

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ГЕЛЬВЕТІКА»

STATE UNIVERSITY "KYIV AVIATION INSTITUTE"
NATIONAL TRANSPORT UNIVERSITY
PUBLISHING HOUSE "HELVETICA"

AIRPORT

Planning, Construction and Maintenance Journal

Випуск 2 (4)
Issue 2 (4)



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

Дубик Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Агєєва Галина Миколаївна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Беленок Вадим Юрійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Белоусова Наталія Володимирівна, доктор економічних наук, доцент, професор кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Великодський Юрій Іванович, кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник, завідувач кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет

Іщенко Наталія Федорівна, доктор філософії за спеціальністю «Економіка», доцент, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Краюшкіна Катерина Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Лапенко Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Марковський Андрій Ігорович, доктор архітектури, доцент, професор кафедри архітектури та просторового планування, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Махінько Наталія Олександрівна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Путренко Віктор Валентинович, доктор технічних наук, старший дослідник, професор, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Скрипник Лілія Русланівна, доктор філософії з економіки, доцент, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Степанчук Олександр Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Товбич Валерій Васильович, доктор архітектури, професор, завідувач кафедри архітектури та просторового планування, Київський національний університет будівництва і архітектури

Томаш Ношик (Tomasz Noszczyk), доктор інженерії, доцент кафедри землеустрою та ландшафтно́ї архітектури, Сільськогосподарський університет у Кракові (Польща)

Яковенко Ігор Анатолійович, доктор технічних наук, професор кафедри будівництва, Національний університет біоресурсів і природокористування України МОН України

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Державного університету «Київський авіаційний інститут»
(протокол № 14 від 19 грудня 2024 року)

Журнал засновано у 2023 році. Науковий журнал «Airport Planning, Construction and Maintenance Journal»
zareєстровано в Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення
(Рішення № 1420 від 16.11.2023 р. Ідентифікатор медіа R 30-01877).
Періодичність: 2 рази на рік.

Офіційний сайт видання: journals.nau.in.ua/index.php/apcmj

Мови видання: українська, англійська.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою
програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

CHIEF EDITOR:

Oleksandr Dubyk, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Aviation Transport Infrastructure, State University “Kyiv Aviation Institute”

EDITORIAL TEAM:

Galyna Agieieva, PhD (Engineering), Senior Research Associate

Vadym Belenok, Ph.D. (Physics-Mathematics), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, State University “Kyiv Aviation Institute”

Nataliia Bielousova, DSc (Economics), Associate Professor, Professor at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, State University “Kyiv Aviation Institute”

Yuri Velikodsky, Ph.D. (Physics-Mathematics), Senior Researcher, Head of the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, State University “Kyiv Aviation Institute”

Andriy Dmytrychenko, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University

Nataliia Ishchenko, Ph.D. (Economics), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, State University “Kyiv Aviation Institute”

Kateryna Krayushkina, Ph.D. (Engineering), Associate Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University “Kyiv Aviation Institute”

Oleksandr Lapenko, DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University “Kyiv Aviation Institute”

Andrii Markovskiy, DSc (Architecture), Associate Professor, Head of the Department of Architecture and Spatial Planning, State University “Kyiv Aviation Institute”

Nataliia Makhinko, DSc (Architecture), Associate Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University “Kyiv Aviation Institute”

Viktor Putrenko, DSc (Engineering), Senior Researcher, Professor, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Lillia Skrypnyk, Ph.D. (Economics), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management, State University “Kyiv Aviation Institute”

Oleksandr Stepanchuk, DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Computer Technologies in Construction, State University “Kyiv Aviation Institute”

Valerii Tovbych, DSc (Architecture), Professor, Head of the Department of Architecture and Spatial Planning, Kyiv National University of Construction and Architecture

Tomasz Noszczyk, Ph.D. (Engineering), Senior Lecturer at the Department of Land Management and Landscape Architecture, University of Agriculture in Krakow (Poland)

Ihor Yakovenko, DSc (Engineering), Professor at the Department of Construction, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

The journal is recommended for printing by the Academic Council
of the State University “Kyiv Aviation Institute”
(Minutes No. 14 dated December 19, 2024)

Published since 2023. The scientific journal “Airport Planning, Construction and Maintenance Journal”
is registered by the National Council of Ukraine on Television and Radio Broadcasting
(Decision No. 1420 as of 16.11.2023, Media ID: R 30-01877).
Periodicity: 2 times a year.

Official web-site: journals.nau.in.ua/index.php/apcmj

Languages: Ukrainian, English.

Articles are checked for plagiarism using the software StrikePlagiarism.com
developed by the Polish company Plagiat.pl.

ЗМІСТ

Агєєва Г. М. ІННОВАЦІЙНІ ПЛАНУВАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БУДІВЛІ АЕРОВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ».....	6
Гаркуша М. В., Гаркуша І. Ю. ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВОЇ КОПОЛІМЕРНОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ.....	33
Horb O. H., Shevchenko O. V., Bidna N. O. STUDY OF REGIONAL FACTORS AND BASIC PROPERTIES OF RAW MATERIALS FOR THE BIOCONCRETE FILLER SELECTION.....	40
Zhuravel D. V. THE PROBLEM OF AVIATION NOISE POLLUTION OF THE TERRITORY AROUND AIRPORTS.....	47
Іщенко Н. Ф., Скрипник Л. Р. ПРИНЦИПИ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ЗЕМЕЛЬ АЕРОПОРТІВ УКРАЇНИ.....	57
Коваленко Л. О. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ.....	66
Крячок С. Д. ЩОДО ЯКОСТІ ЗБОРУ ГАММА-КВАНТІВ НА МАРШРУТІ АЕРОЗНІМАННЯ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ТЕРИТОРІЇ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	73
Максименко В. П., Дубик О. М., Карпенко А. К., Зіненко С. С. ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ЖОРСТКИХ ПОКРИТТЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ.....	87
Пустовойт Р. О. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ В АЕРОПОРТАХ.....	96
Родченко О. В. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ПАРАМЕТРА ЖОРСТКОГО АЕРОДРОМНОГО ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	104
Русіна Н. Г., Люльчик В. О., Петрова О. М. ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ ЯК ВАЖЛИВИЙ КОМПОНЕНТ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ (НА ПРИКЛАДІ САРНЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ).....	113
Скляренко С. О. УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВИРОБНИЧОГО МАЙДАНЧИКА.....	124
Степанчук О. В., Омеляненко М. В., Лапенко О. І. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ ПРИВОКЗАЛЬНИХ ПЛОЩ НА ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТІВ.....	130
Чернишова О. С., Степанчук О. В., Дубик О. М. СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ПІШОХІДНИХ ЗОН АЕРОПОРТІВ І ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ПОТРЕБ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ.....	141

CONTENTS

Agieieva Galyna

INNOVATIVE PLANNING AND STRUCTURAL SOLUTIONS OF THE AIRPORT
TERMINAL BUILDING OF BORYSPIL INTERNATIONAL AIRPORT.....6

Harkusha Mykola, Harkusha Inna

APPLICATION OF ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVES FOR STRENGTHENING
AND STABILIZATION OF SOILS IN CONSTRUCTION.....33

Horb Oleksandr, Shevchenko Oleksandra, Bidna Nadiia

STUDY OF REGIONAL FACTORS AND BASIC PROPERTIES OF RAW MATERIALS
FOR THE BIOCONCRETE FILLER SELECTION.....40

Zhuravel Dmytro

THE PROBLEM OF AVIATION NOISE POLLUTION OF THE TERRITORY
AROUND AIRPORTS.....47

Ishchenko Nataliia, Skrypnyk Liliia

PRINCIPLES OF TERRITORIAL LAND PLANNING OF AIRPORTS OF UKRAINE.....57

Kovalenko Liudmyla

TECHNOLOGY FOR PERFORMING TOPOGRAPHIC AND GEODETIC WORKS
DURING THE OVERHAUL OF A ROAD SECTION.....66

Kryachok Serhiy

TO THE QUALITY OF GAMMA QUANTUM COLLECTION ON THE ROUTE
OF AERIAL SURVEYING FROM AN UNMANNED AIRCRAFT IN THE TERRITORY
OF RADIATION CONTAMINATION.....73

Maksimenko Valery, Dubyk Oleksandr, Karpenko Anatoly, Zinenko Serhii

APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCEMENT IN RIGID PAVEMENTS
OF MOTOR ROADS AND AIRPORTS.....87

Pustovoit Ruslan

FUNCTIONAL ZONING OF THE TERRITORY OF TRANSPORT AND TRANSFER NODES
IN AIRPORTS.....96

Rodchenko Oleksandr

COMPUTER TECHNOLOGIES OF AIRFIELD RIGID PAVEMENT CLASSIFICATION
RATING DETERMINING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE104

Rusina Nelya, Lyulchyk Vadim, Petrova Olga

LAND INVENTORY AS AN IMPORTANT COMPONENT IN THE LAND MANAGEMENT
SYSTEM (THE CASE OF SARNY DISTRICT OF RIVNE REGION).....113

Skliarenko Serhii

IMPROVEMENT OF MEASURING EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL CONTROL
OF BUILDING STRUCTURES PARAMETERS ON A CONSTRUCTION SITE124

Stepanchuk Oleksandr, Omelyanenko Maxim, Lapenko Oleksandr

STUDY OF PLANNING DECISIONS OF TERMINAL AREAS ON THE TERRITORY
OF AIRPORTS.....130

Chernyshova Oksana, Stepanchuk Oleksandr, Dubyk Oleksandr

MODERN REQUIREMENTS FOR PEDESTRIAN ZONES AIRPORTS AND RAILWAY
STATIONS WITH REGARD TO THE NEEDS OF PEOPLE WITH REDUCED MOBILITY141

УДК 725.398:72.025.5(045)

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.1>**Агєєва Галина Миколаївна,**

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
завідувачка кафедри управління архітектурною діяльністю
та цивільним будівництвом,
Навчально-науковий інститут неперервної освіти
Державного університету «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9376-8753>
E-mail: gala.agieieva@gmail.com
Scopus-Author ID: 58163079000
Researcher ID: F-9244-2018

ІННОВАЦІЙНІ ПЛАНУВАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БУДІВЛІ АЕРОВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ МІЖНАРОДНОГО АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ»

Анотація. У роботі досліджуються планувальні та конструктивні рішення будівлі аеровокзалу (сучасного терміналу В) Міжнародного аеропорту «Бориспіль», які є інноваційними для періоду його проектування й будівництва (1959–1965 роки).

Архітектуру об'єктів інфраструктури авіаційного транспорту визначають стилі, які панують у відповідному історичному періоді. Низка об'єктів будується за типовими проектами, що пов'язано з особливостями технологічних процесів і не потребує досягнення архітектурної виразності складників забудови транспортного підприємства. Винятком є аеровокзали, архітектура яких дає змогу додати їм додаткових функцій – своєрідних «візитівок» міст і країни загалом.

Особливо яскраво це простежується в об'єктах – взірцях спадщини архітектури модернізму (1960–1990-і роки), які через низку причин можуть бути втрачені після 50 років експлуатації.

Останнім часом саме переосмисленню спадщини архітектури модернізму приділяється велика увага з боку Міжнародної ради з охорони пам'яток та історичних місць – ICOMOS.

До вивчення історичних і соціальних умов його виникнення, особливостей науково-дослідницького, проектно-технологічного й нормативно-методичного супроводження, поширення наукових знань і досвіду збереження залучається широке коло спеціалістів і громадськості, зокрема українське.

Мета дослідження – простежити динаміку змін і розвитку технологічних, планувальних, конструктивних та інженерних рішень аеровокзалів – від пасажирських павільйонів до багатовокзальних комплексів; приділити увагу окремому об'єкту, побудованому в Міжнародному аеропорту «Бориспіль».

Джерельну базу дослідження становлять матеріали бібліотечних, архівних і приватних збірань; нормативної бази в галузі будівництва; проектної та експлуатаційної документації тощо.

Методологія дослідження базується на застосуванні таких методів: джерелознавчого; порівняльного та критичного аналізу; системного підходу до вивчення об'єкта як складника інфраструктури авіаційного транспорту та взірця архітектури модернізму.

Проаналізовано дані, які характеризують об'єкт дослідження як вагомий складник інфраструктури авіаційного транспорту України та взірця спадщини архітектури київського модернізму.

Виявлено й оцінено унікальні для того часу пропозиції щодо організації технологічних процесів обслуговування пасажирів, відповідного їх наземного забезпечення будівлями та спорудами, зокрема закритими посадковими галереями, відкритими терасами з функціями оглядових майданчиків, зовнішніми та внутрішніми пандусами.

Оцінено вплив світової практики на формування технологічних схем, планувальних, конструктивних та інженерних рішень аеровокзалу.

Виявлено особливості індивідуальних підходів до розв'язання складних завдань об'ємно-просторової організації аеровокзального комплексу й формування його виразного архітектурного образу; створення й посилення психологічного ефекту від перебування в аеровокзалі, упровадження передових для того часу

індустріальних методів виробництва та монтажу збірних залізобетонних конструкцій, зокрема оболонки подвійної додатної кривизни тощо.

Визначено особливості планувальних і конструктивних рішень об'єкта інфраструктури авіаційного транспорту, які дали змогу на етапах проєктування й будівництва задовольнити соціальний запит на створення комфортних умов обслуговування масових пасажироперевезень, забезпечити вільний доступ відвідувачів до найкращих видових точок спостереження за подіями й процесами на пероні та летовищі.

Отримані результати можуть бути використані:

- для вивчення та розв'язання проблем розвитку й управління аеровокзальними комплексами, до складу яких входять об'єкти з різними ресурсними й культурологічними потенціалами, що потребують подовження життєвого циклу;
- для розв'язання проблем збереження, розконсервації та подальшої технічної експлуатації об'єкта, який перебуває в стані консервації;
- для виключення умов неоправданих утрат взірців архітектури модернізму в середовищі інфраструктури авіаційного транспорту.

Ключові слова: аеропорт, забудова, аеровокзал, Бориспіль, модернізм, оболонка подвійної додатної кривизни, відкриті тераси, оглядові майданчики.

Agieieva Galyna. INNOVATIVE PLANNING AND STRUCTURAL SOLUTIONS OF THE AIRPORT TERMINAL BUILDING OF BORYSPIL INTERNATIONAL AIRPORT

Abstract. The study explores the planning and structural solutions of the terminal building (modern Terminal B) at Boryspil International Airport, which were innovative for the period of its design and construction (1959–1965).

The architecture of aviation transport infrastructure facilities is defined by the styles prevailing in the corresponding historical period. A number of such facilities are constructed based on standard projects due to the specific nature of technological processes, which often do not require architectural expressiveness in the elements of the transport enterprise's construction. Airport terminals, however, are an exception, as their architecture allows them to serve as unique "business cards" for cities and countries. This is especially evident in the objects representing the heritage of modernist architecture (1960–1990), which, due to various reasons, risk being lost after 50 years of operation.

Recently, considerable attention has been paid to the reinterpretation of the heritage of modernist architecture by the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). A wide range of specialists and the public, including those in Ukraine, are involved in studying the historical and social conditions of its emergence, as well as the features of scientific research, design, technological, and regulatory support for disseminating knowledge and preservation practices.

Objective of the Study. To trace the dynamics of changes and development in airport terminals' technological, planning, structural, and engineering solutions, from passenger pavilions to multi-terminal complexes, with special attention to a particular facility built at Boryspil International Airport.

The research is based on materials from libraries, archives, private collections, construction regulations, and project and operational documentation. The study's methodology involves using various methods, including source studies, comparative and critical analysis, and a systematic approach to examining the object as part of aviation transport infrastructure and a sample of modernist architecture.

The data characterizing the research object as a significant component of Ukraine's aviation transport infrastructure and a sample of Kyiv's modernist architectural heritage are analyzed. Unique proposals from that time regarding the organization of passenger service processes, including land-based support with buildings and structures like enclosed boarding galleries, open terraces with observation deck functions, external and internal ramps, have been identified and evaluated. The impact of global practices on the formation of technological schemes, planning, structural, and engineering solutions of the airport terminal has been assessed. The specific individual approaches to solving the complex tasks of spatial organization in the airport terminal complex and forming its expressive architectural image, enhancing the psychological effect of staying at the terminal, and implementing advanced industrial methods for producing and assembling precast reinforced concrete structures (including double positive curvature shells) have been revealed.

The study identifies the unique planning and structural solutions of an aviation transport infrastructure object, which, during the design and construction stages, satisfied the social demand for creating comfortable conditions for mass passenger transportation. It also ensured free access for visitors to the best viewpoints for observing events and processes on the apron and runway.

The results can be used:

- To study and solve the development and management problems of airport terminal complexes, which include objects with varying resource and cultural potential requiring lifecycle extension.

- To address issues related to the preservation, deconservation, and further technical operation of the facility, which is currently in a state of conservation.
- To prevent irreparable losses of modernist architectural samples within aviation transport infrastructure.

Key words: airport, construction, terminal, Boryspil, modernism, double positive curvature shell, open terraces, visitors' terraces.

Вступ. Сторічний період існування й розвитку цивільної авіації не раз супроводжувався змінами підходів до розв'язання комплексу проблемних питань ефективної експлуатації аеродромів та аеропортів, зокрема землеведення, використання й охорони земель авіаційного транспорту, просторової організації територій аеропортів і зон їх впливу; появи нових типів будівель і споруд різного призначення; перетворення складників інфраструктури авіаційного транспорту на великі аеродромні й аеровокзальні комплекси тощо [1–18].

Сучасний стан та розвиток аеропортів характеризується таким:

- значними обсягами авіаційних перевезень пасажирів, пошти, вантажів;
- великими площами земель аеропортів і приаеродромних територій;
- забудовою, складниками якої є будівлі та споруди для забезпечення авіаційних і неавіаційних видів діяльності;
- високими рівнями впровадження новітніх технологій та інноваційних підходів, зокрема, для управління потоками пасажирів, вантажів, наземного транспорту тощо.

Особливе місце посідають питання експлуатації, модернізації та реконструкції наявних об'єктів, які прямо стосуються обслуговування пасажиропотоків; відіграють основну композиційну роль не тільки в архітектурному середовищі аеропортів, а й у формуванні панорам і видів міських ландшафтів у системі просторової організації територій у зоні впливу аеропортів [2; 5; 7–10; 12–20].

Архітектуру цих об'єктів визначали стилі, що панували в минулому столітті, і відповідні політичні, соціальні, економічні й екологічні умови та запити. На різних історичних етапах будівництво виконували за типовими й індивідуальними проєктами. Реалізація останніх сприяла тому, що на території аеропортів з'являлись об'єкти – взірці архітектур-

них стилів, зокрема архітектури модернізму (1960–1990-і роки).

Актуальним є те, що існують умови неоправних їх втрат унаслідок:

- вичерпання призначеного технічного ресурсу складників або об'єкту в цілому;
- перепланування та змін початкових функцій, зокрема головної ролі в системі просторової організації забудови [3–8; 10; 11; 14–17; 21–26];
- військових агресій [27–29] тощо.

Тому доцільно:

- простежити динаміку змін і розвитку технологічних, планувальних, конструктивних та інженерних рішень таких об'єктів – від пасажирських павільйонів до багатовокзальних комплексів;
- приділити увагу окремому об'єкту, побудованому в Міжнародному аеропорту (далі – МА) «Бориспіль» [13; 19; 23; 30; 31].

Матеріали та методи. Джерельну базу дослідження становлять:

- матеріали бібліотечних, архівних і приватних зібрань;
- нормативна база в галузі будівництва;
- проєктна й експлуатаційна документація тощо.

Методологія дослідження базується на застосуванні таких методів: джерелознавчого; порівняльного та критичного аналізу; системного підходу до вивчення об'єкта як складника інфраструктури авіаційного транспорту та взірця архітектури київського модернізму.

Результати. Найбільш відомими взірцями спадщини архітектури модернізму серед об'єктів інфраструктури авіаційного транспорту є будівлі, побудовані за проєктами архітектора Ееро Сааріненна [11; 20]:

- аеровокзал МА Далласа (Вашингтон, США, 1958–1963) – рис. 1;
- пасажирський термінал авіакомпанії Trans World Airlines (TWA) МА імені Джона Ф. Кеннеді (Нью-Йорк, США, 1957–1962) – рис. 2.



а



б

Рис. 1. Будівля аеровокзалу МА Даласа, Вашингтон, США:

а – загальний вигляд, джерело: <http://surl.li/koajca>;

б – процес виконання будівельних робіт, джерело: <http://surl.li/zfmeaq>



а



б

Рис. 2. Будівля пасажирського терміналу авіакомпанії TWA, МА імені Джона Ф. Кеннеді, Нью-Йорк, США:

а – загальний вигляд, джерело: <http://surl.li/sfizca>;

б – процес виконання будівельних робіт, джерело: <http://surl.li/hytium>

Упродовж експлуатації вони зазнали перепланувань і модернізацій, зміни ролі в системі аероокзальних комплексів відповідних аеропортів, але не втратили ознак взірців спадщини архітектури модернізму [11; 20].

