

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного авіаційного університету,
доктору технічних наук, професору
Барабаш Марії Сергіївні

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента Дубика Олександра Миколайовича

на дисертаційну роботу

Ян Шилинь

“Використання вуглецевих нанотрубок в дорожньому та аеродромному будівництві при динамічних навантаженнях”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 – Архітектура та будівництво.

Актуальність. У дорожньому та аеродромному будівництві асфальтобетон є одним із основних матеріалів. Однак, даний матеріал є чутливим до змін навколишнього середовища та механічних навантажень від транспортних засобів, що призводить до недостатньої робочої міцності асфальтобетону та деформацій асфальтобетонних дорожніх та аеродромних покриттів. Під час експлуатації асфальтобетон піддається впливу температур та природно-кліматичних факторів, що може призвести до різних структурних проблем, які пов'язані з реологічними та фізико-механічними властивостями в'язучих речовин. Крім того, природне старіння доріг, підвищене навантаження транспорту і атмосферні впливи руйнують асфальтобетонне покриття

автомобільних доріг та аеродромів. Асфальтобетон відрізняється складною структурою, відносно невисокою вартістю, низьким енергоспоживанням та придатністю для різних умов експлуатації на основі широкодоступної сировини.

Дисертаційна робота присвячена застосуванню вуглецевих нанотрубок в будівельних матеріалах, особливо в асфальтобетонах та цементобетонах. Основними завданнями дослідження асфальтобетону, модифікованого вуглецевими нанотрубками, є: розробка технологічних рішень для покращення властивостей полімерних матеріалів, що містять полімерні асфальтобетонні в'язучі та вуглецеві нанотрубки, з використанням методів наномодифікації, зокрема з використанням вуглецевих нанотрубок; обґрунтування застосування полімерних асфальтобетонних в'язучих, модифікованих вуглецевими нанотрубками та розробка методів гомогенного розподілу і диспергування вуглецевих нанотрубок у цих матеріалах; дослідження впливу вуглецевих нанотрубок на міцність, деформацію та експлуатаційні властивості асфальтобетону.

У дисертації використано різноманітні комплексні дослідницькі методології та технологічні схеми для вивчення використання вуглецевих нанотрубок в асфальтобетоні та цементобетоні. Методологічна основа для асфальтобетону включає використання різних модифікуючих добавок, таких як адгезійні агенти, розріджувачі, пластифікатори та стабілізатори в асфальті для покращення якості асфальтобетону.

Вищенаведене обґрунтовує актуальність і своєчасність проведених автором досліджень.

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.

Обґрунтованість та достовірність отриманих у роботі результатів підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих коректною постановкою межових умов.

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

Структура дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає **213** сторінок, з них **135** сторінок основного тексту. Робота включає **60** рисунків, **57** таблиць, **2** додатки. Список використаних джерел налічує **226** найменувань.

У **вступі** автором описано актуальність, мету, поставлено задачі дослідження, продемонстровано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, представлено відомості щодо їх впровадження.

У **першому розділі** здійснено аналіз та огляд літературних джерел в галузі застосування нанотрубок в дорожніх та аеродромних покриттях. Детально розглянуто будову, властивості, методи отримання та застосування вуглецевих нанотрубок. Виконано поглиблений аналіз складу і структури в'язучих речовин та їх вплив на властивості асфальтобетонних покриттів доріг та аеродромів.

У **другому розділі** представлено широкий огляд літератури про модифіковані вуглецеві нанотрубки, теоретичні та практичні аспекти асфальтобетону. Проаналізовано використання вуглецевих нанотрубок для підвищення властивостей асфальтобетону.

Обговорено раціональні та ефективні способи підвищення якості асфальтобетону. Описано вплив різних модифікуючих добавок на структуру та властивості асфальтобетону.

Заслужують особливої уваги полімерні добавки. Полімерні добавки покращують опір зсуву, стійкість до розтріскування при низьких температурах і підвищують термін служби асфальтобетону.

Ефективність вуглецевих нанотрубок при модифікації асфальтобетону залежить від їх однорідного розподілу, максимізуючи використання їх великої питомої поверхні та поверхневої енергії.

