

Спеціалізована вчена рада
К 26.062.12 в Національному
авіаційному університеті
03058, м. Київ,
проспект Любомира Гузара, 1
Вченому секретарю Дубик О. М.

Відгук

офіційного опонента доктора технічних наук, професора **Гамеляка І.П.**
на дисертаційну роботу

Смолича Дениса Вікторовича

«Оцінка ухилів та рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Дисертацію виконано у Національному авіаційному університеті
Міністерства освіти і науки України. Дисертаційна робота викладена
українською мовою.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів,
загальних висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань, 5
додатків. Робота викладена на 147 сторінках, у тому числі містить 114 сторінок
основного тексту, з них 12 сторінок списку використаних джерел, 15 таблиць,
68 рисунків та 18 сторінок додатків.

Актуальність теми не викликає сумнівів. Автор обґрунтував необхідність
і доцільність створення нових методів визначення ухилів та нерівності профілю
дорожнього та аеродромного покриття та розробки на їх основі сучасних
мобільних приладів, що підвищить якість і швидкість контролю параметрів, що
досліджуються.

Дисертаційне дослідження присвячене розробці методів оцінки ухилів та
рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів за допомогою
розробленого інерційного методу визначення профілю, на основі аналізу
інформації, яка отримана від датчиків, побудованих за технологією
мікроелектромеханічних систем (MEMS).

Вхig №56
виг 27.04.2021

Д.О.Смолича

Тема дисертаційної роботи відповідає Національній транспортній стратегії України до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. №430-р).

Робота виконувалась в рамках науково-дослідної роботи, що була проведена кафедрою авіоніки Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету під назвою «Розробка діючого модуля для визначення поздовжніх та поперечних ухилів та рівності поверхні аеродромних покриттів. Проведення замірів ухилів та рівності на новій злітно-посадковій смузі в Міжнародному аеропорту «Харків» (Основа)» (договір №753-ХІІ) 2011р.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації. Обґрунтування наукових положень дисертаційної роботи витікає з проведеного аналізу науково-технічної та нормативної літератури, чіткого формулювання завдань досліджень, ґрунтового аналізу теоретичного, експериментального та практичного досвіду обробки інформації від МЕМС-датчиків.

Достовірність результатів забезпечується обсягом теоретичних та експериментальних досліджень, проведених як на спеціально розробленому лабораторному устаткуванні, так і на новозбудованій злітно-посадковій смузі міжнародного аеропорту міста Харкова. Основою для обґрунтування наукових положень слугує використання перевірених практикою експериментальних та чисельних методів дослідження.

Наукові висновки, які були отримані, органічно витікають з проведених досліджень характеристик точності розроблених методів визначення параметрів профілю дорожнього та аеродромного покриття: метод оцінки ухилів та рівності та методу контролю ухилів.

Вважаю, що завдяки виконаним дослідженням, наукові положення і висновки роботи є достатньо обґрунтованими.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що дисертантом:

- вперше розроблено: математичну модель поздовжнього профілю покриття дорожніх та аеродромних покриттів, у вигляді сукупності нерівностей, змодельованих відповідно до класифікації за довжинами хвиль, за допомогою якої проведено дослідження характеристик точності та достовірності розроблених методів;

- вперше розроблено: ітеративний метод вимірювання профілю поверхні, який, на відміну від існуючих є двоетапним: на першому етапі проводиться

фільтрація даних вздовж масиву вимірювальних значень зліва направо і справа наліво, а на другому етапі відбувається об'єднання результатів;

- вперше розроблено: індикаторний метод діагностування ухилів, суть якого полягає в реалізації алгоритму допускового контролю і дозволяє прийняти рішення щодо діагностичного параметру: «в нормі» або «не в нормі» за умови виходу його значення за межі вимог, зазначених в нормативних документах;