Зокрема, термінал авіакомпанії TWA:

- у 1994 році офіційно визнаний пам'яткою міста Нью-Йорка;
- у 2005 році вже після призупинення експлуатації включений до реєстру історичних об'єктів національного значення;
- у подальшому був перепрофільований на готель із максимальним збереженням початкових архітектурно-планувальних, конструктивних і дизайнерських рішень [11].

Останнім часом саме переосмисленню спадщини архітектури модернізму приділяється велика увага не тільки з боку Міжнародної ради з охорони пам'яток та історичних місць – ICOMOS [32].

До вивчення історичних і соціальних умов його виникнення, особливостей науково-дослідницького, проектно-технологічного та нормативно-методичного супроводження, поширення наукових знань і досвіду збереження залучається широке коло спеціалістів і громадськості [20; 32–37], зокрема українських [27; 38–55].

Результати цієї діяльності:

- відображаються в аналітичних оглядах, наукових статтях [6; 29; 34; 39; 42; 45; 48; 50;

51; 56], монографіях [32; 35], дисертаційних дослідженнях [57], альбомах [35; 47], каталогах, картах-схемах [41; 44] тощо;

– оприлюднюються на науково-практичних конференціях [16; 38] і в засобах масової інформації [40; 41; 43; 46; 47; 49; 52; 55];

– використовуються державними установами й громадськими організаціями для популяризації та привертання уваги громадян до національного культурного надбання, підтримки його розмаїття тощо.

За підтримки Українського культурного фонду впродовж 2023 року реалізовано проєкт «Крихка спадщина: портал архітектурного модернізму прифронтових та тимчасово окупованих регіонів України» (виконавці: Департамент культури і туризму Запорізької міської ради, Державна наукова архітектурно-будівельна бібліотека імені В.Г. Заболотного, Баугауз-Інститут історії та теорії архітектури і планування факультету архітектури та урбаністики Університету Баугауз, м. Веймар, ФРН) [46; 47].

У межах іншого – громадського – проєкту створена карта спадщини архітектури модернізму, яка охоплює всю територію України та постійно поповнюється інформацією про взірці стилю, побудовані впродовж 1960–1990-х років [33–37; 41; 44; 55].

Київська спадщина представлена понад 70 об'єктами, зокрема складниками інфраструктури авіаційного, автомобільного, рейкового (залізничя), річкового, спеціалізованого (фунікулер) і підземного транспорту [33–37; 41; 44; 55].

Серед об'єктів інфраструктури авіаційного транспорту є будівля аеровокзалу (сучасний термінал В) у МА «Бориспіль» [13; 19; 23; 30; 31].

Вона побудована за індивідуальним проєктом «Аеровокзал у Києві», розробленим упродовж 1959–1965 років Державним інститутом із проєктування «Київпроєкт» за участі зонального Науково-дослідного інституту експериментального проєктування (Київ-ЗНДІЕП), Проєктного інституту «Промбуд-проєкт» тощо (рис. 3).

До складу авторського колективу розробників проєкту входили архітектори А.В. Добровольський [13; 19; 23; 30; 31; 37;

56; 57], О.І. Малиновський, Д.П. Попенко, Ю.М. Євреїнов, інженери-конструктори З.В. Апельцин, Л.Г. Дмитрієв, Г.Б. Гільман, М.Л. Панич, А.Н. Ярмоленко й ін.

Великі об'єкти, побудовані того часу за індивідуальними проєктами, у більшості випадків:

– були акцентами планувальної організації забудови відповідного періоду розвитку архітектури [32; 33; 41; 44; 46; 48; 51; 54];

– є зразками архітектурно-конструктивних та інженерно-технологічних рішень, у яких реалізовані нові можливості використання будівельних матеріалів, систем і конструкцій, зокрема залізобетонних [32–35; 43; 44; 46–49; 51; 52; 54].

Спробуємо простежити це на прикладі аеропортів України.

За офіційними даними, в Україні до початку Другої світової війни діяли 25 аеропортів, 340 посадкових майданчиків, які забезпечували функціонування 77 повітряних ліній протяжністю 27 146 км. Упродовж 1940 року перевезено 33,6 тис. пасажирів, 1 864 т пошти, 1,9 тис. т вантажів [13].

У ході Другої світової війни всі аеропорти були зруйновані. Їх відбудова розпочалася в 1943 році, наприкінці 1945 року забезпечено функціонування 29 аеропортів, 295 посадкових майданчиків.

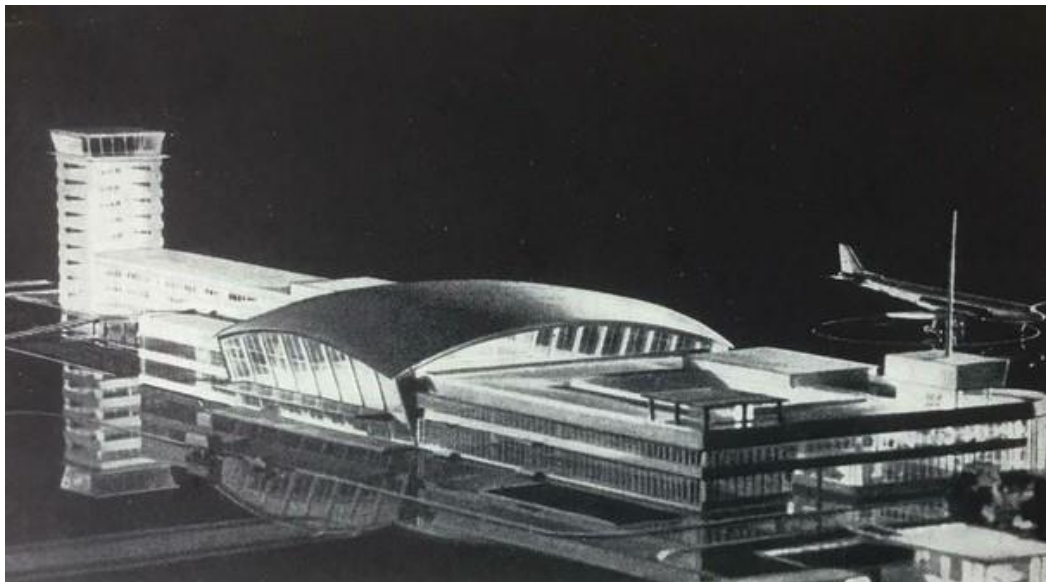
Перший, за класифікацією дослідників, післявоєнний період будівництва аеропортів (1945–1956) характеризувався гострою потребою у використанні цивільної авіації для відновлених галузей народного господарства країни, як наслідок, супроводжувався інтенсивним розвитком авіації, зростанням обсягів перевезення пасажирів, пошти, вантажів (таблиця 1) і вимагав відповідного наземного забезпечення її функціонування [1; 13].

Основні обсяги авіаперевезень повітряними суднами невеликої пасажиромісткості забезпечували аеропорти Києва, Донецька, Запоріжжя, Львова, Одеси, Харкова.

Павільйони – тимчасові споруди простих форм і конструктивних рішень – уже не задовольняли вимоги комфорту перебування пасажирів, зокрема захисту від природних явищ (дощ, вітер, сніг тощо).



а



б

Рис. 3. Аеровокзал, аеропорт «Бориспіль»:

а – проектні пропозиції будівництва, 1961 рік, фото О. Михайленка, джерело: <http://surl.li/creeon>;

б – макет будівлі, 1969 рік, фото І. Кропивницького, джерело: <https://violity.com/en/113614910-starye-otkrytki-goroda-ukrainy>

Тому процес відбудови літовищ супроводжувався будівництвом нових будівель аеровокзалів малої пропускної спроможності: 75, 100 та 200 пас/год, зокрема, в аеропортах обласних центрів – Київ/Жуляни (1952), Львів, Миколаїв, Харків (1955), Дніпро, Донецьк (1957) тощо (рис. 4).

Технологічні, архітектурно-планувальні, конструктивні й інженерні рішення буді-

вель аеровокзалів реалізовували за типовими проектами, розробленими спеціалістами галузевого Проектного інституту «Аеропроект» [13].

Останні:

– були орієнтовані на технологічні особливості забезпечення авіаційних перевезень близько- та середньомагістральними повітряними суднами Іл-14 (пасажироміст-

Таблиця 1

Річні обсяги перевезень авіаційним транспортом у перші повоєнні роки

Рік	Річні обсяги авіаперевезень [43]			Кількість повітряних суден, які були обслуговані, тис. один
	пасажирів, тис. осіб	пошти, тис. т	вантажів, тис. т	
1940	33,6	1,9	1,9	*
1945	119,7	0,8	6,8	*
1946	350,9	1,4	15,3	54,2
1947	528,4	2,1	25,2	91,0
1948	533,4	4,5	37,1	94,4
1949	523,1	5,7	39,7	112,8
1958	911,0	8,0	36,0	*

Примітка: * – дані відсутні.

кість – 18–36 місць), Іл-12 (21–32 місця), Лі-2 (15–24 місця); сучасні тенденції розвитку архітектури (сталінський ампір) [9; 13; 50]; використання місцевих будівельних матеріалів, трудових ресурсів тощо;

– мали спрощені лінійні форми планів і неширокі корпуси будівель; комбіновані – зальні, дрібно-чарункові – планувальні структурні рішення для блокування різних за функціональним призначенням приміщень; високі показники компактності забудови;

– мали входні групи, акцентовані порталами та баштами (див. рис. 4) тощо.

Варто додати, що декілька будівель аеровокзалів, побудованих упродовж того часу, мали або мають статус пам'яток архітектури, зокрема, у Харкові (рис. 4, в), охор. № 67-Ха [58].

Проектування та будівництво аеровокзалу МА «Бориспіль» відбувалося вже в другому післявоєнному періоді (1956–1965 роки). Він характеризувався широким запровадженням авіаційної техніки з газотурбінними двигунами й вираховуванням перспектив розвитку авіаційних перевезень середньо- та далекомістральними повітряними суднами – Ту-104 (місткість 50–115 пас.), Ту-114 (170–220 пас.) тощо – за межі країни.

Архітектура цього періоду характеризується:

– відходом від створення парадних образів;
– усуненням надмірностей у проектуванні й будівництві;

– орієнтацією на індустріальні методи розв'язання нагальних завдань відновлення та розвитку забудови.

Для будівництва аеропортів це вимагало вивчення й узагальнення світового досвіду, а саме:

– обслуговування масових пасажиропотоків, зокрема міжнародних рейсів, в умовах перевезення їх повітряними суднами великої місткості;

– особливостей технологічних та об'ємно-планувальних рішень аеровокзалів з урахуванням багатьох функцій (основних, додаткових, допоміжних, спеціальних тощо);

– організації наземного сполучення населених пунктів з аеропортами;

– можливостей організації цілодобової роботи аеропортів з урахуванням негативного впливу на навколишнє середовище;

– розв'язання містобудівних проблем розвитку аеропортів із коригуванням і переглядом генеральних планів міст тощо.

Рішення про створення аеропорту Бориспіль на базі військового аеродрому, побудованого впродовж 1947–1949 років у Київській області на відстані 35 км від Києва, прийнято в 1959 році [13].

Як перспективні для експлуатації прийняті повітряні судна Ту-104, Ту-114.

Для обслуговування пасажирів був споруджений тимчасовий павільйон, а в 1961 році розпочалося будівництво аеровокзалу.

Будівництво здійснювало Будівельне управління (БУ) № 149 тресту «Південзахід-трансбуд», будпоїзд № 901 «Головтонельметробуду», БУ № 172 тресту «Південтранстехмонтаж», Київське спецуправління № 421 «Електромонтаж» № 1 тощо.

Аеровокзал уведений в експлуатацію у травні 1965 року. За загальною пропус-



а



б



в



г



д



е

Рис. 4. Аеровокзали, побудовані впродовж 1952–1957 років в аеропортах України:

а – Київ/Жуляни, джерело: <http://surl.li/sbivzy>;

б – Миколаїв, джерело: <http://surl.li/pewcnl>;

в – Харків, джерело: <http://surl.li/bprshz>;

г – Львів, джерело: <http://surl.li/lsgkyd>;

д – Дніпро, джерело: <http://surl.li/mpqkcv>;

е – Донецьк, джерело: <http://surl.li/mdfbje>

кною спроможністю – 1600 пас/год – він належав до групи великих аеровокзалів (1500–2000 пас/год), мав міжнародний сектор (200 пас/год), сектор обслуговування пасажирів категорії VIP (Very Important Person, англ. «особливо важлива персона»). Це, з одного боку, свідчило про масштабні плани країни стосовно розвитку авіаційних перевезень, з іншого – про наближення до світового рівня їх наземного забезпечення (таблиця 2).

В основу проєктування покладено таке:

- комплексний підхід до формування трьох планувальних зон пасажирського комплексу (привокзальна площа, аеровокзал, аванперон/пасажирський перон);
- децентралізована система обслуговування пасажирів вільоту;
- розподіл потоків пасажирів різних категорій і їх багажу, супроводжувачів, відвідувачів тощо;

Таблиця 2

Пропускна спроможність аеровокзалів низки зарубіжних аеропортів

№ з/п	Найменування аеропорту	Країна розташування	Пропускна спроможність аеровокзалу (терміналу), пас/год	Станом на рік
1	Європейський макроекономічний регіон			
1.1	Лондон – Гатвік	Великобританія	1000*	1965
1.2	Париж – Ле Бурже	Франція	1500	1970
1.3	Копенгаген – Каструп	Данія	1640	1968
2	Північноамериканський макроекономічний регіон			
2.1	Нью-Йорк – Джон Ф. Кеннеді:	США		
2.1.1	Міжнародний термінал		1500	1965
2.1.2	Термінал Worldport (Pan Am)		1000*	1965
2.1.3	Термінал American Airlines		1000*	1965
2.1.4	Термінал Trans World Airlines (TWA) [41; 54]		1200*	1965
2.2	Торонто	Канада	1500	1965

Примітка: * – група аеровокзалів середньої пропускної спроможності (600–1200 пас/год)

– комбінований вид зв'язку між аеровокзалом і повітряними суднами (пішохідний + автобусний) тощо;

– автомобільний зв'язок між населеними пунктами й аеровокзалом тощо [3; 7; 8; 14; 19; 21; 23; 31];

– максимальна відкритість внутрішнього простору, виключення замкнутих просторів, залучення природного освітлення;

– сучасні підходи до захисту навколишнього середовища, зокрема благоустрою та озелененню привокзальної площі й зон, які наближені до під'їзних шляхів тощо [7; 8; 15].

Будівля аеровокзалу (рис. 5, а):

а) була єдиною на той час у складі аеровокзального комплексу;

б) за технологічними рішеннями зблокована за лінійною схемою із цехом бортового харчування, багатоповерховим командно-диспетчерським пунктом та іншими приміщеннями основного, допоміжного й спеціального призначення;

в) мала простішу – лінійну – форму в плані й такі характеристики:

- корпус довжиною 240 м, шириною 50 м;
- поверховість – 2–3 поверхи;
- висота центральної частини – 20,5 м;
- площа – 20 300 кв. м, зокрема операційного залу (перший поверх) – 2 944 кв. м;
- будівельний об'єм – 107 500 куб. м;

г) оцінювалася високими показниками компактності забудови пасажирського комплексу;

д) забезпечувала зв'язок між привокзальною площею та пасажирським пероном у двох рівнях, зокрема, за допомогою двох прибудованих відкритих галерей-пандусів (рис. 5, б, в) і тераси (рис. 5, б);

е) формувала композицію та виконувала роль домінанти забудови привокзальної площі й перону (рис. 5, а);

ж) завдяки індивідуальним архітектурно-планувальним рішенням, інноваційним для того часу технологічним і конструктивним рішенням була приваблива для відвідування не тільки учасниками авіаподорожей, а й прихильниками авіації.

Два поверхи будівлі давали змогу:

– розподілити потоки пасажирів вильоту та прильоту, відвідувачів аеровокзалу (рис. 5, б, в; 6);

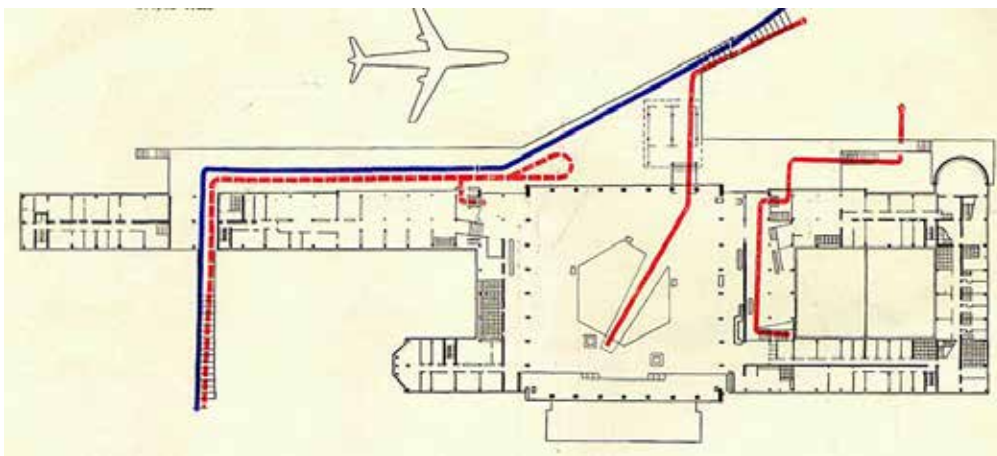
– відокремити зал очікування від операційних залів (рис. 5, б), організувати вихід із зали очікування на терасу – оглядовий майданчик (рис. 7, а);

– забезпечити додатковий зв'язок між пасажирським пероном і привокзальною площею в рівні другого поверху (рис. 6, б; 7).

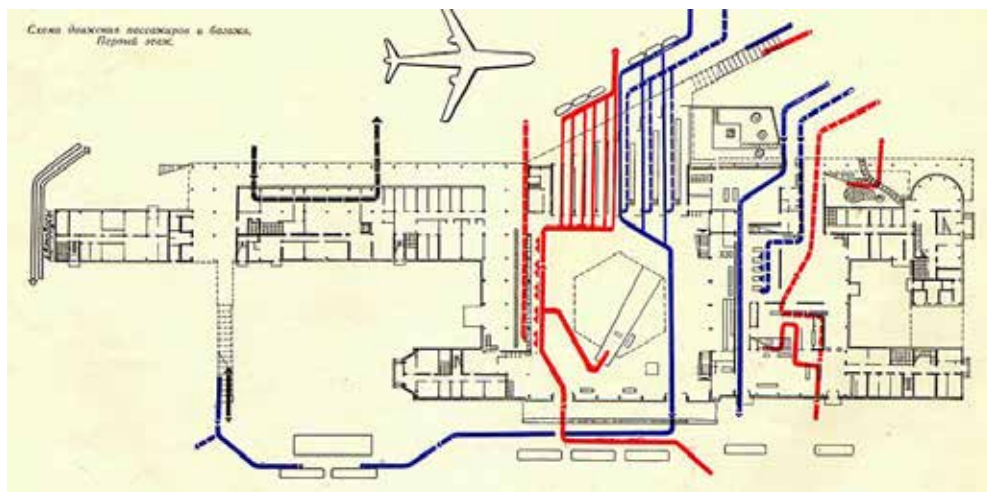
Відкриті тераси з функціями оглядових майданчиків були популярним на той час архітектурно-планувальним рішенням [16]. Вони давали змогу не лише розв'язати проблеми



а



б



в

Рис. 5. Аеровокзал МА «Бориспіль»:

а – загальний вигляд, 1982 рік, фото Б. Мінделя, джерело: <http://surl.li/guelfz>;

б – другий поверх: схема руху пасажирів прильоту (синя суцільна лінія); пасажирів вильоту, зокрема VIP (червона суцільна лінія); осіб, які зустрічають або проводжають пасажирів (червона пунктирна лінія), джерело: <http://surl.li/pfhgxn>;

в – перший поверх: схема руху пасажирів прильоту, зокрема VIP (синя суцільна лінія); пасажирів вильоту, зокрема VIP (червона суцільна лінія); вантажу пасажирів прильоту, зокрема VIP (синя пунктирна лінія); вантажу пасажирів вильоту, зокрема VIP (червона пунктирна лінія); бортового харчування до повітряних суден (чорна пунктирна лінія); осіб, які зустрічають або проводжають пасажирів (чорна лінія), джерело: <http://surl.li/pfhgxn>

організації пішохідних зв'язків, а й забезпечити доступ до найкращих видових точок спостереження за подіями та процесами на пероні й летовищі (аеропорти Бамака, Малі, Західна Африка; Відень – Швехат, Австрія; Ніцца, Франція тощо).