Введення вуглецевих нанотрубок позитивно впливає на властивості асфальтобетону. Це пояснюється кращою дисперсією вуглецевих нанотрубок та утворенням стабільної суспензії в органічних розчинниках. Теоретична гіпотеза щодо ефективності використання вуглецевих нанотрубок у модифікації органічних в'язучих речовин підтверджується оглядом багатьох практичних досліджень.

У **третьому розділі** подано огляд літератури щодо теоретичних і практичних аспектів використання бетонів, модифікованих вуглецевими нанотрубками. У цьому розділі також наведена класифікація суперпластифікаторів та механізмів їх адсорбції, а також досліджуються продукти гідратації. Наведено огляд класифікації мінеральних добавок, їх дисперсія в цементі та вплив на властивості бетону.

У **четвертому розділі** описані проведені автором експериментальні дослідження щодо застосування вуглецевих нанотрубок в асфальтобетоні. Експериментально та аналітично встановлено, що включення вуглецевих нанотрубок в діапазоні 0,16-0,65 % від маси значно покращило фізико-механічні властивості асфальтобетону. Експериментально-аналітичним шляхом встановлено, що введення 0,3 % вуглецевих нанотрубок призвело до значного підвищення міцності на розрив при температурах 20°C і 50°C на 58 % і 54% відповідно.

У **п'ятому розділі** детально проаналізовано вплив вуглецевих нанотрубок при введенні їх в цементобетон. При цьому основна увага була зосереджена на

критичних аспектах, таких як дисперсія, механічні властивості та ефекти вуглецевих нанотрубок. Додавання вуглецевих нанотрубок до цементобетону значно підвищує міцність на стиск. У віці 1 день міцність на стиск цементобетону зросла з 21,41 МПа до 27,28 МПа, збільшившись на 21,5%.

У шостому розділі наведено загальні висновки до дисертаційної роботи.

У висновках представлено основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У додатках вміщено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також перелік наукових праць автора дисертаційної роботи.

Текст дисертації викладено англійською мовою, логічно і послідовно.

Стиль викладення доказовий. В цілому дисертація є закінченою науковою роботою.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог Наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оцінюючи найважливіші здобутки дисертаційної роботи, варто відзначити наступні результати, що мають вагому наукову новизну:

- вперше застосовано вуглецеві нанотрубки для значного покращення старіння та стійкості до стирання асфальтобетону, чого неможливо досягти за допомогою звичайних матеріалів;
- вуглецеві нанотрубки сприяють швидкому зростанню кристалів гідрату хлориду магнію, в результаті чого утворюється щільна мікроструктура з мінімальною пористістю, що призводить до суттєвого збільшення початкової міцності та жорсткості бетону;
- вперше показано, що використання високомолекулярних органічних полімерів в якості дисперсійного середовища має вирішальне значення для ефективного диспергування вуглецевих нанотрубок, що не тільки покращує

початкову плинність бетону, але й підвищує довготривалу стабільність бетонної суміші завдяки утворенню стабільної колоїдної системи.

Основні результати роботи достатньою мірою обґрунтовані. Їх наукова значимість і достовірність не викликає сумнівів, оскільки вони отримані в результаті аналітичної роботи та особистої практики здобувача. Автором чітко окреслені та лаконічно побудовані мета та завдання дослідження, обґрунтовано теоретичні підходи щодо їхнього виконання, розроблено та апробовано відповідні рекомендації, які у своїй комплексності є науковим способом вирішення поставлених завдань. Висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на дослідженнях автора.

Оцінка висновків здобувача щодо значущості його праці для науки й практики.

Теоретичні результати дисертації та результати експериментальних досліджень використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у дисциплінах «Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів» і «Дорожні та аеродромні покриття» на кафедрі інфраструктури авіаційного транспорту Національного авіаційного університету (акт впровадження від 08.01.2024 р.).

Повнота викладання основних результатів досліджень в опублікованих працях. Основні результати роботи опубліковані у 24 наукових працях, із яких 16 – наукові праці – у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Web of Science; 8 – матеріали і тези доповідей на конференціях.

Недоліки та зауваження по роботі.