- удосконалено: спектральний метод оцінки ухилів та рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів на основі визначеного профілю поверхні.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- на основі розробленого спектрального методу оцінки ухилів та рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів розроблено методику проведення вимірювань;

- на основі експериментальних досліджень розроблено рекомендації щодо підвищення точності вимірювання кута просторової орієнтації вимірювальної платформи за допомогою датчиків побудованих за МЕМС-технологією;

- розроблено та виготовлено макет автоматичного мобільного приладу для вимірювання нерівностей поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів;

- за результатами проведених експериментальних досліджень, розроблених в дисертаційному дослідженні, підходів до вимірювання та методів оцінки ухилів та рівності профілю покриття, що досліджуються, розроблено рекомендації щодо підвищення автоматизованості процесу вимірювання;

- розроблені за результатами дисертаційної роботи матеріали знайшли своє відображення у збірнику лабораторних робіт та були впроваджені в навчальний процес кафедри авіоніки Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету з дисципліни «Технічне діагностування авіоніки». Також отримані результати роботи впроваджено та застосовано: у науково-дослідному процесі Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України; Науково-технічному центрі ВАТ «Меридіан» ім. С.П. Корольова; ТОВ «ЮА ТЕХНОЛОДЖІ» та Державному підприємстві «Антонов».

Повнота викладання основних результатів досліджень в опублікованих працях. Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, 1 стаття, що входить до міжнародних наукометричних баз, 3 статті, які додатково відображають наукові результати, а також 7 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій. Крім того,

отримано 3 патенти на корисну модель та 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Опубліковані праці достатньо відображають зміст дисертаційної роботи. Дисертація відповідає вимогам МОН України, що висуваються до опублікування результатів наукових досліджень на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Ідентичність автореферату основним положенням дисертації. Автореферат написано державною мовою на достатньому науковому рівні, добре проілюстровано і повністю віддзеркалює сутність досліджень. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Оцінка змісту дисертації в цілому. Аналіз змісту дисертації та автореферату дозволяє оцінити її як закінчене самостійне наукове дослідження, що містить достовірні обґрунтовані наукові та практичні результати. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване. Використання матеріалів інших авторів здійснюється з посиланням на наукові праці. Мова, стиль та структура дисертації відповідають загальноприйнятому в наукових роботах.

Зміст та обсяг вступної частини дисертації та автореферату ідентичні.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету, предмет, об'єкт та основні завдання дослідження, а також наведено відомості про наукову новизну, практичну значимість та апробацію результатів дослідження.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу існуючих методів вимірювання ухилів та оцінки рівності як аеродромних, так і дорожніх покриттів.

Встановлено, що відповідно до діючих в Україні нормативних документів, рівність аеродромних та дорожніх покриттів нормують за різницею висотних відміток при поздовжньому нівелюванні, за кількістю просвітів під 3-и метровою рейкою, що є достатньо трудомісткими і мають вибіркового характеру (не враховують весь спектр довжин хвиль нерівностей), а також за показниками поштовхоміра та причіпних установок, на результат вимірювань яких впливає стан підвіски, відношення підресорених та невідресорених мас автомобіля, швидкості руху та власне сам тип поштовхоміра тощо.

На сьогоднішній день залишається актуальним створення нових методів оцінки параметрів покриття як аеродромних поверхонь, так і поверхонь

автомобільних доріг та розробка на їх основі сучасних мобільних вимірювальних модулів, що підвищить якість контролю поверхонь, що досліджуються.

Інформаційний та патентний пошуки, вказує на інтенсивну розробку пристроїв, які б дозволили механізувати і частково автоматизувати процес вимірювання ухилів та рівності.

Для комплексної оцінки параметрів поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів актуальною залишається задача розробки нових методів вимірювання на основі сучасних технологій, до яких відносяться мікроелектромеханічні системи (МЕМС), що дозволяють зробити буквально революційні зміни в конструюванні приладів для контролю параметрів поверхонь покриттів, що досліджуються.

