

**Голові разової спеціалізованої ради
в Національному авіаційному університеті
проф. Марії Барабаш**

ВІДГУК

**офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри «Автомобільні дороги та мости»
Національного університету «Львівська політехніка»
Сідуна Юрія Володимировича
на дисертаційну роботу
Яна Шилинь
на тему:**

**«Використання вуглецевих нанотрубок в дорожньому та
аеродромному будівництві при динамічних навантаженнях»
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія
галузь знань 19 - Архітектура та будівництво.**

Робота виконана в Національному авіаційному університеті, Міністерства освіти і науки України.

Актуальність теми досліджень.

Сьогодні питання вивчення, виробництва та застосування наноматеріалів є актуальними і особливо популярними. Наноматеріали можуть бути використані як адсорбенти, каталізатори хімічних реакцій, модифікатори або наповнювачі для різних матеріалів. Поліпшення властивостей матеріалів при використанні наночастинок пов'язане з великою площею поверхні, яка сприяє взаємодії між фазами та фізико-хімічними процесами, що відбуваються на межі фаз. Тому наноматеріали знайшли застосування в будівельній галузі, в тому числі і у виробництві будівельних матеріалів в дорожньому та аеродромному будівництві. Використання нанотехнологій і наносистем у виробництві будівельних матеріалів є новим підходом до вибору сировини, технологій та формування структури будівельних композитів. Нові матеріали відкривають нові ринки, збільшують обсяги виробництва і розширюють асортимент продукції, що відповідно підвищує конкурентоспроможність і допомагає вирішувати такі актуальні проблеми, як енергозбереження та зниження впливу промисловості на навколишнє середовище.

Особливо цікавими видаються так звані наномодифікатори для дорожнього та аеродромного будівництва. Адже сучасні тенденції розвитку нанорозмірних модифікаторів зумовлюють зростання обсягів досліджень у галузі матеріалознавства дорожніх матеріалів. У багатьох роботах вчених з-за кордону розглядаються питання виробництва, застосування та оцінювання якості

наномодифікованих в'язучих. Для цього використовуються різні добавки за складом, методами отримання та механізмом впливу на в'язучі.

В дисертаційних дослідженнях розглянуто використання нового модифікатора вуглецевих нанотрубок для асфальтобетонних та цементобетонних технологій дорожніх та аеродромних одягів, що дозволяє покращити якість відповідно асфальтобетону та цементобетону.

Склад і структура дисертаційної роботи.

Структура дисертації складається з анотації, списку використаних джерел, змісту, скорочень, вступу, шести розділів, списку використаних джерел та додатків, загальним обсягом 213 сторінок.

Аналіз основного змісту роботи, новизни представлених експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень, їх наукової обґрунтованості, рівня виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Структура дисертації побудована логічно відповідно до мети та задач дослідження. Викладення основного матеріалу дисертації, наукових положень, результатів та висновків логічне та аргументоване.

Використання матеріалів інших авторів здійснюється з обов'язковим посиланням на наукові праці.

Вступ роботи займає близько 12 сторінок і в основному містить детальний огляд дослідницької роботи. Розділ 1 займає близько 25 сторінок і, зокрема, представляє та аналізує матеріал, висвітлений у дослідженні, шляхом огляду літератури. Розділ 2 займає близько 17 сторінок і в основному зосереджений на теоретичному вивченні, аналізі та методології дослідження асфальтобетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками, шляхом огляду літератури. Розділ 3 займає близько 20 сторінок і присвячений академічному вивченню, аналізу та методології дослідження цементного бетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками, шляхом огляду літератури. Розділ 4 займає близько 27 сторінок і в основному містить експериментальні дослідження та результати аналізу асфальтобетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками. Розділ 5 займає близько 36 сторінок і в основному включає емпіричне дослідження та аналіз результатів цементного бетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками. Розділ 6 займає близько 9 сторінок і включає загальні висновки дисертації. Список використаних джерел оформлено за міжнародним стандартом "MLA". Додаток містить список публікацій та сертифікатів важливих конференцій, а також акти впровадження результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів щодо модифікування вуглецевими нанотрубками асфальтового та цементного бетону полягає у наступному:

- дисертаційне дослідження *вперше* використовує вуглецеві нанотрубки для значного покращення характеристики старіння бітуму в асфальтобетоні та стійкості до стирання асфальтобетону. Використання вуглецевих нанотрубок як стабілізаторів та інгібіторів у процесі старіння бітумо-полімерного в'язучого дозволяє сповільнити коливання температури розм'якшеності та показників якості зразків бітумів після старіння більш ніж у 10 разів

- дисертаційне дослідження дозволили додатково покращити розмір частинок та в'язкість асфальто-смолистих композитів, підвищити стабільність наномодифікованого бітумного в'язучого та зменшити явище розшарування. Механічні властивості асфальтобетону також значно покращились.