1. У пункті «Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами» потрібно вказати конкретні НДР кафедр, з якими пов'язана дана робота.

2. В роботі не приділена увага вивченню поведінки асфальтобетону при навантаженнях і впливах, що спричиняють утворення колій.

3. Бажано було б мати акти впровадження дисертаційної роботи в підприємствах України, які займаються проектуванням, будівництвом та експлуатацією автомобільних доріг та аеродромів.

4. В тексті зустрічаються неточності редакційного характеру:

- на стор. 59 йде розрив таблиці 1.13, на сторінці 60 – таблиці 1.15, на сторінці 61 – таблиці 1.17;
- не можна розривати рисунок 2.7 на дві сторінки – 78 та 79;
- є розриви в таблицях 4.3, 4.6, 4.9, 4.10, 4.12, 5.4, 5.9, 5.15, 5.18, 5.22;
- дуже багато вільного місця внизу на сторінці 117; те саме стосується сторінок 138, 147;
- назва рисунку 5.4 з'їхала на сторінку 132, хоч сам рисунок розміщений на сторінці 131.

5. В Україні проблемами підвищення експлуатаційних властивостей дорожніх та аеродромних покриттів займаються безліч науковців, зокрема вчені з Національного транспортного університету та Державного підприємства «Національний інститут розвитку інфраструктури». Однак, в аналізі літературних джерел, не проаналізовані праці вищенаведених науковців, а в списку використаних джерел їхні роботи відсутні.

6. В списку використаних джерел дисертації відсутні 2 надзвичайно важливі документи:

- ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво;
- ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови.

7. В джерелі під номером 152 в списку використаних джерел не вказано кількість сторінок.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота **Ян Шилинь** на тему: «Використання вуглецевих нанотрубок в дорожньому та аеродромному будівництві при динамічних навантаженнях» є самостійною завершеною науковою роботою, у якій обґрунтовано результати, що вирішують науково-практичні задачі застосування нанотрубок в дорожньому та аеродромному будівництві, що є значним досягненням для розвитку аеродромної та дорожньої галузі.

Таким чином, дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 № 44, а її автор Ян Шилинь заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 – Архітектура та будівництво.

ОФІЦІЙНИЙ РЕЦЕНЗЕНТ:

Завідувач кафедри інфраструктури
авіаційного транспорту Національного
авіаційного університету
К. Т. Н., доцент



О.М. Дубик

22.04.2024

Head of the one-time specialized scientific council

National Aviation University,

Doctor of Technical Sciences, Professor

Barabash Maria Serhiyivna

REVIEW

of the official opponent Oleksandr Mykolayovych Dubyk

on the dissertation work of

Yang Shilin

"Application of carbon nanotubes in road and airfield construction under dynamic loads", which is presented for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 - Construction and Civil Engineering, field of study 19 - Architecture and Construction.

Relevance. Asphalt concrete is one of the main materials in road and airfield construction. However, this material is sensitive to environmental changes and mechanical loads from vehicles, which leads to insufficient working strength of asphalt concrete and deformation of asphalt concrete road and airfield pavements. During operation, asphalt concrete is exposed to temperatures and climatic factors, which can lead to various structural problems related to the rheological and physical and mechanical properties of the binders. In addition, the natural aging of roads, increased traffic and weathering destroy asphalt pavements on roads and airfields. Asphalt concrete is characterized by a complex structure, relatively low cost, low energy consumption, and suitability for various operating conditions based on widely available raw materials.

This dissertation is devoted to the use of carbon nanotubes in construction materials, especially in asphalt concrete and cement concrete. The main objectives of the research of asphalt concrete modified with carbon nanotubes are development of technological solutions to improve the properties of

polymeric materials containing polymeric asphalt binders and carbon nanotubes using nanomodification methods, in particular, using carbon nanotubes; substantiation of the use of polymeric asphalt binders modified with carbon nanotubes and development of methods for homogeneous distribution and dispersion of carbon nanotubes in these materials; research of the effect of carbon nanotubes on the strength, deformation and performance properties of asphalt concrete.