Зокрема, в аеропорту Відня Швехат поряд із пасажирським терміналом «Flughafen Wien» побудовано комплекс капітальних, призначених для довготривалої експлуатації споруд, до складу якого входили:

– однорівнева лінійно-протяжна прогулянькова тераса відкритого типу, розташована в рівні другого поверху на відстані вздовж

усього фасаду терміналу (рис. 8). Чотири прямокутні майданчики для глядачів перетинали терасу й розміщувалися на експлуатованому покритті накопичувачів пасажирів вильоту (рис. 8, а);

– відкрита чотириповерхова споруда баштового типу із системою стаціонарних засобів захисту від атмосферних осадків і надмірної інсоляції, яка забезпечувала кут огляду 360° (літовище, перон, привокзальна площа) на рівні відміток першого-четвертого рівнів [16; 18].

Обидві споруди були пов'язані між собою, не мали виходів на перон (рис. 8, б), але забезпечували доступ відвідувачів з боку привок-



а



б

Рис. 6. Інтер'єр, внутрішній пандус:

а – з боку першого поверху, джерело: <http://surl.li/tfzzzo>;

б – з боку другого поверху, джерело: <http://surl.li/lnmcii>



а



б

Рис. 7. Аванперон:

а – відкрита тераса – оглядовий майданчик, з боку перону, джерело: приватний фотоархів Г.М. Агєєвої;

б – зовнішній пандус, з боку перону, джерело: <http://surl.li/viryfz>



а



б

Рис. 8. Аеропорт Відня Швехат, Австрія, аеровокзал:

а – просторова організація аванперону, 1960 рік [18, с. 62];

б – процес будівництва, 1959 рік [18, с. 53]

зальної площі. Додатковими елементами благоустрою цієї зони аванперону були системи озеленення (квітники) і відкриті фонтани (рис. 8, а).

Для МА «Бориспіль» запропоновані й реалізовані інші рішення відкритих терас та оглядових майданчиків (рис. 5, б; 7, а, б; 9).

Відкрита оглядова тераса з боку пасажирського перону мала розміри, людиноемність і доступність, які забезпечували можливість її масового відвідування (рис. 7, а). Для цього передбачені входи/виходи із залу очікування й зовнішні пандуси з боку привокзальної площі (рис. 5, б) і перону (рис. 7, б).

У процесі експлуатації для забезпечення безпеки контрольованої зони – перону – ці елементи будівлі й вихід із залу очікування аеровокзалу ліквідовані.

Композиційні рішення. Ядром композиції будівлі аеровокзалу слугував дворівневий об'єм розмірами в плані 48х48 м для розміщення операційних залів, залів очікування, допоміжних приміщень (рис. 3, 5, а).

На етапі проектування запропоновані декілька варіантів архітектурно-планувальних рішень. Один із них передбачав влаштування прямолінійної закритої посадкової галереї для розподілу й обслуговування пото-

ків авіапасажирів у двох наземних рівнях за межами аеровокзалу на пероні (рис. 3, а).

Аналіз передпроектних і проєктних рішень дає змогу стверджувати, що відкрита оглядова тераса та прямолінійна закрита посадкова галерея були складниками загальної системи обслуговування авіапасажирів на аванпероні й пасажирському пероні.

Це – теж популярний того часу планувальний прийом розв'язання проблемних питань скорочення розрахункової довжини лінійних, лінійно-дугових за формою будівель аеровокзалів великої пропускної спроможності (аеропорти Берлін-Шенефельд, Німеччина; Копенгаген-Каструп, Данія; Лондон-Гатвік, Великобританія тощо).

Плоска за геометрією покрівля посадкової галереї та відповідні конструктивні рішення давали можливість її експлуатації, а саме використання як оглядового майданчика. Разом із відкритою терасою вздовж фасаду аеровокзалу (рис. 7, а) вони формувати цілісну систему, орієнтовану в бік перону та злітно-посадкових смуг (рис. 3, а). Планувальні рішення й розміри цієї системи давали змогу її масового відвідування, але варіант влаштування саме посадкової галереї не реалізований.



а



б

Рис. 9. Система організації пішохідного та візуального зв'язку між аеровокзалом і пероном, 1965 рік:

а – зовнішній пандус, джерело: <http://surl.li/uhonfr>;

б – відкрита тераса з функціями оглядового майданчику вздовж фасаду аеровокзалу, джерело: <http://surl.li/faiqpk>

Розглядався й варіант розподілу потоків автомобільного транспорту у двох рівнях для обслуговування пасажирів вильоту та прильоту на привокзальній площі (таблиця 3, п. 1), але його не реалізували.

Покриття зальних приміщень будівлі. Прийняття й обґрунтування остаточного конструктивного рішення покрівлі залів очікування (рис. 3) передували пошук та аналіз можливих варіантів (таблиця 3).

Конфігурація кожного із запропонованих варіантів покриття значно впливала на планувальні рішення й формування просторового образу будівлі.

Просторові тонкостінні конструкції з криволінійними поверхнями – залізобетонні оболонки – для покриттів промислових і громадських споруд різного призначення мали переваги над іншими конструкціями, а саме:

- підвищені жорсткість і міцність, які давали змогу перекривати великі прогони та простори в плані;
- суміщення тримальних та огорожувальних функцій;
- скорочення витрат будівельних матеріалів.

Різноманітність форм – циліндричні оболонки, оболонки двоякої кривизни, оболонки у вигляді гіперболічного параболоїда тощо – сприяла ефективному розв'язанню проблеми надання будівлям із великими прогонами архітектурної виразності.

Обране просторове рішення покриття – оболонка подвійної додатної кривизни – забезпечила виразний архітектурний образ (рис. 3, 5, а) і давала змогу:

- розв'язати складні завдання об'ємно-просторової організації для забезпечення нових технологічних процесів наземного обслуговування авіаперевезень;
- упровадити передові на той час індустріальні методи виробництва та монтажу збірних залізобетонних конструкцій тощо.

Конструктивні рішення. Збірна залізобетонна оболонка подвійної додатної кривизни має прямокутну форму в плані – 50,9х57,6 м (з урахуванням нахилених світлопрозорих огорожень – вітражів).

Ця система зі 126 збірних ребристих залізобетонних панелей одного типорозміру – 2,6х3,1 м – розроблена й виконана за проектом Київського зонального науково-дослідного інституту експериментального проектування (КиївЗНДІЕП). Оболонка опирається на опорний сталезалізобетонний контур, установлений на оголовки залізобетонних колон, розташованих у плані кроком 6,0 м (рис. 5, б, в; 10).

Монолітні залізобетонні бортові елементи армовані сталевією трубою діаметром 720 мм із товщиною стінки 15 мм. Бетонування швів між панелями бортових елементів і кутових зон оболонки забезпечує монолітний характер роботи системи в цілому.

Таблиця 3

Проектні пропозиції щодо покриття зальних приміщень аеровокзалу

№ з/п	Варіанти покриття	Схема*
1	Складчасте склепіння (раціональне рішення тонкостінних залізобетонних покриттів для будівель прольотом до та понад 100 м. В авіаційній галузі вперше використано для побудови еліпсів прольотом 80,74 м, висотою 54 м, довжиною 300 м. 1920 рік, аеропорт Орлі, Париж, Франція, інженер Ежен Фрессіне).	
2	Вантове покриття (використання таких конструкцій найбільш ефективно для будівель із планами у формі кола. Наприклад, гараж діаметром 160 м автопарку № 7, 1974 рік, вул. Бориспільська, Київ, архітектор В.П. Зінкевич [44]. Для будинків прямокутної форми виникає потреба у влаштуванні спеціальних опорних конструкцій із відтяжками для сприйняття розпору).	
3	Рамне покриття (при великих прольотах будівель потребує масивних залізобетонних тримальних елементів. Є низка обмежень стосовно формування архітектурної виразності об'єктів).	

Примітка: * – джерело: <http://surl.li/mplsfb>.

Стріла підйому 8,9 м дала можливість:

- організувати значний за висотою та об'ємом зал очікування в рівні другого поверху (рис. 3; 5, а; 6; 7, б; 9);
- забезпечити його природне освітлення з чотирьох боків (рис. 3, б; 6; 9; 11), зокрема бічні (вертикальні) фасади мали часткове природне освітлення (рис. 11, б);
- сформувати значні за площею похилі поверхні систем вітринного скління головних фасадів, які працювали «на просвіт» і візуально «розвантажували» масивне конструктивне рішення композиційного ядра будівлі (рис. 3, б; 6; 9, а; 11, а).

У вечірні (рис. 12, а) і нічні часи доби (рис. 12, б) штучне освітлення внутрішніх приміщень аеровокзалу створювало не менш яскравий образ.

Перекриття першого поверху на відм. 4,5 м має розміри в плані 48х21 м і змонтовано зі 220 залізобетонних ребристих плит вагою 6,0 т (рис. 13, а, в). Прийнята конструкція перекриття забезпечила:

- організацію вільного простору першого поверху з максимальним виключенням додаткових опор;
- безпеку й надійність експлуатації будівлі в цілому;



Рис. 10. Будівництво аеровокзалу МА «Бориспіль», монтаж оболонки покриття, 1963 рік

Джерело: приватний фотоархів Л.І. Кривельова, Г.М. Агєєвої



а



б

Рис. 11. Аеровокзал, другий поверх, зал очікування, 1965 рік:

а – організація природного освітлення, фото О.Н. Ігнатова, джерело: <http://surl.li/iasfhr>;

б – організація природного освітлення, бічний фасад, фото О.Я. Косічкіної, джерело: <http://surl.li/cwgtcx>

– скорочення витрат матеріалів і, як наслідок, зниження ваги конструктивної системи перекриття;

– розміщення систем штучного освітлення приміщень першого поверху в нішах ребристих плит (рис. 13, а, в).

Для вертикальної комунікації – зв'язку між зальними приміщеннями першого та другого поверхів – задіяно широкий пандус (рис. 5, б, в; 6; 13, б, г). Його форма й орієнтація в просторі (рис. 6, а) дали змогу разом із системами вітрин-

ного скління реалізовувати думку авторів проєкту – шлях до неба починається із землі [38].

Особливості багаторічної експлуатації будівлі аеровокзалу. До 2012 року будівля як технологічна домінанта, навколо якої формувалося архітектурне середовище:

– виконувала роль головних «повітряних воріт» Києва й держави [19; 23; 31];

– брала участь у формуванні сталого образу забудови території аеропорту, який сприяв його пізнанню (рис. 5; 14, а).



а



б

Рис. 12. Будівля аеровокзалу, 1965 рік:

а – у вечірні часи доби, фото Б. Мінделя, джерело: <http://surl.li/nodzkx>;

б – у нічні часи доби, фото І. Пан, джерело: <http://surl.li/qfamrz>

Подальший розвиток аеропорту супроводжувався будівництвом нових пасажирських терміналів уздовж фронту привокзальної площі (термінали А, С) та по її периметру (термінал F) [13; 22; 24–26; 30; 59].

Упродовж понад 50 років експлуатації будівля аеровокзалу не раз була перепланована, реконструйована (1994), а саме:

- демонтовані зовнішні та внутрішні пандуси, відкриті тераси з функціями оглядових майданчиків, настінні мозаїчні панно в інтер'єрах приміщень другого поверху (зал очікування, ресторан), серед яких панно «Ікар», «Мир, праця, щастя» авторства Е.І. Коткова, В.П. Ламаха, І.С. Литовченко [37; 55];

- у складі багатовокзального аеровокзального комплексу будівля аеровокзалу перетворена на термінал В [3; 4; 8; 22; 24; 30];

- прибудовані до неї додаткові об'єми з боку привокзальної площі (рис. 14, г) і перону (рис. 14, б, в, д) забезпечили сучасні рівні обслуговування міжнародних і внутрішніх авіаперевезень, безпеки й комфорту перебування в аеропорту тощо;

- дворівневий об'єм операційних залів, залів очікування, допоміжних приміщень, перекритий оболонкою подвійної додатної кривизни, частково втратив функції ядра композиції будівлі аеровокзалу (рис. 14, а), але й досі є домінантою комплексної забудови, складниками якої є термінали А, В, С (рис. 14, б, в, г, д).



а



б



в



г

Рис. 13. Будівля аеровокзалу, організація внутрішнього простору, перекриття на відм. 4,5 м, пандус, 1965 рік:

*а – операційний зал, перший поверх, фрагмент, фото О.Я. Косічкиної, джерело: <http://surl.li/wyzxgh>;
б – зал очікування, другий поверх, фрагмент, фото Г.В. Рижкова, джерело: <http://surl.li/hrnfqe>;
в – операційний зал, перший поверх, фрагмент, фото О.Я. Косічкиної, джерело: <http://surl.li/yvcgur>;
г – головний вестибюль, пандус, фото О.Я. Косічкиної, джерело: <http://surl.li/pvugt>*

Разом із тим доцільно привернути увагу й до інших можливих варіантів реконструкції аеровокзального комплексу, зокрема нереалізованих проєктних пропозицій будівництва нового терміналу, інтегрованого з терміналом В.

Будівництво нового терміналу по периметру привокзальної площі передбачало також реорганізацію планувальних рішень привокзальної площі з влаштуванням дворівневої транспортної розв'язки для розподілу пасажиропотоків вильоту та прильоту тощо. У цьому випадку термінал В, а саме його дворівневий

об'єм зальних приміщень, не втрачав функцій ядра композиції будівлі, а в системі забудови привокзальної площі композиційно був підтриманий об'ємом будівлі нового терміналу (рис. 14, е).

Після завершення у 2002 році реконструкції злітно-посадкової смуги № 1 побудований і введений у 2012 році в експлуатацію термінал D пропускною спроможністю 3000 пас/год [24]. Планувальні рішення останнього реалізовані за лінійною концепцією та максимально орієнтовані на обслуговування повітряних суден на ближньому пероні (рис. 15, а).



а



б



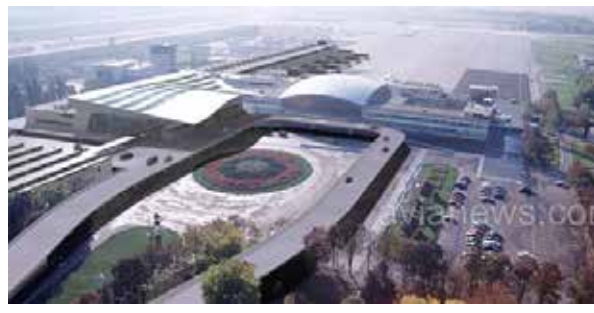
в



г



д



е

Рис. 14. Етапи будівництва й реконструкції аеровокзалу (сучасного терміналу В):

- а – перші роки експлуатації, 1966 рік, джерело: <http://surl.li/guelfz>;
 б – реконструкція, вид з боку перону, 2011 рік, джерело: <http://surl.li/mgomti>;
 в – реконструкція, просторова організація, джерело: <http://surl.li/chvirk>;
 г – реконструкція, вид з боку привокзальної площі, джерело: <http://surl.li/xhiavi>;
 д – реконструкція, вид з боку злітно-посадкової смуги № 1, джерело: <http://surl.li/lnqwre>;
 е – проєктні пропозиції будівництва нового терміналу, інтегрованого з терміналом В, і реорганізації привокзальної площі, 2004 рік (не реалізовані), джерело: <http://surl.li/psvgsv>

Поступово, упродовж 2011–2012 років, термінали А, В, С, F виводяться з експлуатації або використовуються для обмеженого за часом обслуговування окремих видів пасажирів та авіакомпаній.

Як наслідок, основні зони наземного обслуговування авіапасажирів, громадського та приватного транспорту зміщені до терміналу D (рис. 15, а), що призвело до повної втрати будівлею аеровокзалу (терміналу В)

функцій ядра композиції забудови аеровокзального комплексу (рис. 15).

З боку під'їзних шляхів для розподілу руху автомобільного транспорту побудована дворівнева транспортна розв'язка, в центрі якої розміщується багаторівневий відкритий наземний паркінг на 2038 машино-місць (рис. 15, б). Останній пов'язаний із будівлею терміналу D естакадою і перехідним пішохідним мостом [4].



а



б

Рис. 15. МА «Бориспіль», термінал D, дворівневі транспортна розв'язка:

а – просторова організація, макет, 2019 рік, джерело: <http://surl.li/ydsghw>;

б – будівництво багатоповхового паркінгу, 2017 рік, джерело: <http://surl.li/pmjwws>

Утратила головні функції й привокзальна площа (рис. 5, а). Її функції зараз виконує саме комплекс естакад і паркінгу, розміщений уздовж фронту терміналу D (рис. 15).

Апробація й упровадження результатів дослідження

Результати досліджень:

а) оприлюднені:

– на Х Всесвітньому конгресі «Авіація в XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології», Київ, 2022 рік [14];

– на IV Міжнародній конференції з інновацій у будівництві, Київ, 2022 рік [16];

– на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Архітектура історичного Києва. Історія – теорія – практика», Київ, 2020 рік [38];

– на Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА», Київ, 2019 рік [15];

– на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку архітектури та містобудування», Харків, 2017 рік [21];

– на сторінках енциклопедичного [30] і фахових видань України [3; 4], зарубіжного видання, яке індексується в наукометричній базі даних Scopus [16];

б) використані під час проведення комплексу робіт із науково-технічного супроводу відновлення будівництва масштабної інфраструктурної споруди на території МА «Бориспіль» після довготривалої перерви, 2018–2020 років [4];

в) використовуються в навчальному процесі здобувачів вищої освіти спеціальностей 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 193 «Геодезія та землеустрій» у Національному авіаційному університеті (НАУ) під час викладання навчальних дисциплін «Будівлі та споруди аеропортів», «Об'єкти критичної інфраструктури (авіаційний транспорт)», «Просторова організація та забудова приаеродромних територій», «Урбанізація територій, наближених до аеропортів»; виконання кваліфікаційних робіт тощо.

Висновки. Підсумовуючи, зазначимо таке:

1. Аеропорт «Бориспіль» є найбільшим міжнародним аеропортом країни, подальший розвиток якого передбачає реалізацію кон-

цепції провідного транспортного вузла (хабу) Східної Європи. Це буде супроводжуватися розширенням мережі авіаційних сполучень, зростанням обсягів перевезень пасажирів і вантажів, розбудовою транспортної інфраструктури, створенням сприятливих умов для підвищення рівня доступності авіаційних подорожей для населення тощо.

2. Разом із тим потребує вивчення та розв'язання проблема розвитку й управління аеровокзальним комплексом, складниками якого є об'єкти з різними ресурсними й культурологічними потенціалами, серед них – будівля аеровокзалу (сучасного терміналу В) – взірць спадщини архітектури модернізму (1960–1990-і роки). Вона побудована за проєктом, розробленим упродовж 1959–1965 років Державним інститутом «Київпроект» за участі Зонального науково-дослідного інституту експериментального проєктування (ЗНДІЕП), Проєктного інституту «Промбудпроект» тощо. Упродовж понад 50 років експлуатації не раз перепланована, реконструйована. Станом на 2024 рік законсервована.

3. У будівлі:

– реалізовані інноваційні для того часу пропозиції щодо організації технологічних процесів обслуговування пасажирів, підходи до розв'язання складних завдань об'ємно-просторової організації одновокзального аеровокзального комплексу й формування його виразного архітектурного образу;

– упроваджені індустріальні методи виробництва й монтажу збірних залізобетонних конструкцій, зокрема оболонки подвійної додатної кривизни, тощо.

4. Довгі роки будівля виконувала провідну роль у формуванні сталого образу забудови аеропорту, який сприяв його пізнанню як головних «повітряних воріт» Києва й держави.

5. Планувальні та конструктивні рішення будівлі аеровокзалу в МА «Бориспіль» потребують подальшого вивчення, узагальнення та поширення серед спеціалістів і громадськості для виключення умов непоправних втрат взірця архітектури модернізму в середовищі інфраструктури авіаційного транспорту України.

Подяка. Автор висловлює подяку:

– співробітникам Центрального державного науково-технічного архіву України за надану для ознайомлення й опрацювання архівну документацію;
– керівництву та співробітникам Державної наукової архітектурно-будівельної бібліотеки імені В.Г. Заболотного за підтримку й допомогу під час дослідницького процесу,

зокрема атрибуції фотографічної документації;

– викладачам кафедри будівель і споруд аеропортів факультету аеропортів Київського інституту інженерів цивільної авіації (зараз – Державний університет «Київський авіаційний інститут») за постійну підтримку та зворотний зв'язок упродовж усього періоду навчання, практичної, наукової та дослідницької діяльності [1].