- дисертаційне дослідження *вперше* виявило, що вуглецеві нанотрубки можуть сприяти швидкому зростанню кристалів гідрату хлориду магнію, в результаті чого утворюється щільна мікроструктура з мінімальною пористістю, що призводить до суттєвого збільшення початкової міцності та жорсткості цементобетону.

- дисертаційне дослідження *вперше* виявило, що використання високомолекулярних органічних полімерів в якості дисперсійного середовища має вирішальне значення для ефективного диспергування вуглецевих нанотрубок, що не тільки покращує початкову текучість бетону, але й підвищує довготривалу стабільність бетонної суміші завдяки утворенню стабільної колоїдної системи.

Мета дослідження.

Метою досліджень (щодо асфальтобетонів) є розробка науково обґрунтованих технологічних рішень, спрямованих на покращення властивостей бітумів модифікованих полімерами за допомогою методів наномодифікації, зокрема, використання вуглецевих нанотрубок, що сприятиме підвищенню експлуатаційних характеристик та довговічності асфальтобетону. Крім того, дослідження спрямоване на розробку нових матеріалів, особливо низькомолекулярного бутадієну та неопренового каучуку, модифікованих за допомогою вуглецевих нанотрубок, для покращення технічних властивостей асфальтобетону.

Метою досліджень (щодо цементобетонів) є розробка нових в'язучих на основі портландцементу та золи-виносу для підвищення експлуатаційних характеристик та довговічності бетонів, а також дослідження ролі складу цементної матриці, зокрема багатофункціональних хімічних добавок з вуглецевими нанотрубками, у покращенні експлуатаційних характеристик цементнобетонних сумішей.

Об'єкт дослідження - застосування вуглецевих нанотрубок у дорожньому та аеродромному будівництві, за рахунок модифікації асфальтобетону та цементного бетону вуглецевими нанотрубками.

Предмет дослідження - технологія модифікації вуглецевими нанотрубками, асфальтобетон, органічні в'язучі полімери, полімеризація бутадієн-нітрильного каучуку, асфальтобетон, цементний розчин, суперпластифікатори на основі поліетилен-нафталінсульфонатів, цементобетон.

Практичне значення отриманих результатів:

-у дисертаційному дослідженні розроблено асфальтобетонні композиції із вуглецевими нанотрубками, що володіють покращеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями.

- дисертаційне дослідження показало, що деградація міцності асфальтобетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками, під час термічного окислення значно сповільнюється.

- дисертаційне дослідження дозволило уточнити рецептуру оптимальних бетонних сумішей і вміст модифікаторів на основі вуглецевих нанотрубок, досягти бетонних сумішей з ідеальними показниками текучості і відмінною міцністю на стиск.

- дисертаційне дослідження дозволило значно підвищити експлуатаційну надійність і довговічність структурних компонентів і покриттів, одночасно забезпечивши екологічно чисте рішення для ефективної утилізації таких відходів, як летюча зола і доменний шлак.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях.

Основний зміст роботи, наукові положення, результати, висновки та рекомендації достатньо повно викладені, у 5 наукових публікацій, безпосередньо пов'язаних з дисертацією, та в 11 наукових публікацій, які тісно пов'язані з дисертацією. Всі опубліковані наукові публікації включені в міжнародну базу даних Web of Science.

Апробація матеріалів дисертації

Приведені у дисертації розробки пройшли апробацію, доповідалися та опубліковані в матеріалах конференцій:

1. International conference "World Conference on Nanotechnology and Materials", online, Nov. 18-20, 2022. .

2. International Academic Conference on Aviation, Water and Land Sustainable Transportation Technology in the 21st Century, North Minzu University, Yinchuan, China, November 6-8, 2023.

3. World Congress "XXII International scientific and practical conference of higher education graduates and young scientists "POLIT. Modern problems of science", Kyiv, April 4-7, 2023.

4. The Tenth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" – "Safety in Aviation and Space Technologies," Kyiv, September 28-30, 2022.

5. VI International scientific and technical conference "Effective technologies in construction", KNUBA, Kyiv, October 26-27, 2021.

