицею вдосконаленої форми, що приводить до зменшення зусиль, які необхідно докладати при переміщенні ґрунту.

## **Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.**

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, з них 7 – без співавторів. Основний зміст і результати досліджень викладено у 5 друкованих працях у наукових фахових виданнях, які рекомендовано Міністерством освіти і науки України; 1 роботу опубліковано у журналі, що видається у Республіці Польща; 7 робіт опубліковано у збірках наукових праць та матеріалах конференцій.

Положення, що визначають наукову новизну проведених досліджень, і висновки та рекомендації, які зроблені автором, є невід’ємною складовою його публікацій. Матеріали кожного із розділів дисертації знайшли відображення у друкованих роботах здобувача і органічно висвітлюють хід розв’язання обраної для дослідження задачі.

Під час роботи над дисертацією протягом 2012-2017 р.р. Кремець Я.С. приймав участь у достатньо великій кількості наукових конференцій та семінарів різних рівнів. Тому вважаю, що отримані ним результати, пройшли необхідну апробацію. Вони проаналізовані та обговорені фахівцями відповідної наукової галузі.

Аналіз рукопису та автореферату дисертаційної роботи дає підстави вважати, що зміст автореферату повною мірою розкриває основні наукові та практичні результати, що отримані здобувачем під час дисертаційних досліджень, та є ідентичним до змісту дисертації.

**Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому.** Дисертація містить: вступ, чотири розділи, висновки і додатки.

У вступі здобувач надав характеристику актуальності, наукової новизни роботи, сформулював мету та основні задачі дослідження, а також відмітив інші характеристики роботи згідно з рекомендаціями МОН України.

В першому розділі наведено історичний огляд задач, в яких використовуються геодезичні криві. Пояснено суттєві відмінності у розв’язанні задачі побудови геодезичних ліній для розгортних та нерозгортних поверхонь. Розглянуто методи побудови геодезичних ліній на різноманітних поверхнях у докомп’ютерний період та проаналізовані їх недоліки.

У розділі також наводяться властивості геодезичних ліній та відповідні розрахункові формули з диференціальної геометрії, що використовуються у подальших дослідженнях.

Зміст першого розділу дозволяє отримати уявлення про сучасний стан розробки задачі, що обрана для дисертаційного дослідження.

У другому розділі на прикладі псевдосфери, як однієї із трьох відомих поверхонь обертання з такою властивістю, відтворено алгоритм знаходження у кінцевому вигляді параметричних рівнянь геодезичних ліній за допомогою інтеграла на основі теореми Клеро.

Надалі автор досліджує два окремі випадки виразу підінтегральної функції у інтегралі на основі теореми Клеро, які дозволяють його аналітично обчислити та, як наслідок, отримати групу геодезичних ліній, що описуються параметричними рівняннями в кінцевому вигляді. При аналізі отриманих розв'язків здобувач відзначає, що при зроблених припущеннях про вираз підінтегральної функції у інтегралі на основі теореми Клеро, вдається отримати рівняння лише частини геодезичних ліній, що відповідають області припустимих значень параметрів підінтегральної функції.

Здобувачем також отримано вираз інтеграла на основі теореми Клеро при переході до нової змінної – довжини дуги геодезичної лінії, але отриманий вираз підінтегральної функції припускає аналітичне інтегрування у тривіальних випадках.

Переконавшись у обмеженості практичного застосування двох попередніх модифікацій способів побудови рівнянь геодезичних кривих на поверхнях обертання, здобувач пропонує ще один спосіб, який за кінцевим рахунком теж передбачає залучення обчислювальних методів, але дозволяє будувати геодезичні криві у повному обсязі на поверхнях обертання. Для цього здобувачем вперше отримано систему диференціальних рівнянь другого порядку, які описують геодезичні лінії на поверхні обертання у функції довжини дуги. Завершується розділ низкою тестових прикладів програмної реалізації останнього модифікованого способу при побудові геодезичних кривих різних поверхонь обертання. Обчислювальні експерименти підтвердили працездатність запропонованого способу побудови геодезичних ліній на поверхнях обертання.

У третьому розділі дисертації на прикладі лінійчатої нерозгортної поверхні гіперболічного параболоїда, яка задана двома способами: параметрично та явно, — шляхом прирівнювання геодезичної кривини нулю показані шляхи побудови геодезичних ліній цієї поверхні. Розглянуті приклади узагальнені автором для випадку параметричного завдання у загальному вигляді лінійчатої нерозгортної поверхні, а саме для цього виду поверхонь отримано звичайне диференціальне рівняння геодезичної лінії, яке передбачає чисельне інтегрування. Реалізація самої операції інтегрування виконується для рівнянь конкретної поверхні.

Таким чином, автором розроблено спрощений спосіб побудови геодезичних кривих для лінійчатих поверхонь на основі властивості цих кривих

щодо рівності нулю в кожній їх точці геодезичної кривини. Спрощення у цьому випадку досягається за рахунок того, що в лінійчатих поверхнях одна змінна – довжина прямолінійної твірної – перебуває тільки в лінійній залежності, що приводить до сталих значень відповідних частинних похідних і, відповідно, спрощення аналітичних виразів. Здобувачем формалізовано процедуру складання лівої частини диференціального рівняння для визначення геодезичних кривих у вигляді визначника.

Надалі для лінійчатих розгортних поверхонь автором розглядається можливість побудови геодезичних ліній без розв'язування диференціального рівняння. Оскільки геодезичні лінії розгортних поверхонь перетворюються у прямі на їх розгортках, то можна в оберненому порядку побудувати пучок прямих на розгортці, які на поверхні перетворюються в геодезичні лінії, що виходять із заданої точки в різних напрямках. Запропонований спосіб проілюстрований на прикладі знаходження геодезичних ліній для конуса.