Список використаних джерел:

1. Агеєва Г.М. Будівництво та експлуатація будівель і споруд аеропортів: освітній акцент. *Сталий розвиток авіаційної інфраструктури України*: колективна монографія / за заг. ред. В.В. Карпова. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2023. С. 63–111. DOI: 10.36059/978-966-397-312-8-3.
2. Агеєва Г.М. Урбанізація територій, наближених до аеропортів, – пріоритет підготовки фахівців з містобудування в Національному авіаційному університеті України. *Архітектура, будівництво, дизайн в освітньому просторі*: колективна монографія / за заг. ред. В.В. Карпова. Рига, Латвія : Baltija Publishing, 2021. С. 8–39. DOI: 10.5281/zenodo.4705433.
3. Агеєва Г.М., Волкова А.В. Привокзальні площі: реорганізація планувальних рішень під час реконструкції аеропортів. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2017. Вип. 3 (19). С. 36–49. DOI: 10.5281/zenodo.6668682.
4. Агеєва Г.М., Кафієв К.П. Проблеми відновлення будівництва масштабних інфраструктурних споруд після довготривалої перерви. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури* = *Bulletin of Prydniprov'ska state academy of civil engineering and architecture*. 2020. № 3 (264–265). С. 10–21. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.070720.10.636.
5. Басім К.М. Роль пасажирських терміналів у формуванні майбутніх аеровокзалів. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2018. № 4. С. 44–47.
6. Олійник О.П., Пилєва В.А. Еволюція та морфологія інтер'єрів аеровокзалів у процесі розвитку. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2009. № 2. С. 127–139.
7. Осетрін М.М., Погуца Т.О. Основні принципи планувальних рішень пасажирських аеровокзалів (на прикладі міжнародних аеропортів України). *Містобудування та територіальне планування*. 2012. Вип. 45 (2). С. 61–65.
8. Осетрін М.М., Погуца Т. О. Організація транспортно-пішохідних потоків на привокзальній площі аеропорту (на прикладі міжнародного аеропорту «Бориспіль» м. Київ). *Містобудування та територіальне планування*. 2011. Вип. 40 (2). С. 112–117.
9. Семикіна О.В. Розвиток аеропортів Радянського Союзу після Другої світової війни. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2019. Вип. 54. С. 415–420.
10. Семикіна О., Літошенко Г. Функціонально-технологічні концепції аеропортів (минуле та сьогодення). *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2024. Вип. 68. С. 62–71. DOI: 10.32347/2077-3455.2024.68.62-71.
11. Термінал нью-йоркського летовища імені Кеннеді перетворили на готель. *Home Ideas Supply*: веб-сайт. URL: <https://his.ua/ua/article/terminal-nju-yorskogo-letovischa-imeni-kennedi-peretvorili-na-gotel-2019-06-06> (дата звернення: 17.09.2024).
12. Тимошенко М.М., Симоненко В.М. Дизайн архітектурного макро-міні-міді-середовища авіаційного комплексу в м. Баки. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2015. Вип. 1 (15). С. 134–143.
13. Троценко А.М. Аеропорти України. Київ : Європейський університет, 2002. 252 с.
14. Agieieva G.M., Kriveljov L I. Transformation of pedestrian route schemes in the parking – air terminal zones in the course of airport reconstruction. *Proceedings from: Xth World Congress «Aviation in the XXI century – Safety of Aviation and Space Technologies»*. 2022. Kyiv : State University “Kyiv Aviation Institute”, 2022. P. 9.1.5–9.1.7. DOI: 10.5281/zenodo.7157512.
15. Agieieva G., Tymoshenko M., Bzhezovska N. Planing organization of macro environment of the airports. *Proceedings from AVIA'2019. The Fourteenth International Conference of Science and Technology*. Kyiv : State University “Kyiv Aviation Institute”, 2019. P. 21.1–21.5.
16. Agieieva G. Visitors' Terraces as Components of the Urban Environment of Airports. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds). *Proceedings from ICBI'22: The Fourth*

International Conference on Building Innovations. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023. Vol 299. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-17385-1_31.

17. Binney M. Airport Builders. London : Academy Editions, 1999.

18. Wolfram L. More than just a place to land. History, Function and Future of Vienna Airport. Vienna : Compress Verlag, 1988.

19. Голубкіна Г. Головні повітряні ворота України. До історії проектування аеропорту «Бориспіль» (за документами ЦДНТА України). *Культура і життя*. 2019. № 34–35. С. 6.

20. Orthoslogos.fr (n. d.). Eero Saarinen & Associates. TWA Flight Center. 1955–1962. *orthoslogos.fr*. Retrieved from <https://orthoslogos.fr/architecture/twa-flight-center/> (Accessed: 17 September 2024).

21. Агеєва Г.М., Тимошенко М.М., Волкова А.В. Особливості організації зон тимчасового зберігання автотранспорту в аеропорту «Бориспіль». *Сучасні тенденції розвитку архітектури та містобудування* : матеріали Всеукр. наук.-техн. конф., м. Харків, 17 листопада 2017 р. Харків : ХНУМГ, 2017. С. 238–239.

22. Деякі питання реалізації проекту «Інфраструктурні об'єкти Київського регіону» : Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2011 р. № 982 / Кабінет Міністрів України. *Офіційний вісник України*. 2011. № 73. С. 40–41.

23. Історія аеропорту Бориспіль. 1959–1999. Київ : Гопак, 1999. 50 с.

24. Про заходи з розбудови державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Бориспіль» в рамках підготовки та проведення в рамках підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 року з футболу : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 лютого 2010 р. № 123-р / Кабінет Міністрів України. *Урядовий кур'єр*. 2010. № 44.

25. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20.07.2015 «Про заходи щодо захисту національних інтересів України в галузі авіації» : Указ Президента України від 4 вересня 2015 р. № 535/2015 / Президент України. *Урядовий кур'єр*. 2015. № 165.

26. Про схвалення Концепції розвитку міжнародного аеропорту «Бориспіль» на період до 2045 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 травня 2019 р. № 293-р / Кабінет Міністрів України. *Урядовий кур'єр*. 2019. № 90.

27. Вукічевич Б. Утвердження модерністської парадигми. *Vijesti* : веб-сайт. <https://uk.vijesti.me/zabava/294673/afirmacija-modernisticke-paradigme> (дата звернення: 17.09.2024).

28. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. Київ : Київська Школа Економіки, 2023. 50 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf.

29. Кондель-Пермінова Н. Виклики війни: трансформації в архітектурі та дизайні України. *Сучасне мистецтво*. 2022. № 18. С. 27–42. DOI: 10.31500/2309-8813.18.2022.269659.

30. Агеєва Г.М. Бориспіль (аеропорт). *Велика українська енциклопедія*. URL: [https://vue.gov.ua/Бориспіль_\(аеропорт\)](https://vue.gov.ua/Бориспіль_(аеропорт)) (дата звернення: 17.09.2024).

31. Київ : енциклопедичний довідник / за ред. А.В. Кудрицького. Київ : Гол. ред. Української Радянської Енциклопедії, 1981. 736 с.

32. ICOMOS Germany. (Ed.). Socialist Realism and Socialist Modernism. World Heritage Proposals from Central and Eastern Europe [*Documentation of the European Expert Meeting of ICOMOS on the Feasibility of an International Serial Nomination of 20th Century Monuments and Sites in Post-Socialist Countries for the UNESCO World Heritage List in Warsaw, 14th–15th of April 2013*]. Berlin : Hendrik Bäßler Verlag, 2013.

33. Bykov A., Gubkina Ie. Soviet modernism, brutalism, post-modernism: Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991. Berlin : Dom publishers, 2019.

34. Ichenko M. Discourse of Modernist Heritage and New Ways of Thinking about Socialist Urban Areas in Eastern Europe. *Changing Societies & Personalities*. 2019. № 3 (3). P. 243–257. DOI: 10.15826/csp.2019.3.3.074.

35. Soviet Modernism 1955–1991. (n. d.). *azw.at*. Retrieved from <https://www.azw.at/en/articles/collection/soviet-modernism-1955-1991/> (Accessed: 17 September 2024).

36. Soviet Modernism 1955–1991. Ukraine. (n. d.). *azw.at*. Retrieved from http://wiki.azw.at/sovietmodernism_database/home.php?act=suchen&l=deu&findall=&function=&land=Ukraine (Accessed: 17 September 2024).

37. Soviet Modernism 1955–1991. Ukraine. Kiev. Borispol Airport (w. d.). *azw.at*. Retrieved from http://wiki.azw.at/sovietmodernism_database/home.php?il=828&l=deu&findall=&function=&land=ukraine&act=print (Accessed: 17 September 2024).

38. Агеєва Г.М. Оболонки подвійної додатньої кривизни в архітектурі будівель транспортних вузлів Києва. *Архітектура історичного Києва. Історія – теорія – практика* : матеріали VI Міжнар. наук.-

практ. конф., м. Київ, 20 листопада 2020 р. Київ : КНУБА, 2020. С. 14–15. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/44722>.

39. Анісімов А. Дослідження київських архітектурних конкурсів 1980-х – передумови «Після Соціалістичного Модернізму». *Місто: історія, культура, суспільство. Після соціалістичного модернізму архітектура, міський дизайн і планування 1980-х*. 2022. № 1 (13). С. 110–195. DOI: 10.15407/mics2022.01.110.

40. Балашова Д. Дискримінація модернізму як спосіб знищення пам'яті. *Pragmatika* : веб-сайт. URL: <https://pragmatika.media/dyskryminatsiia-modernizmu-iak-sposib-znyshchennia-pam-iati/> (дата звернення: 17.09.2024).

41. Ващук М. У Києві створили мапу архітектури модернізму. *The Village* : веб-сайт. URL: <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/266663-u-kievi-stvorili-mapu-arhitekturi-modernizmu> (дата звернення: 17.09.2024).

42. Велігоцька Н. Монументально-декоративне мистецтво в епоху НТР. *Образотворче мистецтво*. 1981. № 3. С. 12–14.

43. Гриценко Є. Сучасна утопія: Київ та архітектура радянського модернізму. *Platforma* : веб-сайт. URL: <https://platforma.magazine/text-sq/pb/soviet-modernism/> (дата звернення: 17.09.2024).

44. Досліджуємо, щоб зберігати. *Карта модернізму* : веб-сайт. URL: <https://modernism.in.ua/ua/index/> (дата звернення: 17.09.2024).

45. Зеленкова В.А. Малі архітектурні та скульптурні форми в дизайні інтер'єрів аеровокзалів. *Proceedings of State University "Kyiv Aviation Institute"*. 2012. № 52 (3). С. 119–122. DOI: 10.18372/2306-1472.52.2360.

46. Крихка спадщина. Архітектурний модернізм Українського Півдня та Сходу: кінець 1950–1980-ті. *Державна наукова архітектурно-будівельна бібліотека імені В.Г. Заболотного* : веб-сайт. URL: <http://www.dnabb.org/modules.php?name=Pages&go=page&pid=1833> (дата звернення: 17.09.2024).

47. Крихка спадщина. Архітектурний модернізм Українського Півдня та Сходу: кінець 1950–1980-ті : альбом-каталог / упоряд., ред. П. Кравчук. Дніпро : Герда, 2023. 304 с.

48. Кривельов Л.І., Кафієв К.П. Збереження забудови київського модернізму минулого століття. Технічний стан будівлі «Залізничний ринок». *Наука та будівництво*. 2022. № 33 (3–4). С. 3–15. URL: <https://www.journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/203>.

49. Луцька В. Архітектура модернізму: де черпали натхнення київські проєктувальники? *Хмарочос* : веб-сайт. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2018/02/26/arhitektura-modernizmu-de-cherpali-nathnennya-kiyivski-proektuvalniki/> (дата звернення: 17.09.2024).

50. Марковський А.І. Три етапи переходу від «сталінського ампіру» до модернізму на прикладі Києва. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. Вип. 75. С. 249–261. DOI: 10.32347/2076-815x.2020.75.249-261

51. Пучков А. Навмисна випадковість українського радмодерну, або дозоване «цікавеньке» в архітектурі кінця 1950-х – початку 1990-х. *Місто: історія, культура, суспільство. Після соціалістичного модернізму архітектура, міський дизайн і планування 1980-х*. 2022. № 1 (13). С. 32–72. DOI: 10.15407/mics2022.01.032.

52. Солодова Д. Без надмірностей: історія київського модернізму. *Bird in Flight* : веб-сайт. URL: <https://birdinflight.com/architectura-uk/20160511-kiev-modern-architecture.html> (дата звернення: 17.09.2024).

53. Чернявський В.Г. Синтез мистецтв в архітектурі аеропортів. *Сталий розвиток авіаційної інфраструктури України* : колективна монографія / за заг. ред. В.В. Карпова. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2023. С. 219–245. DOI: 10.36059/978-966-397-312-8-8.

54. Шевченко Л. Монстри модернізму: модерністські споруди під загрозою. *Хмарочос* : веб-сайт. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2016/05/23/monstri-modernizmu-modernistski-sporudi-pid-zagrozoju/> (дата звернення: 17.09.2024).

55. Soviet mosaics in Ukraine (n. d.). sovietmosaicsinukraine.org Retrieved from <https://sovietmosaicsinukraine.org/> (Accessed: 17 September 2024).

56. Ковешнікова О. Передумови формування творчих уподобань архітектора Анатолія Добровольського. *Вісник Львівської національної академії мистецтв*. 2018. Вип. 35. С. 329–342.

57. Ковешнікова О.В. Творчість А.В. Добровольського в контексті розвитку архітектури України 1930–1980-х років : дис. ... канд. арх. : 18.00.01. Київ, 2020. 280 с.

58. Харківська область, м. Харків. *Міністерство культури та інформаційної політики України* : веб-сайт. URL: <http://surl.li/sdrwzi> (дата звернення: 17.09.2024).

59. Горбачова О.М. Фактор пропускну здатності аеропортів як умова їх циклічного розвитку. *Економічний аналіз*. 2013. Том 14. № 2. С. 158–163.

References:

1. Ahieieva, G. M. (2023). Budivnytstvo ta ekspluatatsiya budivel' i sporud aeroportiv: osvitniy aktsent [Construction and operation of airport buildings and structures: educational emphasis]. *Stalyy rozvytok aviatsiynoyi infrastruktury Ukrayiny – Sustainable development of aviation infrastructure of Ukraine*, (pp. 63–111). Lviv – Torun: Liha-Pres. DOI: 10.36059/978-966-397-312-8-3 [in Ukrainian].
2. Ahyeyeva, H. M. (2021). Urbanizatsiya terytoriy, nablyzhenykh do aeroportiv – priorytet pidhotovky fakhivtsiv z mistobuduvannya v Natsional'nomu aviatsiynomu universyteti Ukrayiny. [Urbanization of territories close to airports – priority of training specialists in urban planning at the State University “Kyiv Aviation Institute” of Ukraine]. *Arkhitektura, budivnytstvo, dyzayn v osvith'omu prostori – Architecture, construction, design in the educational space* (pp. 8–39). Riga : Baltija Publishing. DOI: 10.5281/zenodo.4705433 [in Ukrainian].
3. Ahyeyeva H. M., & Volkova A. V. (2017). Pryvokzal'ni ploschchi: reorhanizatsiya planuval'nykh rishen' pid chas rekonstruktsiyi aeroportiv [Station areas: reorganization of planning decisions during airport reconstruction]. *Problemy rozvytku mis'koho seredovyshcha – Problems of the development of the urban environment*, 3(19), 36–49. DOI: 10.5281/zenodo.6668682 [in Ukrainian].
4. Agieieva, G. M., & Kafiev, K. P. (2020). Problemy vidnovlennya budivnytstva masshtabnykh infrastruktturnykh sporud pislya tryvaloyi perervy [Problems of resuming the construction of large-scale infrastructure facilities after a long break]. *Bulletin of Prydniprov's'ka state academy of civil engineering and architecture*, 3 (264–265), 10–21. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.070720.10.636 [in Ukrainian].
5. Basim, K. M. (2018). Rol' pasazhyrs'kykh terminaliv u formoutvorenni maybutnikh aerovokzaliv. [The role of passenger terminals in shaping future airports.]. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy – Industrial construction and engineering structures*, 4, 44–47 [in Ukrainian].
6. Oliynyk, O. P., & Pylyeva, V. A. (2009). Evolyutsiya ta morfolohiya inter"yeriv aerovokzaliv u protsesi rozvytku [Evolution and morphology of the interiors of air terminals in the process of development]. *Problemy rozvytku mis'koho seredovyshcha – Problems of the development of the urban environment*, 2, 127–139 [in Ukrainian].
7. Osyetrin, M. M., & Pohutsa, T. O. (2012). Osnovni pryntsypy planuval'nykh rishen' pasazhyrs'kykh aerovokzaliv (na prykladi mizhnarodnykh aeroportiv Ukrayiny). [Basic principles of planning decisions of passenger airports (on the example of international airports of Ukraine)]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya – Urban planning and territorial planning*, 45(2), 61–65 [in Ukrainian].
8. Osyetrin, M. M., & Pohutsa, T. O. (2011). Orhanizatsiya transportno-pishokhidnykh potokiv na pryvokzal'niy ploschchi aeroportu (na prykladi mizhnarodnoho aeroportu «Boryspil» m. Kyiv). [Organization of traffic and pedestrian flows at the airport terminal square (on the example of Boryspil International Airport, Kyiv)]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya – Urban planning and territorial planning*, 40(2), 112–117 [in Ukrainian].
9. Semykina, O. V. (2019). Rozvytok aeroportiv Radyans'koho Soyuzu pislya Druhoyi svitovoyi viyny. [Development of airports of the Soviet Union after the Second World War]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya – Modern problems of architecture and urban planning*, 54, 415–420 [in Ukrainian].
10. Semykina, O., & Litoshenko, H. (2024). Funktsional'no-tekhnolohichni kontseptsii aeroportiv (mynule ta s'ohodennya). [Functional and technological concepts of airports (past and present)]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya – Modern problems of architecture and urban planning*, (68), 62–71 [in Ukrainian].
11. *Terminal n'yu-yorks'koho letovyshcha imeni Kennedi peretvoryly na hotel'* [The terminal of the New York Kennedy Airport was turned into a hotel]. (2019, June 6). *his.ua*. Retrieved from https://his.ua/ua/article/terminal-nju-yorskogo-letovishcha-imeni-kennedi-peretvorili-na-gotel-_2019-06-06 (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].
12. Tymoshenko, M. M., & Symonenko, V. M. (2015). Dyzyayn arkhitekturnoyi makro-mini-midi-seredovyshcha aviatsiynoho kompleksu u m. Baky. [Design of the architectural macro-mini-midi-middle of the aviation complex in Baki]. *Problemy rozvytku mis'koho seredovyshcha – Problems of the development of the urban environment*, 1 (15), 134–143 [in Ukrainian].
13. Trotsenko, A. M. (2002). *Aeroporty Ukrayiny [Airports of Ukraine]*. Kyiv : Yevropeys'kyi universytet [in Ukrainian].
14. Agieieva, G. M., & Krivel'joy, L. I. (2022). Transformation of pedestrian route schemes in the parking – air terminal zones in the course of airport reconstruction. Proceedings from: *Xth World Congress «Aviation in the XXI century – Safety of Aviation and Space Technologies»*. (pp. 9.1.5–9.1.7). Kyiv : State University “Kyiv Aviation Institute”. DOI: 10.5281/zenodo.7157512 [in English].
15. Agieieva, G., Tymoshenko, M., & Bzhezovska, N. (2019). Planing organization of macro environment of the airports. Proceedings from AVIA'2019: *The Fourteenth International Conference of Science and*

Technology. (pp. 21.1–21.5). Kyiv : State University “Kyiv Aviation Institute” [in English].

16. Agieieva, G. (2023). Visitors' Terraces as Components of the Urban Environment of Airports. In: Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (eds). *Proceedings from ICBI'22: The Fourth International Conference on Building Innovations*. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 299. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-17385-1_31 [in English].

17. Binney, M. (1999). *Airport Builders*. London : Academy Editions [in English].

18. Wolfram, L. (1988). *More than just a place to land. History, Function and Future of Vienna Airport*. Vienna : Compress Verlag [in English].

19. Holubkina, H. (2019). Holovni povitryani vorota Ukrainy. Do istoriyi proyektuvannya aeroportu «Boryspil'» (za dokumentamy Tsentral'noho derzhavnoho naukovo-tekhnichnoho arkhivu Ukrainy). [Main air gates of Ukraine. To the history of the design of Boryspil airport (according to the documents of the Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine)]. *Kul'tura i zhyttya – Culture and life*, 34–35, 6 [in Ukrainian].

20. Orthoslogos.fr (n. d.). Eero Saarinen & Associates. TWA Flight Center. 1955–1962. *orthoslogos.fr*. Retrieved from <https://orthoslogos.fr/architecture/twa-flight-center/> (Accessed: 17 September 2024) [in English].

21. Ahyeyeva H. M., Tymoshenko M. M., & Volkova O. V. (2017). Osoblyvosti orhanizatsiyi zon tymchasovoho zberihannya avtotransportu v aeroportu «Boryspil'». [Features of the organization of time-saving zones for vehicles at the Boryspil airport]. *Proceedings from '17: Vseukrainskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Suchasni tendentsii razvitiya arkhitektury i gradostroitel'stva» – All-Ukrainian Scientific and Technical Conference «Current Trends in the Development of Architecture and Placemaking»*. (pp. 238–239). Kharkiv : O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv [in Ukrainian].

22. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy Deyaki pytannya realizatsiyi proektu «Infrastrukturni ob'ekty Kyiv's'koho rehionu» : pryynyate 19 ver. 2011 roku № 982 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine Some issues of the implementation of the project «Infrastructural objects of the Kyiv region» from September 19 2011, № 982]. (2011, September 30). *Ofitsiynyy Visnyk Ukrainy – Official Gazette of Ukraine*, 73, p. 40 [in Ukrainian].

23. Istoriya aeroportu Boryspil'. 1959–1999 roky. [History of Boryspil Airport. 1959-1999]. (1999). Kyiv : Hopak [in Ukrainian].

24. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy Pro zakhody z rozbudovy derzhavnoho pidpryyemstva «Mizhnarodnyy aeroport «Boryspil'» v ramkakh pidhotovky ta provedennya v ramkakh pidhotovky ta provedennya v Ukraini final'noyi chastyny chempionatu Yevropy 2012 roku z futbolu : pryynyate 02 lyut. 2010 roku № 123-r [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine About measures for the development of the state enterprise «Boryspil International Airport» in the framework of preparation and holding in the framework of preparation and holding in Ukraine the final part of the 2012 European Football Championship from February 02 2010, № 123-r]. (2010, March 10). *Uryadovyy Kur'yer – Government Courier*, 44 [in Ukrainian].

25. Ukaz Prezydenta Ukrainy Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrainy vid 20.07.2015 «Pro zakhody zakhystu shchodo natsional'nykh interesiv Ukrainy v haluzi aviatsiyi» : pryinatyi 04 ver. 2015 roku № 535/2015 [Decree of the President of Ukraine On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated July 20, 2015 «On measures to protect the national interests of Ukraine in the field of aviation» from September 04 2015 № 535/2015]. (2015, September 9). *Uryadovyy Kur'yer – Government Courier*, 165 [in Ukrainian].

26. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy Pro skhvalennya Kontseptsiyi rozvytku mizhnarodnoho aeroportu «Boryspil'» na period do 2045 roku : pryynyate 08 trav. 2019 roku № 293-r [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine On the approval of the Boryspil International Airport Development Concept for the period until 2045 from May 08 2019, № 293-r]. (2019, May 16). *Uryadovyy Kur'yer – Government Courier*, 90 [in Ukrainian].

27. Vukichevych, B. (2012, December 15). Utverdzheniya modernist's'koyi paradyhmy [Confirmation of the modernist paradigm]. *uk.vijesti.me*. Retrieved from <https://uk.vijesti.me/zabava/294673/afirmaciya-modernistичke-paradigme>. (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

28. Kyiv's'ka Shkola Ekonomiky. (2023). Zvit pro pryami zbytky infrastruktury vid ruynuvan' vnaslidok viys'kovoyi ahresiyi rosiyi proty Ukrainy za rik vid pochatku povnomasshtabnoho vtorhnennya. [A report on the direct damage to infrastructure from the destruction caused by russia's military aggression against Ukraine a year after the start of the full-scale invasion]. *kse.ua*. Retrieved from https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf [in Ukrainian].

29. Kondel'-Perminova, N. (2022). Vyklyky viyny: transformatsiyi v arkhitekturi ta dyzayni Ukrainy. [Challenges of war: transformations in architecture and design of Ukraine]. *Suchasne mystetstvo – Modern art*,

(18), 27–42. DOI: 10.31500/2309-8813.18.2022.269659 [in Ukrainian].

30. Ahyeyeva, H. M. (2024). Boryspil' (aeroport) [Boryspil (airport)]. *vue.gov.ua*. Retrieved from [https://vue.gov.ua/Бориспіль\(аеропорт\)](https://vue.gov.ua/Бориспіль(аеропорт)) (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

31. Kudryts'kyi, A. V. (Ed.). (1981). Kyiv: entsyklopedychnyy dovidnyk [Kyiv: encyclopedic guide]. Kyiv : The main editorial office of the Ukrainian Soviet Encyclopedia [in Ukrainian].

32. ICOMOS Germany. (Ed.). (2013). Socialist Realism and Socialist Modernism. World Heritage Proposals from Central and Eastern Europe [*Documentation of the European Expert Meeting of ICOMOS on the Feasibility of an International Serial Nomination of 20th Century Monuments and Sites in Post-Socialist Countries for the UNESCO World Heritage List in Warsaw, 14th–15th of April 2013*]. Berlin : Hendrik Bäbler Verlag [in English].

33. Bykov, A., & Gubkina, Ie. (2019). *Soviet modernism, brutalism, post-modernism: Buildings and Structures in Ukraine 1955–1991*. Berlin : Dom publishers [in English].

34. Ichenko, M. (2019). Discourse of Modernist Heritage and New Ways of Thinking about Socialist Urban Areas in Eastern Europe. *Changing Societies & Personalities*, 3(3), 243–257. DOI: 10.15826/csp.2019.3.3.074 [in English].

35. Soviet Modernism 1955–1991. (n. d.). *azw.at*. Retrieved from <https://www.azw.at/en/articles/collection/soviet-modernism-1955-1991/> (Accessed: 17 September 2024) [in English].

36. Soviet Modernism 1955–1991. Ukraine. (n. d.). *azw.at*. Retrieved from http://wiki.azw.at/sovietmodernism_database/home.php?act=suchen&l=deu&findall=&function=&land=Ukraine (Accessed: 17 September 2024) [in English].

37. Soviet Modernism 1955–1991. Ukraine. Kiev. Borispol Airport. (w. d.). *azw.at*. Retrieved from http://wiki.azw.at/sovietmodernism_database/home.php?il=828&l=deu&findall=&function=&land=ukraine&act=print (Accessed: 17 September 2024) [in English].

38. Ahyeyeva, H. M. (2020). Obolonky podviynoyi dodatn'oyi kryvlyzny v arkhitekturi budivel' transportnykh vuzliv Kyieva [Shells of double positive curvature in the architecture of buildings of transportation hubs of Kyiv]. Proceedings from '20: VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Arkhitektura istorichnoho Kyieva. Istoriya – teoriya – praktyka» – The Sixth International scientific and practical conference «Architecture of historical Kiev. History – theory – practice». (pp. 14–15). Kyiv : Kyiv National University of Construction and Architecture [in Ukrainian].

39. Anisimov, O. (2022). Researching the 1980s competitions in Kyiv – preconditions of the After Socialist Modernism. *City: History, Culture, Society. After Socialist Modernism. Architecture, urban design and planning of the 1980-s*, 1 (13), 110–195. DOI: 10.15407/mics2022.01.110 [in Ukrainian].

40. Balashova, D. (2023, February 2) Dyskryminatsiya modernizmu yak sposib znyshchennya pam'yati [The discrimination of modernism as a way of destroying memory]. *pragmatika.media*. Retrieved from <https://pragmatika.media/dyskryminatsiya-modernizmu-iak-sposib-znyshchennya-pam-yati/> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

41. Vashchuk, M. U. (2017, December 28). Kyievi stvoryly mapu arkhitektury modernizmu [A map of modernist architecture was created in Kyiv]. *the-village.com.ua*. Retrieved from <https://www.the-village.com.ua/village/city/city-news/266663-u-kyievi-stvorili-mapu-arhitekturi-modernizmu> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

42. Velihots'ka, N. (1981). Monumental'no-dekoratyvne mystetstvo v epokhu NTR. [Monumental and decorative art in the era of the NTR]. *Obrazotvorche mystetstvo – Fine arts*, 3, 12–14 [in Ukrainian].

43. Hrytsenko, YE. (2015, February 18). Suchasna utopiya: Kyiv ta arkhitektura radyans'koho modernizmu [Modern utopia: Kyiv and the architecture of Soviet modernism]. *platfor.ma*. Retrieved from <https://platfor.ma/magazine/text-sq/pb/soviet-modernism/> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

44. Map of modernism. Exploring for saving (2023, January 29). *modernism.in.ua*. Retrieved from <https://modernism.in.ua/ua/index/> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

45. Zelenkova, V. A. (2012). Mali arkhitekturni ta skul'pturni formy v dyzayni inter'yeriv aerovokzaliv. [Small architectural and sculptural forms in the interior design of air stations]. *Proceedings of State University "Kyiv Aviation Institute"*, 52(3), 119–122. DOI: 10.18372/2306-1472.52.2360 [in Ukrainian].

46. *Krykhka spadshchyna. Arkhitekturny modernizm Ukrayins'koho Pivdnya ta Skhodu: kinets' 1950–1980-ti* [Fragile heritage. Architectural modernism of the Ukrainian South and East: late 1950s–1980s.]. (2024, February 8). *dnabb.org*. Retrieved from <http://www.dnabb.org/modules.php?name=Pages&go=page&pid=1833> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

47. *Krykhka spadshchyna. Arkhitekturny modernizm Ukrayins'koho Pivdnya ta Skhodu: kinets' 1950–1980-ti* [Fragile heritage. Architectural modernism of the Ukrainian South and East: the end of the 1950s–1980s.]. (2023). Dnipro : Herda [in Ukrainian].

48. Krivyyel'ov, L. I., & Kafiye, K. P. (2022). Zberezhennya zabudovy kyivsk'koho modernizmu mynuloho

stolittya. Tekhnichnyy stan budivli «Zaliznychnyy rynok» [Preservation of buildings of Kyiv modernism of the past century. Technical condition of the Railway Market building. Science and construction]. *Nauka ta budivnytstvo – Science and construction*, 33 (3–4), 3–15. Retrieved from <https://www.journal-niisk.com/index.php/scienceandconstruction/article/view/203> [in Ukrainian].

49. Luts'ka, V. (2019, February 26). *Arkhitektura modernizmu: de cherpaly natkhnennya kyyivs'ki proektual'nyky?* [Modernist architecture: where did Kyiv designers draw inspiration?]. Hmarochos. Retrieved from <https://hmarochos.kiev.ua/2018/02/26/arhitektura-modernizmu-de-cherpali-natkhnennya-kiyivski-proektualniki/> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

50. Markovskiy, A. (2020). Try etapy perekhodu vid «stalins'koho ampiru» do modernizmu na prykladi Kyieva [Three stages of the transition from the "Stalin empire" to modernism on the example of Kyiv]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya – Urban planning and territorial planning*, 75, 249–261. DOI: 10.32347/2076-815x.2020.75.249-261 [in Ukrainian].

51. Puchkov, A. (2022). Happy incidents happen: ukrainian radmodern (sovietmodern) in the architecture of the late 1950s and early 1990s. *City: History, Culture, Society. After Socialist Modernism. Architecture, urban design and planning of the 1980-s*, 1 (13), 32–72. DOI: 10.15407/mics2022.01.032 [in Ukrainian].

52. Solodova, D. (2016, May 28). Bez nadmirmnostey: istoriya kyyivs'koho modernizmu. [Without excesses: the history of Kyiv modernism.]. *birdinflight.com*. Retrieved from <https://birdinflight.com/architectura-uk/20160511-kyiv-modern-architecture.html> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

53. Chernyavs'kyy, V. H. (2023). Syntez mystetstv v arkhitekturi aeroportiv [Synthesis of arts in airport architecture]. In: *Stalyy rozvytok aviatsynoyi infrastruktury Ukrayiny – Sustainable development of aviation infrastructure of Ukraine*, (pp. 219–245). Lviv – Torun: Liha-Pres. DOI: 10.36059/978-966-397-312-8-8 [in Ukrainian].

54. Shevchenko, L. (2016, May 23). Monstry modernizmu: modernist's'ki sporudy pid zahrozoyu. [Monsters of modernism: modernist buildings under threat]. *hmarochos.kiev.ua*. Retrieved from <https://hmarochos.kiev.ua/2016/05/23/monstri-modernizmu-modernistski-sporudi-pid-zagrozoyu/> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

55. Soviet mosaics in Ukraine (n. d.). *sovietmosaicsinukraine.org* Retrieved from <https://sovietmosaicsinukraine.org/> (Accessed: 17 September 2024) [in English].

56. Koveshnikova, O. (2018). Peredumovy formuvannya tvorchykh upodoban' arkhitekтора Anatoliya Dobrovol's'koho. [Prerequisites for the formation of creative preferences of the architect Anatoly Dobrovolsky]. *Visnyk L'vivs'koyi natsional'noyi akademiyi mystetstv – Bulletin of the Lviv National Academy of Arts*, 35, 326–342 [in Ukrainian].

57. Koveshnikova, O. V. (2020). Tvorchist' A. V. Dobrovol's'koho v konteksti rozvytku arkhitektury Ukrayiny 1930-1980-kh rokiv. [Creativity of A.V. Dobrovolsky in the context of the development of the architecture of Ukraine 1930–1980s.]. *Candidate of architecture thesis*. Kyiv : National Academy of Fine Arts and Architecture [in Ukrainian].

58. *Kharkivs'ka oblast', m. Kharkiv*. (n. d.). *mcip.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/sdrwzi> (Accessed: 17 September 2024) [in Ukrainian].

59. Horbachova, O. M. (2013). Faktor propusknoyi zdatnosti aeroportovykh kompleksiv yak umova yikh tsyklichnoho rozvytku. [The capacity factor of airport complexes as a condition for their cyclical development]. *Ekonomichnyy analiz – Economic analysis*, 14 (2), 158–163 [in Ukrainian].

УДК 625.7./8

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.2>**Гаркуша Микола Васильович,**

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд
факультету транспортного будівництва,
Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>
E-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua

Гаркуша Інна Юріївна,

старший викладач,
кафедри іноземних мов
факультету менеджменту, логістики та туризму,
Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9765-3711>

ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВОЇ КОПОЛІМЕРНОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Усе частіше будівництво об'єктів транспортного будівництва здійснюється в складних інженерно-геологічних умовах. Отже, як будівельний матеріал застосовуються слабкі ґрунти, що потребують подальшої стабілізації та укріплення для забезпечення надійності й довговічності об'єкта будівництва. Велике різноманіття ґрунтів, які застосовуються в будівництві, мають суттєве погіршення механічних властивостей унаслідок впливу кліматичних факторів, що значно впливає на їх несучу здатність. Тому вживання для цих видів ґрунтів заходів зі стабілізації й укріплення є чи не єдиним заходом, що дає можливість їх застосування в будівництві.

Нехтування заходами стабілізації та укріплення ґрунту, як правило, призводить до нерівномірного осідання основи, а також і до втрати її стійкості.

Найпоширенішим матеріалом зі стабільними фізико-механічними властивостями для стабілізації та укріплення ґрунту є цемент.

Модифікація цементу для укріплення та стабілізації ґрунту різноманітними полімерними добавками широко практикується протягом останніх кількох десятиліть.

Основа причина використання таких матеріалів – схильність до утворення усадкових тріщин укріпленого матеріалу, які з часом можуть відбиватися крізь асфальтобетонні чи цементобетонні шари дорожнього покриття на поверхню після будівництва, а також підвищення водонепроникності й збільшення морозостійкості укріплених і стабілізованих ґрунтів.

Сьогодні є перспективним застосування акрилової кополімерної добавки із цементом для укріплення та стабілізації ґрунтів. Застосування цієї комбінації дає можливість отримання максимально ефективної в'язучої речовини. Застосування акрилової кополімерної добавки із цементом може бути використано для виконання будівництва, реконструкції, а також ремонту з метою забезпечення довговічності, економічності споруд, зменшення матеріалоемності й термінів будівництва.

У роботі проаналізовано можливість застосування акрилової кополімерної добавки для укріплення та стабілізації ґрунтів у будівництві.

Ключові слова: акрилова кополімерна добавка, довговічність, транспортне будівництво, укріплення ґрунту, стабілізація ґрунту, цемент.

Harkusha Mykola, Harkusha Inna. APPLICATION OF ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVES FOR STRENGTHENING AND STABILIZATION OF SOILS IN CONSTRUCTION

Abstract. Increasingly, the construction of transport construction facilities is carried out in difficult engineering and geological conditions. Therefore, weak soils are used as building material, which require further stabilization and strengthening to ensure the reliability and durability of the construction object. A wide variety of soils used in

construction have a significant deterioration of mechanical properties due to the influence of climatic factors, which significantly affect their bearing capacity. Therefore, the application of stabilization and strengthening measures for these types of soils is almost the only measure that makes it possible to use them in construction.

Neglecting measures to stabilize and strengthen the soil, as a rule, leads to uneven settlement of the base, as well as to the loss of its stability.

The most common material with stable physical and mechanical properties for soil stabilization and strengthening is cement.

Modification of cement, for strengthening and stabilization of soil, with various polymeric additives has been widely practiced during the last few decades.

The main reason for this use of materials is that the reinforced material is prone to the formation of shrinkage cracks, which over time can be reflected through the asphalt concrete or cement concrete layers of the road surface to the surface after construction, as well as to increase the waterproofing and frost resistance of reinforced and stabilized soils.

Today, it is promising to use an acrylic copolymer additive with cement to strengthen and stabilize soils. The use of this combination for soil strengthening and stabilization makes it possible to obtain the most effective binder. The use of acrylic copolymer additives with cement can be used for construction, reconstruction, and repair in order to ensure durability, economy of structures, reduction of material consumption and construction periods.

The paper provides an analysis of the possibility of using an acrylic copolymer additive for strengthening and stabilizing soils in construction.

Key words: acrylic copolymer additive, durability, transport construction, soil strengthening, soil stabilization, cement.

Вступ. Ґрунти зазвичай використовуються як конструкції для дамб, насипів та інших земляних споруд, є основою під будівлі й споруди, а також наймасовішим будівельним матеріалом.

Однак у більшості інженерних проєктів неможливо отримати ґрунти, які відповідають проєктним вимогам, без їх модифікації. Поточна практика полягає в зміні інженерних властивостей місцевих проблемних ґрунтів відповідно до проєктних вимог.

Сьогодні такі ґрунти, як глинисті й органічні, можна покращити відповідно до вимог цивільного будівництва завдяки стабілізації та укріплення ґрунту [1].

Стабілізація ґрунту має на меті покращення міцності ґрунту та збільшення стійкості до розм'якшення водою шляхом зв'язування частинок ґрунту разом, підвищення водонепроникності частинок або комбінації обох [2].

Найпростішими стабілізаційними процесами є ущільнення й дренаж. Інший процес полягає в покращенні шляхом додавання в'язучих речовин (цемент, вапно, зола, бітум, полімер або їх комбінацією) до слабких ґрунтів [3]. Стабілізацію ґрунту можна здійснити кількома способами, усі ці методи поділяються на дві великі категорії, а саме:

– механічну стабілізацію (стабілізація ґрунту може бути досягнута за допомогою фізичного процесу шляхом зміни фізичної природи частинок ґрунту за допомогою вібрації або ущільнення тощо);

– хімічну стабілізацію (залежить головним чином від хімічних реакцій між стабілізатором (в'язучий матеріал) і мінералами ґрунту для досягнення бажаного ефекту).

Територія дослідження. Фундаментальна ідея покращення інженерних властивостей ґрунтів або модифікації ґрунтових матеріалів для виконання бажаної функції не нова. Деякі основні принципи поліпшення ґрунту, такі як ущільнення, зневоднення й використання домішок, існували тисячі років. Відомо про використання деревних і солом'яних включень, змішаних із грязюкою, для будівельних робіт у стародавні часи Месопотамії (межиріччя, «земля між річками», алювіальна рівнина між річками Тигром і Євфратом, нині територія сучасного Іраку та Сирії) і стародавнього Єгипту (до н. е.). Письмові праці китайських цивілізацій (3000–2000 рр. до н. е.) описували використання каменю й деревини [4]. Вапно, змішане із землею, використовувалося в будівництві знаменитої в Римській імперії Аппієвої дороги, побудованої приблизно в 600 році нашої ери під час розквіту Римської

імперії. Ця дорога витримала випробування часом і досі повністю функціонує. Як повідомляється, раннє покращення ґрунту шляхом додавання наповнювача використовувалося для контролю просочування під час будівництва гравійно-кам'яних дамб у Єгипті приблизно в 1900 році, де дрібнозернистий ґрунт заливався в грубий заповнювач для зниження проникності [5].

Варто зазначити, що цемент є найстарішою в'язучою речовиною з моменту винаходу технології стабілізації ґрунту в 1960-х роках [2]. Його можна розглядати як основну стабілізуючу речовину, оскільки він може використовуватися окремо для досягнення необхідної стабілізуючої дії [2; 6].

Реакція цементу не залежить від мінералів ґрунту, ключову роль відіграє його реакція з водою, яка може бути доступна в будь-якому ґрунті [6]. Це може бути причиною, чому цемент використовується для стабілізації широкого діапазону ґрунтів. На ринку доступні численні види цементу; це звичайний портландцемент, шлаковий цемент, сульфатостійкий і високоглиноземистий цемент. Зазвичай вибір цементу залежить від типу ґрунту, що обробляється, і бажаної кінцевої міцності.