6. XII International Scientific and Practical Conference "Architecture and Ecology", National Aviation University, Kyiv, November 9-11, 2021.

7. World Congress "Polit. Modern problems of science", National Aviation University, Kyiv, April 5-9, 2021.

8. XV International scientific and technical conference "AVIA-2021", National Aviation University, Kyiv, April 20-22, 2021.

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації.

Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає основний зміст дисертації та досить повно висвітлює її основні результати та висновки

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

У дисертаційній роботі не виявлено порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Аналіз роботи дозволив встановити, що новизна представлених експериментальних результатів проведених здобувачем досліджень, їх наукова обґрунтованість, рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності є підтвердженими.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід відмітити окремі дискусійні положення та зауваження до дисертації, а саме:

1. У вступі безпосередньо не наведено зв'язок роботи з фактичними науковими програмами, планами та темами.

2. В дисертаційних дослідженнях необхідно було врахувати проведений аналіз літературних джерел щодо модифікація бітумних в'язучих нанонаповнювачами, що наведений в статті: «Trachevskyi, V.V. & Ivanenko, K.O. & Fainleib, O.M.. (2021). MODIFICATION OF BITUMINOUS BINDERS FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS. Polymer journal. 43. 149-171. 10.15407/polymerj.43.03.149» та в списку використаних джерел навести відповідне покликання на цю статтю.

3. Як для роботи представленої на здобуття ступеня доктора філософії поставлених завдань досліджень є щодо асфальтобетонів, так і цементобетонів є забагато, а загальні висновки роботи варто було б конкретизувати.

4. Поняття, що наведені під предметом та об'єктом дослідження необхідно взаємозамінити.

5. В табл. 1.2 для гранітного щебеню, який використовується в ролі заповнювача для асфальтобетону варто було б навести марку за стиранністю.

6. В табл.1.3 присутнє не зрозуміло позначення «Hz» під час визначення загального залишку відсіву на ситі 0,63 мм, % за масою.

7. В табл.1.4 вимогою до зернового складу мінерального порошку марки МП І (дрібніше 0,071 мм) є значення від 70 до 80 % за масою, що не є вірним. Адже

згідно із зміною 1 ДСТУ Б В.2.7-121:2004 нормоване значення 80 % за масою. Відповідно взятий для досліджень мінеральний порошок відноситься до марки МП ІІ за своїм зерновим складом, а не до марки МП І.

8. В табл. 1.5 наведені вимоги до марки бітумного в'язучого БНД 100/150 згідно не діючої на сьогодні ДСТУ 4044-2001.

9. В тексті дисертації доцільно уніфікувати термінологію щодо показників якості бітумних в'язучих (наприклад у всіх варіантах використовувати термінологію відповідно до ДСТУ EN 12591:2009 Bitumen and bituminous binders — Specifications for paving grade bitumens)

10. З тексту дисертації не зрозуміло, такі технологічні параметри модифікації бітумів вуглецевими нанотрубками, як використаний тип механічної мішалки для змішування (форма лопастей, кількість секцій) та швидкість її обертів за хвилину під час модифікації. Також не запропонована чітка виробнича технологічна схема модифікації.

11. З тексту дисертації не зрозуміло, чим зумовлено використання не стандартних розмірів кубів (2 см × 2 см × 2 см) під час встановлення границі міцності при стисканні цементобетону.

12. В табл. 4.6 не зрозуміло за якою методикою встановлювали показник «Surface grip» («Поверхнєве зчеплення»).

13. В розділі 4 не наведено зернові склади використаних для дослідження асфальтобетонних сумішей та чіткий вміст бітумного в'язучого в них.

14. В розділі 4 виготовлені асфальтобетони варто порівнювати із вимогами ДСТУ 8959:2019 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови, а не ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови, оскільки асфальтобетонні суміші виготовлені із включенням полімерного модифікатора.

15. В роботі не розглянуто проектування асфальтобетонів та цементобетонів із використання вуглецевих нанотрубок окремо для дорожнього та аеродромного будівництва. Такий розподіл необхідний, адже умови роботи, навантаження та впливи на бетони для дорожнього і аеродромного будівництва є різними.

Висловлені дискусійні положення та зауваження не знижують загального позитивного враження та значимості виконаної роботи.

Внаслідок вивчення дисертації та наукових публікацій здобувача Яна Шилинь, встановлено, що робота представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії є завершеною самостійною науковою працею із грамотно виконаними теоретичними й експериментальними дослідженнями, на підставі яких отримані нові науково обґрунтовані результати.