Ще одна задача, що розглядається у третьому розділі дисертаційної роботи стосується знаходження циліндричної поверхні по заданій геодезичній лінії. За таких умов ця обернена задача має єдиний розв'язок.

Задача конструювання лінійчатих нерозгортних поверхонь за заданою геодезичною лінією, яка має нескінченну множину розв'язків, зведена до задачі побудови однопараметричної сім'ї поверхонь. За параметр обрано кут відхилення напрямного вектора від напрямного вектора прямолінійної твірної поверхні в спрямній площині.

У четвертому розділі дисертаційного дослідження розглянуті задачі, в яких отримані в попередніх розділах теоретичні результати знайшли своє практичне застосування.

Першою розглянута задача побудови геодезичної лінії для поверхні, що складається із трьох частин, із забезпеченням першого порядку гладкості. Прикладом такої поверхні є газовий балон із середньою циліндричною частиною, яка виконана із композитного матеріалу, та двох металевих торцевих півкуль. Конструктивне виконання оболонки, яка дозволяє здійснювати вказану намотку, захищено патентом України на газовий балон.

Запропонований алгоритм аналітичного описання нерозгортної лінійчатої поверхні за заданою геодезичною лінією з використанням внутрішньої геометрії поверхонь застосований при проектуванні полиці плугів із різною закономірністю розташування прямолінійних твірних. Автором також визначені перспективи подальших досліджень останньої задачі, які полягають у встановленні закономірності розподілу прямолінійних твірних для нерозгортної поверхні вздовж геодезичної лінії.



В додатках до роботи наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи та елементи програмного забезпечення для розв'язання тестових задач.

Дисертація, що рецензується, на мою думку є завершеною у цілому науково-дослідницькою роботою. Вона оформлена відповідно до існуючих вимог, добре ілюстрована. Зміст роботи відповідає меті і поставленим завданням. Послідовність і повнота викладення матеріалу дає ясне уявлення про розроблені методи і досягнуті результати. Текст дисертації відповідає науковому стилю мови.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційні дослідження виконувалися у відповідності до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки в Україні: "Раціональне природокористування", що визначається відповідним законом України на період до 2020 року, за темою: "Вдосконалення органів машин із гравітаційними і ротаційними робочими поверхнями для сепарації, переміщення та розкидання сільськогосподарських матеріалів" (номер державної реєстрації 0110U003619), а також у відповідності до науково-дослідної програми кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України.

**Зауваження до змісту дисертаційної роботи та автореферату.** Щодо роботи є такі зауваження.

1. Перший розділ переобтяжений задачами історичного змісту, натомість слід було головну увагу приділити задачам із сучасної інженерної практики, що зводяться до прямих і обернених задач побудови геодезичних ліній поверхонь.

2. Дискусійним залишається питання включення до тексту другого розділу дисертаційної роботи тих модифікацій відомих способів побудови геодезичних кривих, які не привели до суттєвого удосконалення відомого методу, стосуються окремих випадків поверхонь і не позбавляють необхідності застосування обчислювальних методів.

3. Не зовсім коректними видаються апеляції здобувача до можливостей систем комп'ютерної математики для встановлення існування або відсутності аналітичних розв'язків у задачах, до яких він неодноразово вдається у другому та третьому розділах.

4. Судячи з тексту дисертаційної роботи, при виконанні наближеного інтегрування за допомогою систем комп'ютерної математики автор використовує параметри відповідних процедур за замовчуванням, що

приводить до можливості неконтрольованого застосування різних методів інтегрування при розв'язанні різних тестових прикладів і, як наслідок, утруднює адекватне порівняння точності отримуваних розв'язків.

5. У четвертому розділі при викладенні практичних задач бракує описів, маркувань, назв матеріалів та виробів, що в них застосовуються, за діючими державними стандартами або технічними умовами підприємств, де здійснювалися впровадження.

Наведені вище зауваження в цілому не є принциповими, деякі з них вказують напрями подальшого розвитку досліджень і тому дисертаційна робота може бути оцінена позитивно.

### **Загальний висновок по дисертаційній роботі**

Дисертаційна робота Кремця Я.С. присвячена дослідженню актуального наукового завдання, яке полягає у розробці нових способів розв'язання інженерних задач, що зводяться у своїй математичній постановці до прямої і оберненої задач знаходження геодезичних ліній поверхні (а саме знаходження і побудови геодезичної лінії поверхні в заданому напрямі і конструюванні лінійчатих поверхонь за заданою геодезичною лінією) із застосуванням можливостей сучасних систем комп'ютерної математики.

У роботі отримані нові науково обґрунтовані результати в галузі теорії і практики геометричного моделювання. Вони мають наукове та практичне значення стосовно:

- удосконалення способів побудови геодезичних ліній на лінійчатих і поверхнях обертання в прямій задачі;
- конструювання розгортної і нерозгортних лінійчатих поверхонь, що проходять через задану геодезичну лінію, в оберненій задачі.

Дисертація виконана на високому науково-технічному рівні та відповідає спеціальності 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка.

Дисертація Кремця Я.С. є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка повністю відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а також вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 зі змінами, затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656 та від 30 грудня 2015 р. №1159.



Автор роботи, Кремець Я.С., заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри вищої математики  
і математичного моделювання  
Херсонського національного  
технічного університету



Г.Я. Тулученко

Підпис професора Г.Я. Тулученко засвідчую

Начальник ВК ХНТУ,  
к.т.н., доцент



М.В. Танська