Сьогодні важко сказати через складні записи й нечітке фіксування спогадів про час або місце, коли портландцемент уперше змішали з ґрунтом для створення затверділої водостійкої основи для дорожніх покриттів. Уважається, що одним із ранніх місць застосування портландцементу для укріплення ґрунтів є США [7].

Автор [7] зазначає, що передумовою до використання стало спостереження за транспортним перевезенням вантажів: було помічено, що водії вантажівок, які возили цемент по ґрунтовій дорозі, час від часу кидали кілька мішків у деякі з грязьових ям, щоб проїхати. Ці грубі суміші ґрунту й цементу були ефективними, але не враховані на той час [7].

Згідно з наявною інформацією, оброблена цементом дорога для випробування побудована в Пенсільванії, США, ще до 1930 року. Цей проєкт не був розголошений, здійснювався майже в атмосфері секретності. Однак, незважаючи на випадкові або розрізнені

попередні випробування, у Південній Кароліні з'явилися перші споруди й звітності про успішні ґрунтово-цементні основи. Про піонерську роботу в Південній Кароліні повідомлено в 1936 році. Хоча в Каліфорнії намагалися змішати портландцемент із важкими глинистими ґрунтами ще в 1921 році, однак ці дослідження не продовжені. Після повідомлень із Південної Кароліни в штаті Каліфорнія в 1937 році побудовано дві секції довжиною приблизно одну милю кожна. У 1938 і 1939 роках за контрактом побудовані додаткові проєкти, кожен завдовжки близько трьох миль [7].

До 1940 року всі роботи цього типу в Каліфорнії використовували метод дорожніх сумішей. Однак часто було важко забезпечити рівномірну конструкцію як за глибиною обробленого матеріалу, так і за рівномірністю розподілу цементу. Крім того, змішування доріг за допомогою сільськогосподарського обладнання (наприклад, дисків і борон, які тоді зазвичай використовували) вимагало значного часу, зазвичай була затримка в 6–8 годин між введенням цементу й води до остаточного ущільнення, що, звичайно, значно негативно впливало на міцність на стиск [7].

Довгий досвід змішування асфальтобетонних сумішей як дорожнім, так і заводським способом указав на перевагу заводського змішування щодо швидкості й однорідності. Здавалося логічним, що процес змішування ґрунту й цементу також буде вдосконалений. Тому з 1939 року розпочато три проєкти, які вимагали змішування цементу з гравієм або гранульованими матеріалами в стаціонарній змішувальній установці.

Оскільки пропонувані матеріали, як правило, були гранульованими, а не такими, які аграрії зазвичай класифікують як «ґрунт», було вирішено, що термін «цементована основа» є більш доречним. Крім того, термін «стабілізація ґрунту» широко використовувався продавцями та рекламними агентствами й застосовувався до різноманітних методів обробки ґрунту, які мають мало або взагалі нічого спільного. З того часу всі подібні роботи в Каліфорнії називаються «основою, обробленою цементом», незалежно від

градації ґрунту, мінерального заповнювача чи методу змішування. Ще одна зміна порівняно зі східною практикою (східною частиною США) полягає в методі вираження вмісту цементу. Визначення вмісту цементу за об'ємом обґрунтовано з теоретичної точки зору, але менш зручно в практичному застосуванні, що спричинило залучення до «контролю та інспекції» будівництва набагато більше осіб, ніж у лабораторіях, тому було вирішено вказати вміст цементу у відсотках від маси заповнювача. На цьому етапі Каліфорнія має єдину практику зазначення відсотка цементу в оброблених цементом основах, які тепер указуються у відсотках від маси сухого заповнювача.

До 1941 року завершено близько 30 миль цементно-обробленої основи, а до кінця 1943 року збільшився до понад 100 миль [8]. Протягом цього періоду велася лабораторна робота для визначення відповідних процедур випробувань, методів розробки сумішей, специфікацій тощо. Установлення методів випробувань має, звичайно, вимагати певних знань щодо основних властивостей, уважалося само собою зрозумілим, що оброблені цементом суміші повинні мати певну відчутну міцність на стиск відповідно до звичайних уявлень щодо властивостей цементобетону. Питання про те, які властивості є головними, не було таким самоочевидним і мало багато обговорень. Як і в усіх нових розробках, на ідеї, схильні впливати еволюційні кроки або думки окремих людей. Ті інженери, які мали тривалий досвід або знання в проєктуванні й будівництві цементобетону були схильні віддавати перевагу високій міцності цементних основ. Тому ці оброблені основи деякі вважали різновидом бетону нижчої якості, тоді як інші – удосконаленою основою заповнювача.

До 1950 року в Каліфорнії США було побудовано кілька сот миль доріг із використанням укріпленої цементом основи [9]. Між 1950 і 1962 роками понад 700 миль каліфорнійських автомагістралей побудовано з використанням укріпленої цементом основи, покритої асфальтобетonom або цементобетonom [9].

У дослідженнях Філіпа Шервуда [2] установлено, що дрібнозернисті гранульовані

матеріали найлегше стабілізувати через їх велику площу поверхні щодо діаметра частинок. Глинистий ґрунт порівняно з іншими має велику площу поверхні завдяки плоским і витягнутим формам частинок. З іншого боку, глинисті матеріали можуть бути чутливими до невеликих змін вологості й, отже, можуть виявитися складними під час стабілізації [2], як і торф'яні й органічні ґрунти багаті вмістом води, високою пористістю та високим вмістом органічних речовин, у більшості випадків відкладення неглибоке, але в гіршому разі воно може поширюватися на кілька метрів під поверхнею [10–13]. Органічні ґрунти мають високу обмінну здатність, що може перешкоджати процесу гідратації, утримуючи іони кальцію, що вивільняються під час гідратації силікату кальцію та алюмінату кальцію в цементі, щоб задовольнити обмінну здатність. У таких ґрунтах успішна стабілізація має залежати від правильного вибору в'язучого й кількості доданого в'язучого [12; 14].

У 1938 році Департамент доріг Оклахоми вивчав використання цементно-модифікованих поверхонь шляхом спорудження та спостереження за семи милями доріг. Уміст цементу коливався від 4% до 16% за масою. У 1983 році визначено пластичні характеристики цементно-модифікованої основи за 45 років експлуатації. Результати цих випробувань показують, що ефективність цементної модифікації дрібнозернистих ґрунтів була постійною та результативною [15].

У 1976 році Дж.Б. Бурленд та ін. [16] описали впровадження наземної обробки в «раціональному контексті» з основними етапами, незважаючи на те що ці кроки можуть здатися дуже простими й очевидними, вони є основними принципами, яких варто дотримуватися, вибираючи ділянку для нового будівництва.

Саме в США запропоновано введення комплексу модифікуючих речовин для стабілізації та укріплення ґрунтів, у тому числі почали застосовувати цемент з кополімерною добавкою.

Матеріали та методи. У роботі визначено розрахункові характеристики укріплених

ґрунтів, випробування проводилося згідно з методиками [17; 18].

Склад акрилової кополімерної добавки: (55–60)% вініл акрилового полімеру; (1–5)% ефір октил феноксил поліетиленгліколю; (1–5)% ефір октил феніловий поліетиленгліколю; (40–45)% вода.

З метою отримання порівняльних результатів готували суміші досліджуваних ґрунтів з добавкою портландцемент М400 + акрило-

вий кополімер і з добавкою портландцементу М400. Випробували ґрунти: супісок пилюватий (проба № 1); супісок піщанистий (проба № 2).

Результати. Результати визначення межі міцності на стиск ґрунтів, укріплених різними добавками, наведено на рис. 1–4.

Результати визначення межі міцності на розтяг при згині ґрунтів, укріплених різними добавками, наведено на рис. 5, 6.

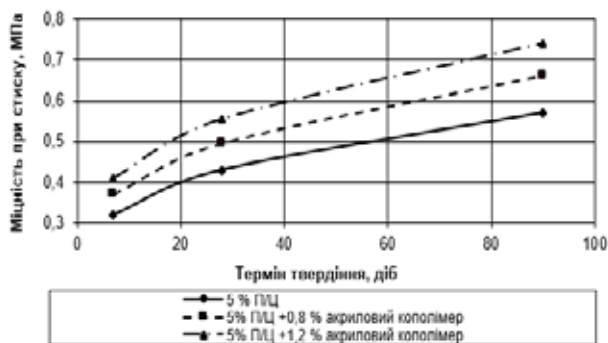


Рис. 1. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 1

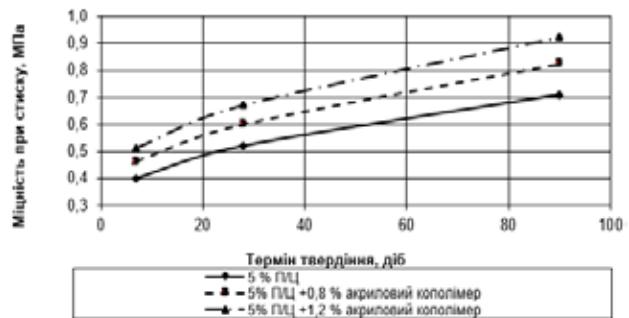


Рис. 2. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 2

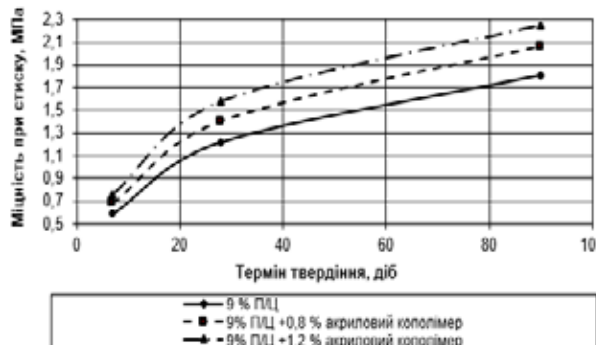


Рис. 3. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 1

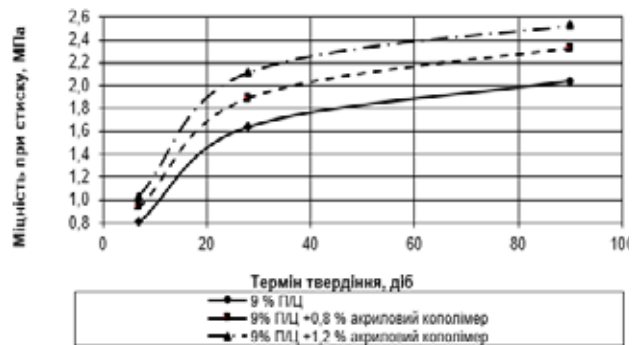


Рис. 4. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 2

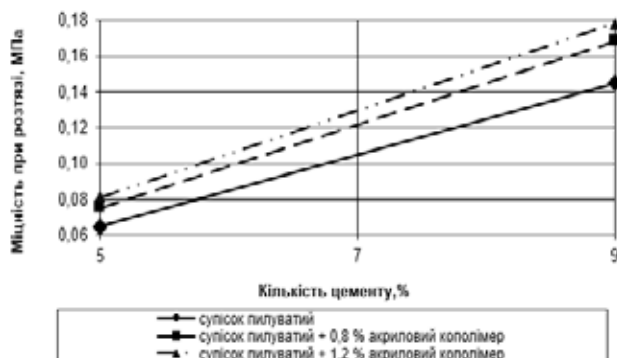


Рис. 5. Визначення границі міцності на розтяг при згині. Проба № 1

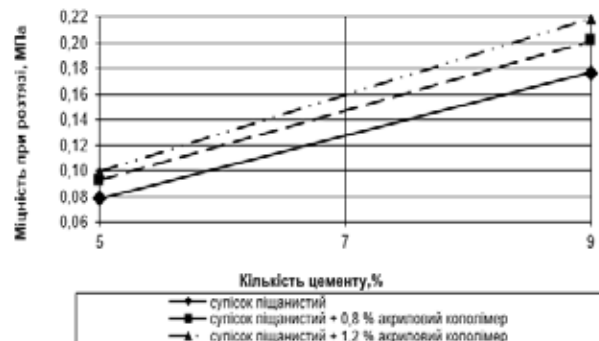


Рис. 6. Визначення границі міцності на розтяг при згині. Проба № 2

Висновки. Результати дослідження свідчать про ефективне застосування акрилового кополімеру з добавкою портландцементу, що дає можливість підвищити механічні властивості.

Дослідження з ефективності використання акрилового кополімеру з добавкою портландцементу потребують додаткових досліджень та апробації на будівельному майданчику.

Список використаних джерел:

1. Гаркуша М.В. Застосування укріплення ґрунтів у транспортному будівництві. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 3. С. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.3>.
2. Sherwood P. Soil stabilization with cement and lime. State of the Art Review. London : Transport Research Laboratory, HMSO, 1993. 153 p.
3. Rogers C.D.F., Glendinning S. Modification of clay soils using lime. *Proceeding of the Seminar held at Loughborough University on Lime Stabilization* 1993. P. 99–114.
4. ASCE. Soil improvement: history, capabilities and outlook. Report by the Committee on Placement and Improvement of Soils, Geotechnical Engineering Division. New York, 1978. 182 p.
5. Charles J.A. Ground improvement: the interaction of engineering science and experience-based technology. *Geotechnique*. 2002. Vol. 52. № 7. P. 527–532. <http://10.1680/geot.52.7.527.38748>.
6. EuroSoilStab. Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for soft soil stabilization. CT97-0351, European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III). Bryssel, 2002. 95 p.
7. Hveem F.N., Zube E. California Mix Design for Cement-Treated Bases. *Highway Research Record*. 1963. Vol. 36. P. 11–55.
8. Stanton T.E., Hveem F.N., Beatty J.L. Progress Report on California Experience with Cement Treated Bases. *HRB Proc.* 1943. Vol. 23. P. 279–296.
9. Zube E., Gates C.G., Shirley E.C., Munday H.A. Service performance of cement-treated bases as used in composite pavements. *Highway Research Record*. 1969. Vol. 1. P. 57–69.
10. Pousette K., Mácsik J., Jacobsson A. Peat Soil Samples Stabilized in Laboratory-Experiences from Manufacturing and Testing. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 85–92.
11. Cortellazzo G., Cola S. Geotechnical Characteristics of Two Italian Peats Stabilized with Binders. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 93–100.
12. Åhnberg H., Holm G. Stabilization of Some Swedish Organic Soils with Different Types of Binders. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 101–108.
13. Holm G., Andréasson B., Bengtsson P., Bodare A., Eriksson H. Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden. Linköping, 2002. 60 p.
14. Hebib S., Farrell E.R. Some Experiences of Stabilizing Irish Organic Soils. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 81–84.
15. Roberts J.D. Performance of Cement-Modified Soils: *A Follow-Up Report*. 1986. Vol. 1089. P. 81–86.
16. Burland J.B., McKenna J.M., Thomlinson M.J. Preface: ground treatment by deep compaction. *Geotechnique*. 1976. Vol. 25. № 1. P. 1–2.
17. ДСТУ Б В.2.7-309:2016. Ґрунти, укріплені в'язучим. Методи випробувань. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. 24 с. (Інформація та документація).
18. ДСТУ EN 14227-15:2021 (EN 14227-15:2015, IDT). Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим. Технічні умови. Частина 15. Ґрунти, стабілізовані гідравлічним в'язучим. [Чинний від 2022-09-01]. Київ, 2021. 23 с. (Інформація та документація).

References:

1. Harkusha, M.V. (2024). Zastosuvannya ukriplennya hruntiv u transportnomu budivnytstvi [Application of soil consolidation in transport construction]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 3, 21–29. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.3> [in Ukrainian].
2. Sherwood, P. (1993). *Soil stabilization with cement and lime*. London: Transport Research Laboratory [in English].
3. Rogers, C.D.F., & Glendinning, S. (1993). *Modification of clay soils using lime*. Proceeding of the Seminar held at Loughborough University on Lime Stabilization. London: Transport Research Laboratory [in English].
4. ASCE (1978). *Soil improvement: history, capabilities and outlook. Report by the Committee on Placement and Improvement of Soils*. New York: Geotechnical Engineering Division [in English].

5. Charles, J.A. (2002). *Ground improvement: the interaction of engineering science and experience-based technology*. Geotechnique. <http://10.1680/geot.52.7.527.38748> [in English].
6. EuroSoilStab (2002). *Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for soft soil stabilization*. Bryssel: European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III) [in English].
7. Hveem, F.N., & Zube, E. (1963). *California Mix Design for Cement-Treated Bases*. Highway Research Record [in English].
8. Stanton, T.E., Hveem, F.N., & Beatty, J.L. (1943). *Progress Report on California Experience with Cement Treated Bases*. HRB Proc [in English].
9. Zube, E., Gates, C.G., Shirley, E.C., & Munday, H.A. (1969). *Service performance of cement-treated bases as used in composite pavements*. Highway Research Record [in English].
10. Pousette, K., Mácsik, J., & Jacobsson, A. (1999). *Peat Soil Samples Stabilized in Laboratory-Experiences from Manufacturing and Testing*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Stabilization [in English].
11. Cortellazzo, G., & Cola, S. (1999). *Geotechnical Characteristics of Two Italian Peats Stabilized with Binders*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
12. Åhnberg, H. & Holm, G. (1999). *Stabilization of Some Swedish Organic Soils with Different Types of Binders*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
13. Holm, G., Andréasson, B., Bengtsson, P., Bodare, A., & Eriksson, H. (2002). *Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden*. Linköping: Swedish Deep Stabilization Research Centre [in English].
14. Hebib, S., & Farrell, E.R. (1999). *Some Experiences of Stabilizing Irish Organic Soils*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
15. Roberts, J.D. (1986). *Performance of Cement-Modified Soils: A Follow-Up Report*. Transportation research record [in English].
16. Burland, J.B., McKenna, J.M., & Thomlinson, M.J. (1976). *Preface: ground treatment by deep compaction*. Geotechnique [in English].
17. Grunty, ukripleni v"yazhuchym. Metody vyprobuvan'. [Soils reinforced with a binder. Test methods]. (2016). *DSTU B V.2.7-309:2016 from 1st January 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
18. Sumishi, ukripleni hidravlichnym v"yazhuchym. Tekhnichni umovy. Chastyna 15. Grunty, stabilizovani hidravlichnym v"yazhuchym. [Mixtures reinforced with a hydraulic binder. Technical conditions. Part 15. Soils stabilized by hydraulic binder]. (2021). *DSTU EN 14227-15:2021 (EN 14227-15:2015, IDT) from 9th September 2021*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

UDC 691:698

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.3>**Horb Oleksandr Hryhorovych,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Construction Computer Technologies,
Faculty of Architectural Structures and Airfields,
State University "Kyiv Aviation Institute",
Liubomyra Huzara ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3104-7621>
E-mail: oleksandr.horb@npp.nau.edu.ua

Shevchenko Oleksandra Volodymyrivna,

PhD,
Associate Professor at the Department of Construction Computer Technologies,
Faculty of Architectural Structures and Airfields,
State University "Kyiv Aviation Institute",
Liubomyra Huzara ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3804-7264>
E-mail: oleksandra.shevchenko@npp.nau.edu.ua

Bidna Nadiia Oleksandrivna,

Student of the group ЦБ-205Ma,
Department of Construction Computer Technologies,
Faculty of Architectural Structures and Airfields,
State University "Kyiv Aviation Institute",
Liubomyra Huzara ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine
E-mail: 8640402@stud.nau.edu.ua

STUDY OF REGIONAL FACTORS AND BASIC PROPERTIES OF RAW MATERIALS FOR THE BIOCONCRETE FILLER SELECTION

Abstract. The article analyzes the possibility of using various organic aggregates for bioconcrete and the latest publicly available statistics on the cultivation of the main types of agricultural crops in Ukraine, as well as the amount of production waste during their processing. The world experience in the use of bio-concrete in residential and public construction is studied and summarized. The optimal forms of structural elements and technological features of the use of concrete mixtures with organic aggregate are determined. The main tasks of theoretical and experimental tests are declared. The two most optimal types of mixtures for insulation were selected by preliminary analytical comparison. A program was developed and the main methods and materials for laboratory tests were selected. The key physical, mechanical, and chemical characteristics of some components of bioconcrete were studied, and the dependence of the level of hygroscopicity of raw materials on time and humidity was experimentally determined. Three main compositions of concrete mixtures and bituminous aggregates were experimentally selected. Taking into account the experience of using woodworking industry waste as a filler to prevent fungal damage to the organic component of biobased concrete, phenols were used, which proved to be much more effective in interaction with the proposed composition. The research revealed the peculiarities of the use of bitumen in biobeton with the subsequent need to study the optimal temperature range of the components during further mixing.

Key words: bioconcrete, organic filler, physical and mechanical characteristics, hygroscopicity.