За актуальністю теми, практичним значенням, науковою новизною отриманих результатів дисертаційна робота «Використання вуглецевих нанотрубок в дорожньому та аеродромному будівництві при динамічних навантаженнях», відповідає вимогам Наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (зі змінами), «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), а її автор Ян Шилинь заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 Архітектура та будівництво.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри
«Автомобільні дороги та мости»
Національного університету
«Львівська політехніка»



Юрій СІДУН

Підпис доцента Сідуна Ю.В.
засвідчую Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ

**To the Chairman of the one-time specialized council
at the National Aviation University
prof. Maria Barabash**

REVIEW

**by the official opponent,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, docent of the Department of Roads and Bridges,
Lviv Polytechnic National University, Iurii Sidun,
on the thesis of Yang Shilin,
on the topic:**

«Application of carbon nanotubes in road and airfield construction under
dynamic loads»

submitted for the degree of Doctor of Philosophy
in the specialty 192 Construction and Civil Engineering
field of knowledge 19 Architecture and construction.

The work was carried out at the National Aviation University, Ministry of
Education and Science of Ukraine

Relevance of the topic

Today, the study, production, and application of nanomaterials are highly relevant and particularly popular. Nanomaterials can serve as adsorbents, catalysts for chemical reactions, modifiers, or fillers for various materials. The improvement of material properties through the use of nanoparticles is associated with their large surface area, which facilitates interactions between phases and physicochemical processes occurring at the phase boundary. Therefore, nanomaterials have found application in the construction industry, including in the production of construction materials for road and airfield construction. The utilization of nanotechnologies and nanosystems in the production of construction materials represents a new approach to the selection of raw materials, technologies, and the formation of the structure of building composites. New materials open up new markets, increase production volumes, and expand product ranges, thereby enhancing competitiveness and addressing pressing issues such as energy conservation and reducing the environmental impact of industrial activities.

Of particular interest are the so-called nanomodifiers for road and airfield construction. Modern trends in the development of nanoscale modifiers are leading to an increase in research activities in the field of material science for road materials. Many studies by foreign scientists address the production, application, and evaluation of the quality of nano-modified binders. Various additives are used for this purpose, differing in composition, methods of production, and their mechanisms of influence on binders.

The dissertation research examines the use of a new modifier of carbon nanotubes for asphalt concrete and cement concrete technologies in road and airfield pavements, which allows improving the quality of both asphalt concrete and cement concrete.

Structure and scope of the dissertation

The structure of this dissertation consists mainly of an abstract, list of publications, table of contents, acronyms, introduction, 6 chapters, references, and appendices, totaling 213 pages.

The analysis of the main content of the work, the novelty of the presented experimental results conducted by the researcher, their scientific substantiation, the level of accomplishment of the set scientific task, and the researcher's mastery of the methodology of scientific activity are considered.

The structure of the dissertation is logically constructed in accordance with the research purpose and objectives. The presentation of the main material of the dissertation, scientific positions, results, and conclusions is logical and well-argued.

The use of materials from other authors is accompanied by mandatory references to scientific works.

The introduction of the work takes 12 pages and mainly provides a detailed overview of the research work. Chapter 1 is approximately 25 pages and especially presents and analyzes the material covered in the research by reviewing the literature. Chapter 2 is about 17 pages and mainly focuses on the theoretical research, analysis, and research methodology of carbon nanotube-modified asphalt concrete by reviewing the literature. Chapter 3 is approximately 20 pages and focuses on the academic research, analysis, and research methodology of carbon nanotube-modified cement concrete by reviewing the literature. Chapter 4 is about 27 pages and mainly contains the experimental research and results in an analysis of carbon nanotube-modified asphalt concrete. Chapter 5 is approximately 36 pages and primarily includes the empirical research and result analysis of carbon nanotube-modified cement concrete. Chapter 6 is about 9 pages and includes the dissertation's general conclusion. The format of references uses the international standard format "MLA". The appendix contains a list of publications, certificates of essential conferences, and acts of implementation for research results.

The scientific novelty of the results.

This research demonstrates significant novelty in carbon nanotube (CNT) modified asphalt and cement concrete.

- this research is the first to use CNTs to significantly improve the aging and abrasion resistance of asphalt concrete, which cannot be achieved with conventional materials. The use of CNTs as stabilizers and inhibitors in the aging process of PBBs can slow down the fluctuation of softening temperature and quality indexes of the

samples after aging by more than 10 times, which is incomparable to that of traditional materials.