У **другому розділі** розглянуто розроблені методи оцінки ухилів та рівності: спектральний метод оцінки ухилів і рівності та індикаторний метод контролю ухилів. Також проведено оцінку характеристик точності кожного методу.

Спектральний метод це набутий подальшого розвитку критерій оцінки рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів, розглянутий під назвою: «спектральна щільність дисперсії». Даний метод найбільш доцільно використовувати для оцінки ухилів та рівності поздовжнього профілю поверхонь, що досліджується.

Для загальної оцінки нерівності поверхні використано показника IRI, отриманий шляхом моделювання руху лінійної моделі чверті автомобіля, основні динамічні характеристики якої описані системою відомих диференціальних рівнянь.

Моделювання даної динамічної системи було проведено за допомогою програмного забезпечення Simulink. Для реалізації єдиного підходу до нормування рівності за IRI і водночас спрощення рівнянь, параметри моделі чверті автомобіля нормуються за m_1 (підресорною масою).

Автором розроблена математична модель поздовжнього профілю поверхні, що досліджується, як сукупність нерівностей, змодельованих відповідно до вимог державних будівельних норм та рекомендацій *ІКАО*.

За допомогою спектрального методу, на основі розробленої математичної моделі профілю поверхні, представленої як сукупність гармонічних коливань, отримано можливість розділити їх на відповідні частотні смуги та дослідити його характеристики не тільки за довжиною хвиль, а й за амплітудою нерівностей.

Суть ітеративного методу відновлення профілю поверхні полягає в тому, що профіль поверхні, що досліджується, може бути отриманий з множини вимірних кутів між горизонтом та поверхнею шляхом ітеративного розрахунку з врахуванням кроку вимірювання.

Дослідження точності відтворення профілю поверхні, що досліджується, проведено за допомогою розробленої імітаційної моделі, в основу роботи якої покладено чисельний метод розв'язання математичних задач за допомогою моделювання випадкових величин (метод Монте-Карло).

Розглянуто вплив кроку вимірювання на значення середньоквадратичного відхилення помилки вимірювання профілю поверхні, що досліджується: прослідковується пропорційне зменшення значення $\sigma_{\text{проф}}$ при зменшенні кроку вимірювання.

Розроблено індикаторний метод контролю ухилів, суть якого полягає у вимірюванні ухилу поперечного профілю, як діагностичного параметра (ДП), порівнянні його значення з вимогами нормативних документів та прийняття рішення «норма», або «не норма» за умови виходу параметра за межі допуску. Для даного методу запропоновано модель розрахунку помилок першого, α та другого роду, а також достовірність контролю,

У третьому розділі розглянуто запропонований варіант вимірювання кута між двома точками на профілі поверхні, що досліджується, суть якого полягає у використанні вимірювальної платформи з встановленими на ній датчиками з використанням технологій мікроелектромеханічних систем (МЕМС), як датчиками визначення просторового положення.

Встановлено, що вирішення задачі розрахунку єдиного значення оцінки кутового положення вимірювальної платформи здійснюється шляхом комплексування (фільтрації) даних отриманих від акселерометра і гіроскопа. В роботі розглянуто 3 види фільтрів: комплементарний фільтр, фільтр Калмана та фільтр Маджвіка.

Проведено експериментальне дослідження точності визначення просторової орієнтації вимірювальної платформи. Для порівняння точності визначення кутового положення було використано 3 типи інерційних вимірювальних модулів, *IMU: pr530al*, *ADXL 335 (Analog Devices)*, *MPU-6050 (InvenSense)* та *BNO055 (BOSH)*, тобто інформація від кожного з 3-ох типів запропонованих *IMU* комплексувалась 3-ма алгоритмами фільтрації.

Для проведення експерименту мною була розроблена і виготовлена лабораторна установка, за допомогою якої було проведено вимірювання кутів просторової орієнтації.