Горб Олександр, Шевченко Олександра, Бідна Надія. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЧИННИКІВ ТА ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИРОВИНИ ПІД ЧАС ВИБОРУ ЗАПОВНЮВАЧА ДЛЯ БІОБЕТОНУ

Анотація. Стаття містить аналіз можливості застосування різноманітних органічних наповнювачів для біобетонів та останніх наявних у відкритому доступі статистичних показників вирощування основних видів сільськогосподарських культур на території України, а також кількість виробничих відходів під час їх переробки. Вивчено й узагальнено світовий досвід шляхів використання біобетонів у житловому та громадському будівництві. Визначено оптимальні форми конструктивних елементів і техноло-

гічні особливості застосування бетонних сумішей з органічним наповнювачем. Задекларовані головні задачі теоретичних та експериментальних випробувань. Шляхом попереднього аналітичного зіставлення обрано два найбільш оптимальні типи сумішей для влаштування утеплення. Розроблено програму й обрано основні методи та матеріали для лабораторних випробувань. Досліджено ключові фізико-механічні й хімічні характеристики деяких компонентів біобетонів, експериментально визначено залежності рівня гігроскопічності сировини від часу й вологості. Експериментально обрано по три основні склади бетонних сумішей і бітумних наповнювачів. З огляду на досвід використання як наповнювача відходів деревообробної промисловості для запобігання грибковим ураженням органічного складника біобетону, використано феноли, які виявили себе значно ефективніше під час взаємодії із запропонованим складом. Дослідження виявили особливості застосування бітумів у біобетоні з подальшою необхідністю вивчення оптимального діапазону температур складників під час подальшого змішування.

Ключові слова: біобетон, органічний наповнювач, фізико-механічні характеристики, гігроскопічність.

Introduction. In a world grappling with the consequences of climate change, the construction industry has begun to seek innovative solutions that are both environmentally friendly and resource-efficient. One promising development in this realm is the emergence of lightweight bioconcrete blocks made from plant materials. This article explores the composition, benefits, manufacturing processes, and potential applications of these revolutionary construction materials, as well as the challenges that lie ahead.

Bioconcrete, at its core, is a type of concrete [1–5] that incorporates living organisms that enhance its properties and allow it to adapt and react to environmental conditions. This innovative approach not only improves the structural integrity of concrete but also offers a sustainable alternative to conventional mixtures that heavily rely on cement.

Traditionally, concrete production is responsible for approximately 8% of global carbon emissions, primarily due to cement manufacturing. Bioconcrete can offer a solution by using alternative materials that minimize environmental impact. Lightweight bioconcrete blocks take this concept a step further by incorporating plant materials that provide insulation and reduce the overall weight of the blocks, making them a compelling option for both residential and industrial applications (Fig. 1).

The production of thermal insulation materials in Ukraine is extremely insufficient, and in most regions, due to the lack of raw materials, production has been stopped altogether.

At the same time, there are raw materials available everywhere in Ukraine that do not require complex operations to produce thermal insulation materials.

These include biological waste from agricultural production, in particular, corn cob cores, which, when crushed, are of interest as an effective aggregate for lightweight concrete and thermal insulation materials.

In each region, feed mills produce tens or hundreds of thousands of tons of corn cob rods and sell them mainly as fuel. However, the issue of using corn cobs as a raw material for the production of building materials has remained poorly studied so far.

The main goal of this work was to produce materials for thermal insulation of the enclosing structures of rural buildings based on feed mill waste.

The research objectives were to:

- 1) Establish the possibility of using corn cob rods as aggregate in lightweight concrete and as a material for backfill;
- 2) Determine the optimal compositions of lightweight concrete based on corn cob rods;
- 3) To study some physical, mechanical and thermal properties of the obtained materials;
- 4) To outline the areas of application of materials based on corn cob rods for rural and urban construction.

The study of two types of thermal insulation materials in rural construction and economic considerations for the use of biofillers based on the results of field studies were carried out.

Vegetable waste from industry and agriculture has long attracted attention as a cheap raw material suitable for the production of lightweight concrete, various thermal insulation materials, plywood, wood-based panels, and other building materials and products.

These types of raw materials include: flax, hemp, rope and kenaf bark, reed waste, large

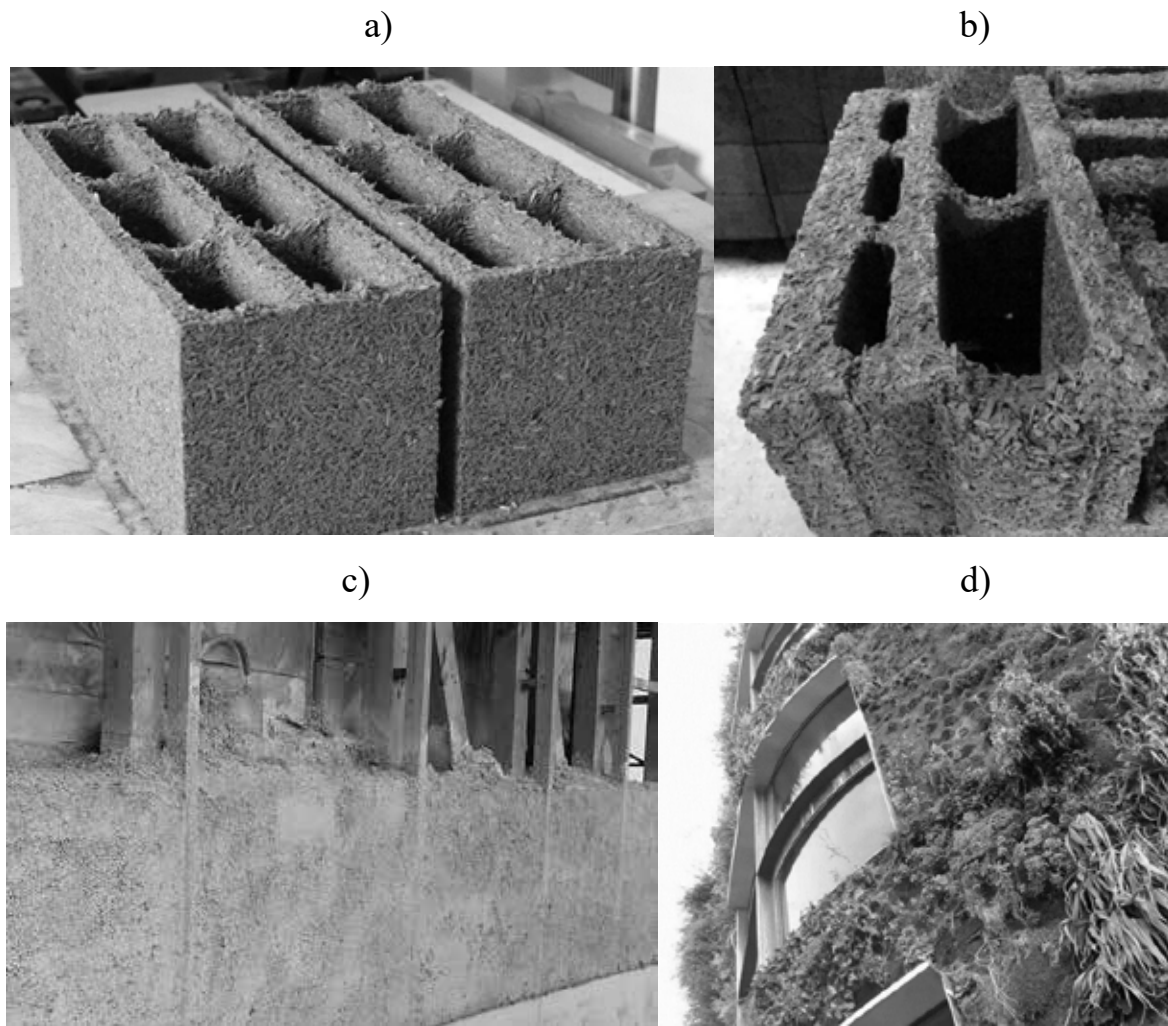


Fig. 1. Examples of bioconcrete application: a) symmetrical blocks; b) asymmetrical blocks; c) insulation; d) eco-building

and small woodworking waste, straw, sunflower husk, sunflower stalk, and corn cob rods.

Materials and methods. The works of researchers from different countries highlight the use of certain types of plant material as aggregates for lightweight concrete, develop their compositions, suggest methods of their manufacture, and establish some of their physical and mechanical properties.

The issue of using agricultural waste such as sunflower husks and stalks, corn cobs as raw materials for building materials is not sufficiently covered in the current literature, especially the use of such waste as organic aggregates in lightweight concrete.

The use of corn cob stalks as the most poorly studied raw material for the manufacture of building materials is currently worthy of attention among agricultural waste.

Over the past half century, the area under corn has increased 1.6 times, yields have increased 3 times, and gross grain harvest has increased 4.8 times. According to statistics, the area under corn in 2018 amounted to 189 million hectares globally and 4.58 million hectares in Ukraine (8.3%). With such a sown area, Ukraine is capable of growing about 25 million tons of corn grain. In particular, in 2021, the corn planted area in Ukraine amounted to 5.3 mln ha, and in the world – about 192 million ha.

Grain warehouses and feed mills accumulate a huge amount of secondary raw materials when grain is threshed.

Only a small part of the waste is used to make furfural. For the most part, corn cobs are used by the local population as fuel and sometimes simply dumped in landfills.

It should be acknowledged that the use of corn stover as fuel is far from rational given its effectiveness as a raw material for building insulation materials. In Ukraine alone, more than 2 million tons of corn cobs will remain after threshing for grain, which, after grinding, will amount to about 10 million m³ of lightweight pellets.

Almost all regions of Ukraine will have sufficient quantities of this raw material for the production of thermal insulation materials.

The hydrolysis industry and furfural production are expected to use about 500 000 tons of corn cob stalks, including some stalks that were proposed to be used for cattle feed in the form of flour, which allegedly contains nutrients.

But turning the cobs into flour is a very labor-intensive process and hardly profitable for business. In practice, it is known that even mechanized feed mills refuse to process corn cobs into flour because of their elastic rubber-like structure.

There is almost no data on the use of corn cobs for construction purposes. It would make more sense to use a significant portion of the cobs for the production of heat-insulating building materials, providing the population with fuel instead.

In Ukraine, the main areas with the largest corn crops, and thus areas of possible concentration of raw materials, are Dnipropetrovsk, Odesa, Poltava, Kharkiv, and Kirovohrad regions. However, not all of the cobs concentrated in these regions can serve as a raw material base for industrial processing.

If at least 0.5 million tons of corn cob stalks are used rationally for construction in Ukraine, this amount could produce about 2.5 million m³ or 30 million m² of local efficient heat and sound-proofing building materials.

The most readily available and widespread aggregate for bioconcrete is corn cob stalks, which are a waste product of corn production. They make up 22–25% of the cob weight. Fresh cobs have a moisture content of 10–18% and a bulk density of about 200 kg/m³.

The rods have the shape of a cut cone 30–150 mm long and 25–40 mm in diameter. This is a wood-like material with a bulk density of 350–400 kg/m³ in a “dense body”. The outer surface of the rod is covered with a layer resem-

bling a honeycomb, which significantly reduces their bulk weight.

Discussion. Cobs have a heterogeneous structure. They consist of a honeycomb with scales, a trunk, and a core. The outer layer and the trunk make up about 98% of the total weight of the cobs. The core is only 2% of the total weight. It is a highly porous, hygroscopic, lightweight white substance that is well wetted by cold water (Fig. 2).

The shaft of the rod is tree-like, elastic, and the densest and strongest. The outer “honeycomb” part has a very developed and rough surface.

The rods contain a lot of soluble and hydrolyzed carbohydrates and hemicellulose. Hemicellulose, which is part of the cell wall membranes, belongs to the group of polysaccharides in terms of its chemical composition and is a substance close to cellulose. Unlike cellulose, it has less chemical resistance and is easily hydrolyzed by dilute acids and alkalis, turning into simple sugars, such as pentoses and hexoses.

The extractable substances in the rods are some soluble monosaccharides, organic acids, mineral salts and acids, volatile oils, fatty and resinous acids, etc. During extraction with water, sugary substances, organic and mineral salts and acids are extracted from the rods. The influence of extraction time in cold and hot water and in a 1% NaOH solution of crushed corn cob rods one month after harvesting was investigated. The studies show that the amount of extractives that have passed into the solution increases with increasing temperature and alkalinity of the medium, as well as the degree of grinding of the extracted particles of the rods. In 15 minutes, 4 times less extractive substances are transferred to the aqueous solution from the 10–20 mm fraction than from particles smaller than 3 mm.

With an increase in extraction time to 3 days, this ratio decreases to two. The amount of extracts from the coarse fraction of the rods passes into the alkali solution is half that of the fine fraction at any extraction time.

Rods can be treated to localize extractives on the binder by physical or chemical means, as well as by a combination of both. The physical effect can be carried out by oxygen /oxidation/, sunlight, heat and water.

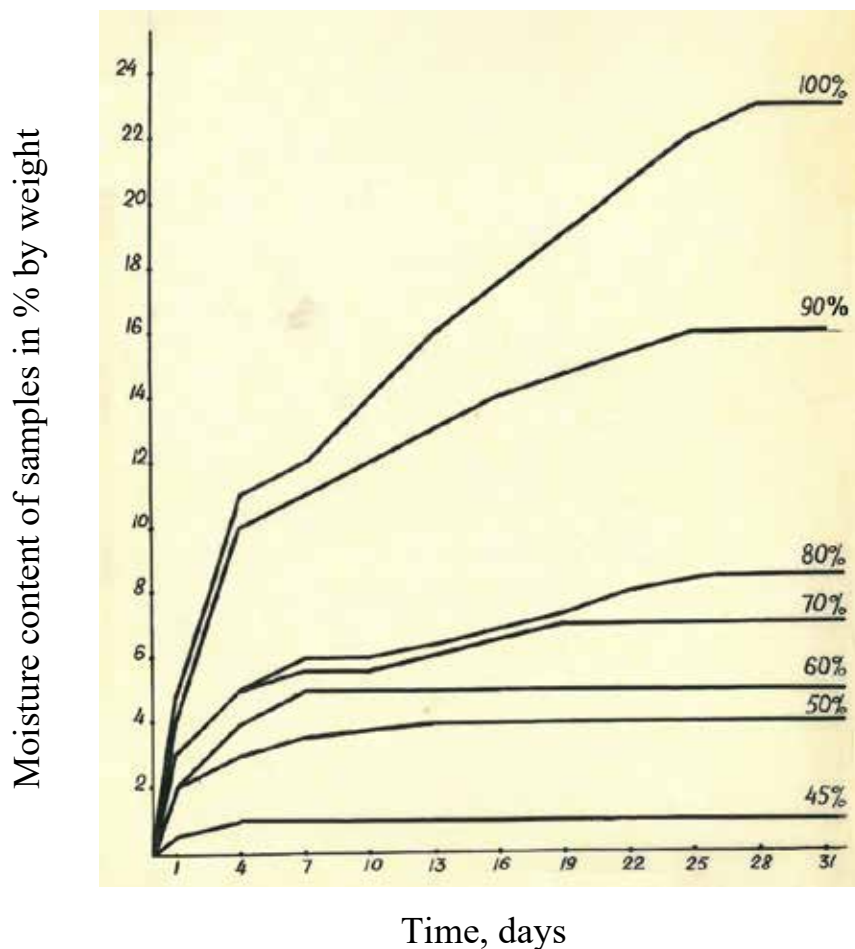


Fig. 2. Dependence of hygroscopicity of raw materials on time and humidity

Chemical localization is achieved by treating the rods with special substances to convert plant sugars into insoluble or harmless compounds for cement, as well as to create impermeable films on the surface of wood particles.

Water-soluble sugars are attacked by various bacteria, fermented and partially oxidized, and vitrified during drying or crystallized, becoming less soluble than the sugars in fresh cobs.

As the crushed corn cobs are kept in the air, the amount of water-soluble substances in them decreases at the age of three months compared to one month by 15–20% in cobs with a particle size of less than 3 mm and by 20–30% in cobs with a particle size of 10–20 mm; in the case of longer keeping in the air (up to 6 months), the amount of water-soluble substances decreases, but slightly.

Based on the research, it can be concluded that corn cob stalks are much more resistant to fungi than wood. It can be assumed that the fun-

gal resistance of the cores depends on the presence of extractive substances that are toxic to fungi, which can be tannins and phenols. Phenol has fairly good antiseptic properties. In addition, according to Terek Sylvester, corn cobs do not contain mannan, which, according to Nikitin, is easily decomposed by various bacteria and fungi.

The properties of cements and butums used in the work are given in Tab. 1–2.

Petrolatum

A mixture of solid paraffin wax and high-viscosity mineral oil. The softening point is about 55°. It is used for some lubricants, for high-speed drying of wood, etc.

Cookersil

This is a dark-colored liquid with a specific gravity of 0.92. The raw material for its production is heavy shale resin. Cookersil has thermal activity and high heat resistance (up to 200°).

Results. On the basis of crushed corn cob rods and bituminous binders, it is possible

Table 1

Cements							
№	Type and activity of cement	Normal density of cement dough in %	Curing times		Compressive strength, MPa	Volume weight, kg/m ³	Uniformity of volume change
			Start time	End time			
1	Portland with an activity of 50.6 MPa	24.3	3–15	6–00	50.6	1057	Y
2	Portland with an activity of 59.0 MPa	21.4	0–18	3-30	59.0	1053	Y
3	Portland with an activity of 45.6 MPa	24.5	4–00	9-00	45.6	1022	Y

Table 2

Petroleum bitumen			
Main properties of petroleum bitumen	Bitumen types		
	PB-III	PB-IV	PB-III – 60%, PB-IV – 40%
Bitumen hardness /penetration/ in degrees	56	21	40
Extensibility /ductility/ see at t = 25°C	42	4	18
Softening point on the “Ring and ball” device in degrees	52	80	63

to obtain tile materials with a bulk weight of 340–400 kg/m³ and a compressive strength of 0.3–0.6 MPa, which can be used for thermal insulation of buildings with high humidity. It is better to produce tile insulation with pure bitumen and hot bitumen mastic by dipping, and

with cold pastes by mixing. The best slab insulation in terms of strength, bulk weight and transportability is insulation based on pure PB-IV bitumen, as well as on a mixture of PB-III and PB-IV bitumen, respectively, 60 and 40% by weight.

Bibliography:

1. Mahmoud Abu-Saleem, Joseph M. Gattas. Eccentric compression behaviour of hybrid timber-cardboard sandwich columns. *Construction and Building Materials*. 2024. Vol. 4. 137365. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137365>.
2. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. Fast-growing bio-based construction materials as an approach to accelerate united nations sustainable development goals. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. № 14 (11). <https://doi.org/10.3390/app14114850>.
3. Recent advances in prefabrication techniques for biobased materials towards a low-carbon future: From modules to sustainability / M. Sutkowska et al. *Journal of Building Engineering*. 2024. № 91. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109558>.
4. Bioconcrete strength, durability, permeability, recycling and effects on human health / Mohanadoss Ponraj et al. *A Review*. 2015. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-062-0-28>.
5. Bioprospecting of biofilm producers for bioconcrete production / Pandya Pranav et al. *Advances in Materials Science Research*. 2022. Nova Science Publishers. Chapter 3. P. 81–101.

References:

1. Mahmoud Abu-Saleem, & Joseph M. Gattas. (2024). Eccentric compression behaviour of hybrid timber-cardboard sandwich columns. *Construction and Building Materials*, Vol. 440, 137365. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137365> [in English].
2. Cosentino, L., Fernandes, J., & Mateus, R. (2024). Fast-growing bio-based construction materials as an approach to accelerate united nations sustainable development goals. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14 (11), <https://doi.org/10.3390/app14114850> [in English].
3. Sutkowska, M., Stefańska, A., Vaverkova, M.D., Dixit, S., & Thakur, A. (2024). Recent advances in prefabrication techniques for biobased materials towards a low-carbon future: from modules to sustainability. *Journal of Building Engineering*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109558> [in English].

4. Mohanadoss Ponraj, Talaie Amirreza, Rosli Mohamad, Mohamad zin Rosli, Abd Majid, & Muhd Zaimi et al. (2015). Bioconcrete Strength, durability, permeability, recycling and effects on human health: a review. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-062-0-28> [in English].

5. Pandya Pranav, Chunti Kisun, Imboon Tanawat, Polsilapa Sureerat, Thongmee Sirikanjana, & Ghosh Sougata (2022). Bioprospecting of Biofilm Producers for Bioconcrete Production. *Advances in Materials Science Research*, Nova Science Publishers, (Chapter 3), (pp. 81–101) [in English].