- the research further improved the particle size and viscosity of asphalt-resin composites, increased the stability of nano-modified binder, and reduced the delamination phenomenon. The mechanical properties of asphalt concrete such as hardness, tensile strength and frost resistance were significantly improved, the softening temperature was increased by 24%, the embrittlement temperature was reduced by 20%, and the elasticity was greatly improved.

- this research is the first to find that carbon nanotubes can promote the rapid growth of magnesium chloride hydrate crystals, resulting in the formation of a dense microstructure with minimal porosity, which leads to a substantial increase in the initial strength and stiffness of concrete.

- this research is the first to find that the use of high molecular weight organic polymers as a dispersing medium is crucial for the effective dispersion of CNTs, which not only improves the initial fluidity of the concrete, but also enhances the long-term stability of the concrete mixture through the formation of a stable colloidal system.

Purpose of the research.

In the area of carbon nanotube-modified asphalt concrete, the main objective of the research is to develop science-based technological solutions aimed at improving the properties of polymer-bitumen binders (PBBs) through nano-modification techniques, in particular, the use of carbon nanotubes (CNTs), thereby improving the performance and durability of asphalt concrete based on these materials. In addition, the research aims to develop new materials, especially low molecular weight butadiene and neoprene rubber modified through carbon nanotubes, to improve the technical properties of asphalt concrete.

In the area of carbon nanotube-modified cement concrete, the main objectives of the research work are to develop novel fly ash-based carbon nanotube-modified mineral Portland Cement binders to enhance the performance and durability of fly ash-based concretes and to explore the role of the composition of the cement matrix, in particular multifunctional chemical additives incorporating carbon nanotubes, in the improvement of the performance of cement-concrete mixtures. The research aims to obtain novel composites with improved performance characteristics.

The object of research - Application of carbon nanotubes in road and airfield construction based on the use of nanomodification methods for asphalt and cement concrete.

The subject of research - Technology for modification of asphalt and cement concrete with carbon nanotubes.

The practical significance of the obtained results:

- the dissertation research led to the development of asphalt concrete compositions incorporating carbon nanotubes, which exhibit improved physical, mechanical, and operational properties.
- the dissertation research revealed that the degradation of asphalt concrete strength, when modified with carbon nanotubes, is significantly slowed down during thermal oxidation.
- the dissertation research enabled the refinement of optimal concrete mix formulations and the determination of modifier content based on carbon nanotubes to achieve concrete mixes with ideal flow properties and excellent compressive strength.
- the thesis research has substantially enhanced the operational reliability and durability of structural components and coatings, while also providing an environmentally friendly solution for the efficient disposal of waste materials such as fly ash and blast furnace slag.

The completeness of presenting the results in the published works

The main content of the dissertation, scientific positions, results, conclusions, and recommendations are sufficiently presented in 5 scientific publications directly related to the dissertation and in 11 scientific publications closely associated with the dissertation. All published scientific papers are included in the international database Web of Science.

Approval of dissertation materials

The developments presented in the dissertation have been tested, reported, and published in conference proceedings:

1. International conference "World Conference on Nanotechnology and Materials", online, Nov. 18-20, 2022.
2. International Academic Conference on Aviation, Water and Land Sustainable Transportation Technology in the 21st Century, North Minzu University, Yinchuan, China, November 6-8, 2023.
3. World Congress "XXII International scientific and practical conference of higher education graduates and young scientists "POLIT. Modern problems of science", Kyiv, April 4-7, 2023.
4. The Tenth World Congress "AVIATION IN THE XXI-st CENTURY" – "Safety in Aviation and Space Technologies," Kyiv, September 28-30, 2022.
5. VI International scientific and technical conference "Effective technologies in construction", KNUBA, Kyiv, October 26-27, 2021.
6. XII International Scientific and Practical Conference "Architecture and Ecology", National Aviation University, Kyiv, November 9-11, 2021.
7. World Congress "Polit. Modern problems of science", National Aviation University, Kyiv, April 5-9, 2021.
8. XV International scientific and technical

The content of the abstracts is identical to the main provisions of the dissertation

The content of the abstracts in Ukrainian and English accurately reflects the main content of the dissertation and sufficiently highlights its key results and conclusions.

Absence (presence) of a violation of academic integrity.

In the dissertation, there are no violations of academic integrity. The use of ideas, results, and texts of other authors is properly cited and referenced.