The dissertation uses a variety of comprehensive research methodologies and technological schemes to research the use of carbon nanotubes in asphalt and cement concrete. The methodological framework for asphalt concrete includes the use of various modifying additives such as adhesion agents, diluents, plasticizers, and stabilizers in asphalt to improve the quality of asphalt concrete.

The above substantiates the relevance and timeliness of the research conducted by the author.

The degree of validity and reliability of the scientific positions, conclusions and recommendations formulated in the dissertation.

The substantiation of the scientific provisions of the dissertation is based on the analysis of scientific, technical, and regulatory literature, a clear formulation of research objectives, and a thorough analysis of theoretical, experimental, and practical experience.

The validity and reliability of the results obtained in this dissertation is confirmed using physically sound boundary conditions.

The research conducted by the author makes the scientific positions and conclusions of the paper well-founded.

Structure of the dissertation.

The dissertation consists of an abstract, an introduction, six chapters, general conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is *213* pages, including *135* pages of the main text. The dissertation includes *60* figures, *57* tables, and *2* appendices. The list of references includes *226* items.

In the **introduction**, the author describes the relevance, purpose, and objectives of the research, demonstrates the scientific novelty and practical value of the results obtained, and provides information on their implementation.

In the **first chapter**, we analyze and review the literature on the use of nanotubes in road and airfield pavements. The structure, properties, methods of obtaining and using carbon nanotubes are discussed in detail. An in-depth analysis of the composition and structure of binders and their influence on the properties of asphalt pavements of roads and airfields is performed.

In the **second chapter**, a broad literature review on modified carbon nanotubes, theoretical and practical aspects of asphalt concrete is presented. The use of carbon nanotubes to improve the properties of asphalt concrete is analyzed.

Rational and effective ways to improve the quality of asphalt concrete are discussed. The influence of various modifying additives on the structure and properties of asphalt concrete is described.

Polymer additives deserve special attention. Polymeric additives improve shear resistance, resistance to cracking at low temperatures, and increase the service life of asphalt concrete.

The effectiveness of carbon nanotubes in modifying asphalt concrete depends on their homogeneous distribution, maximizing the use of their large specific surface area and surface energy.

The introduction of carbon nanotubes has a positive effect on the properties of asphalt concrete. This is due to the better dispersion of carbon nanotubes and the formation of a stable suspension in organic solvents. The theoretical hypothesis about the effectiveness of carbon nanotubes in the modification of organic binders is confirmed by a review of many practical studies.

In the **third chapter**, a literature review is presented on the theoretical and practical aspects of the use of concrete modified with carbon nanotubes. This section also provides a classification of superplasticizers and their adsorption mechanisms, as well as the research of hydration products. An overview of the

classification of mineral admixtures, their dispersion in cement, and their impact on concrete properties is provided.

In the **fourth chapter**, the author describes experimental studies on the use of carbon nanotubes in asphalt concrete. Experimentally and analytically, it was found that the inclusion of carbon nanotubes in the range of 0.16-0.65 % by weight significantly improved the physical and mechanical properties of asphalt concrete. It was found experimentally and analytically that the introduction of 0.3 % carbon nanotubes led to a significant increase in tensile strength at 20 °C and 50 °C by 58 % and 54 %, respectively.

In the **fifth chapter**, the effect of carbon nanotubes when introduced into cement concrete was analyzed in detail. The focus was on critical aspects such as dispersion, mechanical properties, and effects of carbon nanotubes. The addition of carbon nanotubes to cement concrete significantly increases the compressive strength. At the age of 1 day, the compressive strength of the cement concrete increased from 21.41 MPa to 27.28 MPa, an increase of 21.5%.

In the **sixth chapter**, general conclusions to the thesis are presented.

In the **conclusions**, the main scientific and practical results of the dissertation are presented.

In the **appendices**, there are acts of implementation of the results of the dissertation, as well as a list of scientific works of the author of the dissertation.

The text of the dissertation is written in English, logically and consistently.

The style of presentation is evidentiary. In general, the dissertation is a complete scientific work.

The dissertation is designed in accordance with the requirements of the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine of January 12, 2017, No. 40 "On Approval of Requirements for the Dissertation Design".