Враховуючи максимально досягнуте в процесі проведення експерименту значення точності вимірювання кутової орієнтації, розраховано точність відновлення профілю поверхні, що досліджується, ітеративним методом та достовірність діагностування індикаторного методу контролю ухилів.

Також запропоновано підвищити точність вимірювання кута просторової орієнтації шляхом калібрування датчиків, використання додаткового датчика – магнітометра, використання більш точного *IMU*.

У четвертому розділі розглянуто принцип побудови розробленого на кафедрі авіоники Національного авіаційного університету спільно ДПТ НДІ ЦА “Украеропроект” діючого модуля для визначення поздовжніх та поперечних ухилів та рівності. Як датчики ухилів, використовуються акселерометри і гіроскопи, виконані за *MEMS*-технологією. Датчики розміщені на платі, яка встановлена в центрі КП-9. На цій же платі встановлений мікроконтролер, який здійснює комплексування інформації від датчиків за алгоритмом фільтра Калмана.

Проведені дослідження фрагментів ЗПС в міжнародному аеропорту м. Харкова показали, що за допомогою модуля можна оперативно та достовірно проводити вимірювання ухилів і рівності як кожної плити, так і окремих її фрагментів без використання геодезичних приладів та лінійки, що значно зменшує трудомісткість вимірювань.

Також розглянуто перспективи удосконалення конструкції приладу, розроблено проект вимірювальної платформи (ВП) з підвищеною точністю вимірювання. Враховуючи те, що ВП, у зв’язку з наявністю певної довжини колісної бази, не має можливості виміряти весь частотний діапазон хвиль нерівностей профілю покриття, що досліджується, втрачається можливість виміряти шорсткість, тому розглянуто розроблений у співавторстві прилад, який на основі методу лазерної тріангуляції дозволяє безконтактно вимірювати нерівності профілю дорожніх та аеродромних покриттів в діапазоні частот шорсткості, на даний прилад отримано патент на корисну модель, також розроблено комплексний прилад для вимірювання ухилів, рівності, та шорсткості поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів, на який також отримано патент на корисну модель.

Оцінюючи основний зміст дисертаційного дослідження, слід зазначити, що: структура дисертації логічна та відповідає основним етапам дослідження; мова та стиль дисертації відповідають загальноприйнятому в наукових роботах; формулювання мети, предмета та об'єкту дослідження, наукової новизни, висновків та основних наукових положень дисертації виконані коректно; автор дотримується принципів наукової етики, використовуючи посилання на джерела інформації.

Автореферат ідентично відображає основний зміст і основні положення дисертаційної роботи, оформлений відповідно до вимог п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (у редакції від 06.09.2016 р.).

Зауваження щодо змісту та суті дисертаційної роботи

1. Переклад терміну **International Roughness Index (IRI)** буквально означає Міжнародний індекс нерівності, а не рівності як наведено в дисертаційній роботі. Доцільно було б надати посилання не тільки на вітчизняні та Європейські стандарти, але і на стандарт з розрахунку Міжнародного індексу нерівності: ASTM E1926 - 08(2021) Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org.

2. У першому розділі дисертаційної роботи багато уваги приділяється питанням розробки приладів для визначення поздовжніх та поперечних профілів, що більше відноситься до метрології.

3. Параметри золотого автомобіля відносяться до загальновідомих даних, тому їх представлення в авторефераті є недоцільним (див. для прикладу, Mrcrmsr W. Savnns On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 150I University of Michigan Transportation Research Institute, 1995. P.P. 1 – 12).

4. На с. 8 автореферату наведено у розшифровці позначень x – це довжина профілю, що досліджується, що є помилкою, так як далі вказано S – довжина профілю, що досліджується ($S = K \cdot \Delta x$).

5. У розділі 2, при проведенні статистичних випробувань методом Монте – Карло використано вбудовані генератори випадкових чисел, що як відомо, вносять свою похибку в процесі моделювання, тому доцільно було б використовувати спеціальні алгоритми генерації випадкових величин.