The analysis of the work has confirmed the novelty of the presented experimental results conducted by the researcher, their scientific substantiation, the level of accomplishment of the set scientific task, and the researcher's mastery of the methodology of scientific activity.

Discussion points and remarks on the dissertation.

1. Despite the overall positive evaluation of the dissertation, it is important to note certain discussion points and remarks regarding the dissertation, namely:

2. The introduction fails to directly establish a connection between the dissertation and existing scientific programs, plans, and topics.

3. The dissertation research could have benefitted from considering the analysis of literature regarding the modification of bituminous binders with nanofillers, as presented in the article: «Trachevskyi, V.V. & Ivanenko, K.O. & Fainleib, O.M.. (2021). MODIFICATION OF BITUMINOUS BINDERS FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS. Polymer journal. 43. 149-171. 10.15407/polymerj.43.03.149». Additionally, it is essential to provide the appropriate reference to this article in the list of references.

4. The subject and object need to be swapped.

5. In Table 1.2, for granite crushed stone used as aggregate for asphalt concrete, it would be beneficial to provide the abrasion grade.

6. In Table 1.3, the designation "Hz" is unclear when determining the total residue on a 0.63 mm sieve, expressed as a percentage by weight.

7. In Table 1.4, the requirement for the grain composition of mineral powder grade MP I (finer than 0.071 mm) is specified as ranging from 70 to 80% by weight, which is incorrect. According to Amendment 1 to DSTU B V.2.7-121:2004, the specified value is 80% by weight. Therefore, the mineral powder used for the research should be classified as grade MP II based on its grain composition, rather than grade MP I.

8. In Table 1.5, the requirements for the grade of bituminous binder BND 100/150 are based on the outdated standard DSTU 4044-2001, which is no longer in effect.

9. In the dissertation text, it would be advisable to standardize the terminology regarding the quality indicators of bituminous binders (for example, using terminology

consistent with DSTU EN 12591:2009 Bitumen and bituminous binders — Specifications for paving grade bitumens in all instances).

10. From the dissertation text, it is unclear about the technological parameters of bitumen modification with carbon nanotubes, such as the type of mechanical mixer used for blending (blade shape, number of sections) and the rotation speed per minute during modification. Additionally, a clear production technological scheme for modification is not provided.

11. The dissertation text does not clarify why non-standard cube sizes ($2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$) were used when determining the compressive strength limit for cement concrete.

12. It is unclear from Table 4.6 which methodology was used to establish the "Surface grip" indicator.

13. In Chapter 4, grain compositions of the asphalt concrete mixtures used for research and the clear content of bituminous binder in them are not provided.

14. In Chapter 4, the asphalt concretes should be compared with the requirements of DSTU 8959:2019 "Asphalt Concrete Mixtures and Road Asphalt Concrete Based on Polymer-Modified Bitumens. Technical Specifications" rather than DSTU B V.2.7-119:2011 "Asphalt Concrete Mixtures and Road and Airport Asphalt Concrete. Technical Specifications" since the asphalt concrete mixtures were prepared with the inclusion of a polymer modifier.

15. The study does not examine the design of asphalt concretes and cement concretes using carbon nanotubes separately for road and airfield construction. Such differentiation is necessary because the working conditions, loads, and environmental influences on airfield structures differ.

The expressed discussion points and comments do not diminish the overall positive impression and significance of the work carried out.

Having reviewed the dissertation and scientific publications of the candidate, Yang Shilin, it is established that the work submitted for the academic degree of Doctor of Philosophy is a completed independent scientific endeavor with well-executed theoretical and experimental research, yielding new scientifically substantiated results.

Based on the topic's relevance, practical significance, and scientific novelty of the obtained results, the dissertation titled «Application of carbon nanotubes in road and airfield construction under dynamic loads». meets the requirements outlined in Order No. 40 of 12.01.2017 issued by the Ministry of Education and Science of Ukraine (as amended), as well as the "Procedure for Awarding the degree of doctor of philosophy and cancellation of the decision of a one-time specialized academic council of a higher education institution, scientific institution on awarding the degree of doctor of philosophy" (approved by Resolution No. 44 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12 January 2022). Therefore, the author of the dissertation, Yang Shilin, deserves to be granted the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 Civil Engineering and Construction, field of knowledge 19 Architecture and Construction.

Official opponent:

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, docent of the Department of
«Highways and Bridges» National University
«Lviv Polytechnic»



Iurii SIDUN

Associate Professor signature: Iurii Sidun
certified by the academic secretary
National University
«Lviv Polytechnic»



Roman BRYLYNSKYI