Evaluating the most important achievements of the dissertation, it is worth noting the following results that have significant scientific novelty:

- for the first time, carbon nanotubes were used to significantly improve the aging and abrasion resistance of asphalt concrete, which is impossible to achieve

with conventional materials;

- carbon nanotubes contribute to the rapid growth of magnesium chloride hydrate crystals, resulting in a dense microstructure with minimal porosity, which leads to a significant increase in the initial strength and stiffness of concrete;

- for the first time, it was shown that the use of high molecular weight organic polymers as a dispersion medium is crucial for the effective dispersion of carbon nanotubes, which not only improves the initial fluidity of concrete, but also increases the long-term stability of the concrete mix due to the formation of a stable colloidal system.

The main results of the dissertation are sufficiently substantiated. Their scientific significance and reliability are beyond doubt, as they are obtained because of the applicant's analytical work and personal practice. The author has clearly outlined and concisely constructed the purpose and objectives of the research, substantiated theoretical approaches to their implementation, developed and tested appropriate recommendations, which in their complexity are a scientific way to solve the tasks. The conclusions and recommendations of the dissertation are based on the author's research.

Assessment of the applicant's conclusions on the significance of his research for science and practice.

The theoretical results of the dissertation and the results of experimental research are used in the educational process of training specialists in the specialty 192 "Civil Engineering and Civil Engineering" in the disciplines "Physical and Chemical Mechanics of Road Construction Materials" and "Road and Airfield Pavements" at the Department of Air Transport Infrastructure of the National Aviation University (implementation act of 08.01.2024).

Completeness of presentation of the main research results in published publications. The main results of the publication are published in 24 scientific papers, of which 16 are scientific papers in periodicals indexed in the Web of Science database; 8 are materials and abstracts of reports at conferences.

Shortcomings and comments on the dissertation.

1. In the paragraph "Relationship of the work to scientific programs, plans, topics", you should indicate the specific research projects of the departments with which this work is related.

2. The publication does not pay attention to the research of the behavior of asphalt concrete under loads and impacts that cause the formation of ruts.

3. It would be desirable to have acts of implementation of the dissertation work in Ukrainian enterprises engaged in the design, construction and operation of roads and airfields.

4. There are editorial inaccuracies in the text:

- table 1.13 is broken on page 59, table 1.15 on page 60, and table 1.17 on page 61;

- figure 2.7 should not be split into two pages - 78 and 79;

- there are gaps in tables 4.3, 4.6, 4.9, 4.10, 4.12, 5.4, 5.9, 5.15, 5.18, 5.22;

- too much free space at the bottom of page 117; the same applies to pages 138, 147;

- the title of figure 5.4 has moved to page 132, although the figure itself is located on page 131.

5. In Ukraine, many scientists, including scientists from the National Transport University and the State Enterprise "National Institute of Infrastructure Development", are engaged in the problems of improving the operational properties of road and airfield pavements. However, the analysis of literature sources does not analyze the research of the above-mentioned scientists, and their research is not listed in the list of references.

6. The list of references of the dissertation does not include 2 extremely important documents:

- DBN B.2.3-4: 2015 Highways. Part 1: Design. Part 2. Construction;

- DSTU 9208: 2022 Heavy concretes. Technical conditions.

7. In the source number 152, the number of pages is not indicated in the list of references.

CONCLUSIONS.

The dissertation of **Yang Shilin** on the topic: "Application of carbon nanotubes in road and airfield construction under dynamic loads" is an independent completed scientific research work, which substantiates the results that solve scientific and practical problems of the use of nanotubes in road and airfield construction, which is a significant achievement for the development of the airfield and road industry.

Thus, the dissertation meets the requirements of paragraphs 6-9 of the "Procedure for awarding the degree of Doctor of Philosophy and canceling the decision of a one-time specialized academic council of a higher education institution, scientific institution to award the degree of Doctor of Philosophy", approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 44 of January 12, 2022, and its author Yang Shilin deserves to be awarded the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 - Construction and Civil Engineering, field of study 19 - Architecture and Construction.

OFFICIAL REVIEWER:

Head of the Department of
Aviation Transport Infrastructure of
National Aviation University
Ph.D., associate professor

O.M. Dubyk