6. Доцільно було б порівняти методи розрахунку з розробленою математичною моделлю профілю поверхні дорожнього та аеродромного покриття та відомими моделями автокореляційних функцій чи авторегресії 2 – го порядку,

7. Розрахунок СКВ похибки вимірювання профілю поверхні у тексті дисертації та у табл. 2 на с. 11 автореферату доцільно доповнити для кроку вимірювання до значень 100, 50 і менше м.

8. Доцільно було б навести розрахунок техніко – економічної ефективності застосування розробленого обладнання в порівнянні з існуючими методами, зокрема із точним нівелюванням поверхні покриття чи з використанням лазерних профілометрів.

9. В завданні 6 вказано “Розробити діючий модуль для визначення поздовжніх і поперечних ухилів та рівності профілю поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів”, а у висновку 6 “Розроблено макет вимірювальної платформи...”. Чи “модуль” та “платформа” є синонімами у розумінні автора?

10. В тексті дисертаційної роботи та автореферату є окремі неточності та стилістичні помилки і опечатки. Наприклад, доцільно застосовувати замість «являє собою» - «є або це», замість «описаний» - «представлений, апроксимований», замість «мною», «ми» - текст в безособовій формі тощо.

Висловлені зауваження стосуються, переважно, напрямків подальших досліджень та характеру подачі матеріалу дисертаційної роботи та не знижують в цілому позитивної оцінки. Вони не порушують цілісності основних наукових положень дисертації і не заперечують наукової новизни отриманих результатів.

Заключний висновок

Аналіз дисертації, автореферату та опублікованих праць **Смолича Дениса Вікторовича** дозволяє зробити висновок:

1. Дисертаційна робота **Смолича Дениса Вікторовича** на тему: **«Оцінка ухилів та рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів»** є завершеним науковим дослідженням. У роботі отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і практичні результати, що дають можливість створювати принципово нові методи оцінки ухилів та нерівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів.

2. Рівень проведених досліджень та отриманих результатів відповідає прийнятому рівню кандидатських дисертацій, а запропоновані методи вимірювання профілю поверхні та оцінки ухилів та рівності поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів свідчать про високий рівень фахової

кваліфікації автора. Опонент високо оцінює професіоналізм автора в проведенні експериментальних досліджень характеристик точності алгоритмів фільтрації даних, отриманих від МЕМС-датчиків, при визначенні кута просторової орієнтації вимірювальної платформи.

Дослідження є вагомим внеском у розв'язання важливої науково-прикладної задачі оцінки параметрів профілю поверхонь дорожніх та аеродромних покриттів.

3. Основні результати дисертації викладені в опублікованих наукових працях автора, пройшли апробацію та практичну перевірку.

4. Тема дисертаційного дослідження, основні теоретичні та експериментальні положення, що виносяться до захисту, науково-практичні результати дозволяють зробити висновок про відповідність дисертаційної роботи Смолича Д.В. паспорту спеціальності 05.22.11 - «Автомобільні шляхи та аеродроми», зокрема, пункту 6 «Методи оцінки, діагностики експлуатаційного стану дорожніх і аеродромних покриттів».

5. Дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами і доповненнями) щодо кандидатських дисертацій.

6. Автореферат відображує основний зміст дисертації. Зміст автореферату та основних положень дисертації ідентичні. Оформлення автореферату відповідає вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів».

7. Вважаю, що дисертаційна робота **Смолича Дениса Вікторовича** відповідає усім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а здобувач **Смолич Денис Вікторович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – «автомобільні шляхи та аеродроми».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри аеропортів

Національного транспортного університету,

доктор технічних наук, професор,

І.П. Гамеляк

ПІДПИС ЗАВІРЛЯЮ
 Вчений секретар Національного
 Транспортного Університету
 проф. Мельниченко О.І.