UDC 656.7

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.4>**Zhuravel Dmytro Viktorovich,**

Master's student of the Department of Aviation Transport Infrastructure,

Faculty of Ground Structures and Airfields,

State University "Kyiv Aviation Institute",

Liubomyra Huzara ave., 1, Kyiv, 03058, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7055-6557>

E-mail: 5684745@stud.nau.edu.ua

THE PROBLEM OF AVIATION NOISE POLLUTION OF THE TERRITORY AROUND AIRPORTS

Abstract. This article presents a study of the problem of noise pollution near airports. It includes: the definition of the concept of noise (its nature, evaluation, causes of occurrence), the effects of impact on the human body (a short list of diseases caused by noise) and ways to reduce the level of aviation noise. This problem arose/ appeared in the middle of the 20th century, but as some examples of history show, it was not only solved, but even ignored. However, over time, the aircraft noise problem has become perhaps the most powerful argument of communities and politicians against any expansion or construction of a new airport. Of course, if it follows the established sanitary standards (the noise level does not exceed a specific value or airspace traffic is organized in such a way that the planes are not in a residential or other built-up area) or is not in the immediate vicinity of populated areas, it will not cause any problems.

Airport designers have a huge array of tasks that they must solve when designing airports. Aircraft noise pollution is a serious problem also because its real effects can manifest themselves after years. It can be both the expansion of the airport and residential development in the direction of the airport. The ideal solution would be an airport located at many kilometers from any city. But this is not always the case.

Airports must look to the future to be "good neighbors" and avoid resistance from an "annoyed" society.

Key words: airport, noise pollution, aircraft noise, environment, decibel (dB), A-weighted decibels (dBA), airspace planning, annoyance, Heathrow, Equivalent Continuous Sound Level (L_{eq}).

Журавель Дмитро. ПРОБЛЕМА АВІАЦІЙНОГО ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ НАВКОЛО АЕРОПОРТІВ

Анотація. У статті представлено дослідження проблеми шумового забруднення поблизу аеропортів. До неї входить визначення поняття шуму (його природа, оцінювання, причини виникнення), наслідки впливу на організм людини (короткий список захворювань, спричинених дією шуму) і способи зменшення рівня авіаційного шуму. Ця проблема виникла ще в середині ХХ ст., але, як показують деякі приклади історії, вона не тільки не вирішувалася, а й навіть ігнорувалася. Проте з часом саме проблема шуму повітряних суден стала чи не найвагомішим аргументом як громад, так і політиків, проти будь-якого розширення чи будівництва нового аеропорту. Звісно, якщо він відповідає встановленим санітарним нормам (рівень шуму не перевищує конкретне значення або рух повітряним простором організовано так, щоб літаки не перебували в зоні житлової чи іншої забудови) чи не перебуває в безпосередній близькості до населених пунктів, це не спричинить ніяких проблем.

Перед проєктувальниками аеропортів стоїть величезна кількість завдань, які вони повинні вирішити під час проєктування аеропортів. Шумове забруднення літаків є серйозною проблемою ще й тому, що його реальні наслідки можуть проявлятися через роки. Це може бути як розширення аеропорту, так і житлова забудова в напрямку аеропорту. Ідеальним рішенням був би аеропорт, розташований за багато кілометрів від будь-якого міста. Але це не завжди так.

Аеропорти повинні дивитися в майбутнє, що бути «добрими сусідами» й уникати опору з боку «роздратованого» суспільства.

Ключові слова: аеропорт, шумове забруднення, авіаційний шум, навколишнє середовище, децибел (дБ), А-зважені децибелі (дБА), планування повітряного простору, роздратування, Хітроу, еквівалентний безперервний рівень звуку (L_{eq}).

Introduction. There's no getting away from the fact that aviation can be noisy. When aircraft land and take off, depending on the aircraft and its altitude, as they fly overhead, they produce a considerable amount of noise [2].

Aircraft noise is usually the key environmental concern for communities impacted by aviation operations, whether it's from major international airports, night-time freight operations, business aviation facilities, helicopters, airfields with repetitive activities like circuits or aerobatic practice, or the result of flightpath changes [1].

There's good evidence to suggest that more people are annoyed at lower levels of aircraft noise today than in the past, despite the introduction of relatively less noisy planes. The CAA's 2014 study into attitudes towards aircraft noise showed the same percentage of respondents highly annoyed at 54dB L_{eq} as were previously affected at 57dB L_{eq} (in 1982) [1].

Some researchers agree with the view of many communities that this could be, in part, related to the increase in the number of noise incidents experienced. While airport noise maps may show noise 'contours' shrinking over time there has been no evidence of a reduction in community concerns [1].

Materials and methods. Were used materials of aviation organizations of the UK, USA and ICAO; their reports and standards for noise pollution were researched. There was also used historical literature about Heathrow airport.

Discussion. Noise – definition. Sound is energy transferred through the air that our ears detect as small changes in air pressure. The more energy put into making a sound, the louder it will be. Try whispering. Then yell. You can feel how much more energy goes into yelling [3].

Noise is sound that is unwanted. Some sounds, like a distant train whistle, can be a pleasant sound for some, while being considered noise by others. Other sounds, like a neighbor's barking dog in the middle of the night, are more universally found to be annoying. Even sounds that are pleasant at one volume can become noise to us as they get louder. Noise, then, has both an objective, physical component; as well as a subjective component that takes account of a person's individual perception, or reaction, to a sound [3].

The decibel (dB) is the unit used to measure the intensity of a sound. The human ear hears sound pressures over a wide range. Decibels, which are measured on a *logarithmic* scale, correspond to the way our ears interpret sound pressures [3].

Some examples of typical loudness are near total silence (0dB); normal conversation (60dB); a heavy lorry passing 15m away (80dB); a jet aircraft taking off at a distance of 300m (100dB) [4].

The human ear also responds to different pitches or frequencies of sound differently. We are less able to hear low frequencies like the rumble of thunder but hear high frequencies like the cry of a baby more strongly [3].

To account for differences in how people respond to sound, the "A-weighted" scale (dBA) is used. This scale most closely approximates the relative loudness of sounds in air as perceived by the human ear and provides a more useful way to evaluate the effect of noise exposure on humans by focusing on those parts of the frequency spectrum where we hear most [3].

'A-weighted decibels' (dBA) are often used in measurements of aviation noise [4].

For noise sources in motion, like aircraft, noise levels can change over time. For example, the sound level of a plane increases as it approaches, and then as it flies away the sound level decreases. It can be useful to measure the maximum sound level, abbreviated as L_{max} , of a particular noise "event". While L_{max} notes the moment of maximum sound level, it does not account for the duration of a sound event. The maximum sound level of a gun firing a bullet is high but very brief; a freight train can have the same maximum sound level, if you are very close to it, but the sound has a long duration [3].

To account for the differences in duration and loudness of sounds, different metrics are used. These metrics are used to compare individual noise events as well as many events that take place over an extended period [3].

Two basic measures for assessing noise impact are [4]:

- L_{eq} which means the 'equivalent continuous sound level'. This is the average sound level for a specific location over a defined measurement period.

- L_{den} which uses an annual average of the L_{eq} but also takes into account the additional annoyance/disturbance of noise generated in the evening and at night. 5dB is added to noise made in the evening (7:00pm–11:00pm) and 10dB for the night (11:00pm–7:00am).

L_{eq} is the preferred method to describe sound levels that vary over time, resulting in a single decibel value which takes into account the total sound energy over the period of time of interest [5].

L_{eq} noise levels are Logarithmic (dB) values and cannot be added directly [5].

There are also numerous factors that determine how much aircraft noise is experienced on the ground [6]: what model aircraft and what type of engines are being used for each flight? Are the aircraft taking off or landing? What is the flight path of the flights going overhead? How quickly does each plane ascend and descend? Is the aircraft operating at full power or partial power?

Noise experienced on the ground also depends on flight schedules, which can vary depending on the time of day, season of the year, or other operational factors. Weather also plays a large role, since sound attenuates (dissipates) differently depending on weather conditions (wind speed and direction, temperature, etc.) [6].

Determining how to capture the effects of all these considerations can become extremely complex very quickly. A house one-half mile north of an airport may experience very different aircraft noise exposure over a day, week, and year than a school one mile south of that airport [6].

The effects of noise on the human body. Aircraft noise is a public health issue. It can impact memory and learning in children, disturb sleep, and cause serious long-term health problems including cardiovascular disease. A large scale study around Heathrow Airport found that people living under the flightpath were 10–20% more at risk of stroke and heart disease than those not living under the flight path. There is also emerging evidence of impacts on mental health, linked to increases in stress and anxiety. A large body of health evidence is reviewed in AEF's 2016 report Aircraft Noise and Public Health: the Evidence is Loud and Clear. The World Health Organization (Europe Region) issued its Envi-

ronmental Health Guidelines in October 2018 which make specific health-based recommendations for limiting night and daytime exposure to aircraft noise [1].

To represent the effect of aircraft noise exposure on people, researchers in the 1960's and 1970's developed the concept of noise annoyance. This concept proved useful in understanding how communities felt about the noise from the new jet age aircraft. There are several factors that affect the extent of annoyance that noise causes. How loud is the noise? How long did it last? How often did the noise occur? When did the noise occur: was it during nighttime? Did the noise occur against a backdrop of other noises or did it occur in an otherwise quiet place [6]?

Annoyance. It is a cumulative measure of the general adverse reaction of people to noise that causes interference with speech, sleep, the desire for a tranquil environment, and the ability to use the telephone, radio, or television satisfactorily. The results from annoyance surveys can then be used to better understand how people respond to different types of noise exposure [6].

Cognitive impairment. There has been considerable research into the effect of aircraft noise on cognitive performance in school children, due to the interruptive nature of high levels of aircraft noise. Research has suggested effects on reading comprehension and memory. Cognitive performance affects attention, perception, mood, learning and memory [7].

Sleep disturbance. Aircraft noise is intermittent in nature and exposure to it during the night may result in sleep disturbance. Noise-induced sleep disturbance refers to awakenings, changes to sleep structure such as changes to sleep stages, arousals in heart rate, and body movements. People can be aware of such disturbance, such as when they remember being awoken by noise, or the disturbance can go unnoticed at the time but may result in next-day fatigue [7].

Cardiovascular disease. Aircraft noise at high levels can be considered a stressor on the body, and research has found an association between high levels of aircraft noise and an increased risk of developing Cardiovascular disease (CVD). It is thought that this occurs due to the way such stressors interact with the body, and the fact that

the cardiovascular response to noise does not decrease, even though the individual may no longer consciously notice or react to the noise. Cardiovascular disease includes all the diseases of the heart and circulation including coronary heart disease, angina, heart attack, congenital heart disease and stroke [7].

Ways to reduce the level of aviation noise

1. Land-use planning and management. It is an effective means to ensure that the activities nearby airports are compatible with aviation. Its main goal is to minimize the population affected by aircraft noise by introducing land-use zoning around airports [8].

Compatible land-use planning and management is also a vital instrument in ensuring that the gains achieved by the reduced noise of the latest generation of aircraft are not offset by further residential development around airports [8].

ICAO's main policies on land use planning and management are contained in Assembly Resolution A-41-20, Appendix F, which urges States, where the opportunity still exists to minimize aircraft noise problems through preventive measures, to [8]:

- a) locate new airports at an appropriate place, such as away from noise-sensitive areas;
- b) take the appropriate measures so that land-use planning is taken fully into account at the initial stage of any new airport or of development at an existing airport;
- c) define zones around airports associated with different noise levels taking into account population levels and growth as well as forecasts of traffic growth and establish criteria for the appropriate use of such land, taking account of ICAO guidance;
- d) enact legislation, establish guidance or other appropriate means to achieve compliance with those criteria for land use;
- e) ensure that reader-friendly information on aircraft operations and their environmental effects is available to communities near airports.

2. Improvement of aviation technologies.

The ICAO Assembly Resolution A41-20 requests the Council, with the assistance and cooperation of other bodies of the Organization and of other international organizations, to continue with vigor the work related to the development of

Standards, Recommended Practices and Procedures and/or guidance material dealing with the impact of aviation on the environment [9].

Annex 16 Volumes I, II and III contain the environmental certification standards that shall be observed by aircraft and engine designs. The development and update of the environmental certification Standards ensure that the benefits offered by technology are reflected in real reductions of aviation environmental impacts, while balancing environmental benefit with technological feasibility, economic viability, and the interdependency between environmental factors [9].

To foster the development of new technologies, ICAO regularly sets technology goals, with the purpose of providing targets for industry research and development, in cooperation with States. Once the State of the Art of technology reaches these goals, consideration is given to updating the ICAO Environmental Standards to ensure the latest technologies are incorporated into aircraft and engine designs [9].

Technological progress continues to push the aviation community to deliver on the ICAO goal of limiting or reducing the number of people affected by significant aircraft noise. ICAO continually monitors research and development in noise reduction technology, and this complements the Standard-setting process [10].

In its eleventh cycle (2016–2019), CAEP conducted an independent expert (IE) review to evaluate airplane noise goals by 2027 and 2037. More information on the IE review can be found in ICAO Doc 10127 (2019). The main IE conclusions regarding noise reduction technologies are as follows [10]:

- For modern large aircraft, Single Aisle and Twin Aisle, jet noise is a secondary noise source even at departure, with fan noise dominating. For smaller aircraft, business jets and small regional jets, the noise from the jet may still dominate at departure, as it does for many older aircraft. Jet noise has been reduced by reducing jet velocity to improve fuel burn, but because jet noise is now a secondary source, further improvements in fuel burn will not bring automatic substantial reductions in noise.

- A key technology for reducing fan noise is acoustic wall treatment, and liners in the inlet and

bypass duct provide essential attenuation. Work continues to improve liner performance, but the task of maintaining current levels of liner attenuation will be challenging, given the incentives to make the intake and bypass duct shorter in relation to diameter, and to reduce nacelle length for fuel burn reasons.

- Airframe noise is the largest noise source at approach for modern large aircraft, mostly from the landing gear. Potential airframe noise reductions are very dependent on aircraft category, design and operational characteristics, and the exploitation of this potential will be driven by multiple constraints.

- As engines get larger in relation to aircraft size, corresponding to lower fan pressure ratio, it becomes more important for the engine and the aircraft to be designed together as an integral unit. The optimization of the aircraft needs to include acoustic design as well as design for minimization of fuel burn and emissions.

The scope for noise technology reductions of the conventional tube and wing configuration, particularly in large aircraft, now appears to be limited, and the potential additional benefits of acoustic design optimization will need to be properly assessed. Novel configurations, or even some very advanced tube and wing configurations, may bring new noise reduction opportunities, but at the same time these will introduce significant challenges of different nature, which will also need to be addressed [10].

3. Involvement of the environmental community. As part of proper land-use planning and management, community engagement by airport operators and other aviation stakeholders is the key link between environmental stewardship and mitigating environmental constraints to aviation operation and growth. Recognizing the importance of community engagement, CAEP undertook a task in 2013 to collect case studies of airport outreach programmes around the world and developed an ICAO Circular in 2016 highlighting both lessons learned and good practices. The Circular, *Community Engagement for Aviation Environmental Management*, was developed to assist and encourage States and the aviation industry, in particular airports, airlines, and Air Navigation Service Providers, to engage local communities

early in airport development projects to address environmental matters [11].

The report *Environmental Community Engagement for Performance-Based Navigation* highlights the importance of effective community engagement and provides good practices that should be considered when undertaking airspace modernization. As a work item under the Committee for Aviation Environmental Protection (CAEP), the report was developed by garnering information from industry stakeholders as well as a detailed literature review and an assessment of ICAO State PBN Action Plans. It is intended to share and promote practices that have supported improved community understanding and effective airspace development. It serves as a reference point, complementing ICAO's Balanced Approach to Aircraft Noise Management, as the industry continues to modernize airspace in accordance with ICAO Global Air Navigation Plan (GANP) and Aviation System Block Upgrades (ASBU) [11].

4. Airspace planning. Controlling where planes fly during take-off and landing has an important impact on noise pollution. The placement and use of runways is fundamental, for example, planes travelling at night can travel overseas or lakes to reduce the impact of noise [12].

Air traffic management maps out flight tracks that avoid the most densely populated areas. Recent developments in navigation performance mean that aircraft can now follow precisely designated tracks. This avoids track spreading and the resulting 'spaghetti' radar flight track maps but can mean that a smaller number of residents are subjected to a higher number of flyovers. Air traffic management therefore needs to be undertaken in close consultation with community groups. Issues such as the relative benefits of track concentration versus track dispersion need to be considered [12].

The Figure 1 [19] shows airspace planning helps to avoid densely populated areas like London. His flight tracks really look like 'spaghetti'.

With support from the air navigation service providers and airport operators, airlines and pilots can implement noise reduction procedures, such as reduced thrust take-off, displaced

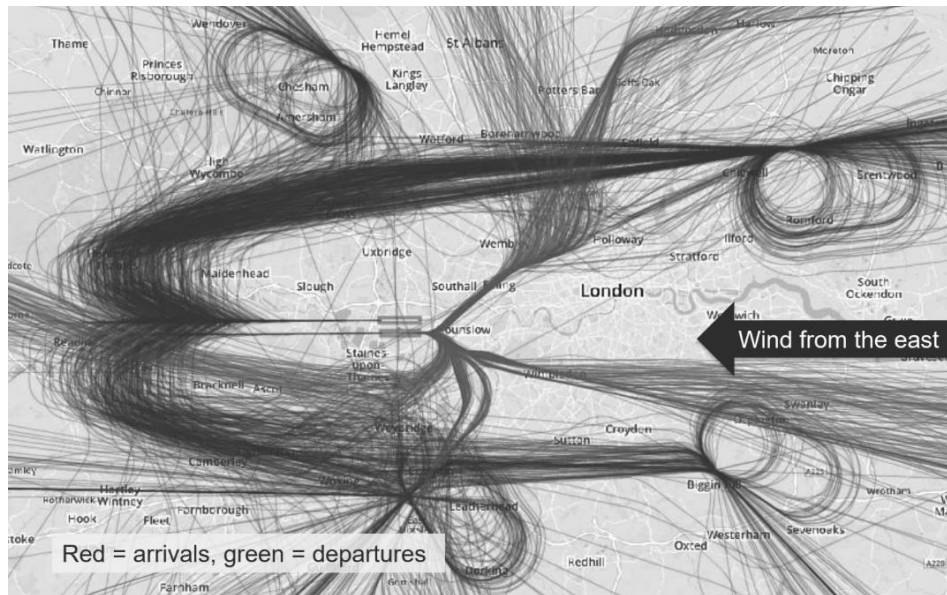


Fig. 1. This map shows a day of easterly operations flight tracks (Heathrow airport)

landing thresholds and continuous descent operations [12].

The problem of noise in the history of Heathrow Airport. As now, aircraft noise was a problem when the airport was opened.

Noise: In view of the major problems caused by aircraft noise it is quite extraordinary that there is no mention of noise anywhere in the files and the problem seems to have been entirely ignored. Colin Buchanan has commented on this strange omission and one can do no better than to quote him on this [13]:

“There were so many unbelievably noisy aircraft around in 1944 that it seems incredible that a so potent side-effect of aviation could have been overlooked. But overlooked it was. Heathrow was developed with a pair of parallel runways running due east-west pointing in one direction at point-blank range straight into the huge housing mass of West London and in the other direction, straight at Windsor only six miles away – Windsor of all places, historic town, royal residence, famous school, glorious stretch of river, parks and gardens beyond compare. Heathrow is fifteen miles from the middle of London. This comparatively close proximity to the heart of a big city has presumably paid dividends over the years in respect of reduced travelling time to and from the airport, but the misery which the flight paths have spread, also over many years, far and wide over

a huge part of London and the Home Counties, must surely make that decision in 1943 the most disaster planning disaster to hit our country.

In this disaster area live half a million people, whose daily lives are constantly disrupted by aircraft noise. The very layout of Heathrow is an affront to the rights and well-being of those who live under the air-port's flight paths. 'Tolerate or emigrate' are not options for these people or places. (Here are Windsor Castle, Hampton Cor, Chiswick Hose. Ke Gardens, Richmond Park, Syon Park and Osterley Park all historic and attractive places severely disturbed by overflying aircraft)" [13].

Aircraft noise consists of a build-up to a peak level, occurring at intervals, as opposed to the continuous but fluctuating noise from heavy traffic. The annoyance caused by aircraft depends on the peak perceived noise levels and on the number of aircraft heard within a given period [13].

The index used in this country (UK), until 1990, to define the annoyance was the so-called 'Noise and Number Index' (NNI) [13].

$$\text{NNI} = \text{Average peak noise level} + 15\log_{10}N - 80$$

Where N = number of aircraft heard in a defined period [14].

An exposure of 35 NNI corresponds to aircraft overflying at intervals of 15 minutes with intrusive levels of noise inside houses. 55 NNI

means aircraft flying overhead at intervals of 1–2 minutes at noise levels which can interfere with conversation within houses [14].

This index has since been replaced by the 'Equivalent Continuous Sound Level' (L_{eq}) with 57 L_{eq} , which represents the equivalent continuous sound level measured in A-weighted decibels' (dBA). The L_{eq} method of assessment averages out exposure to noise over a number of hours. On that basis a figure of 57dBA L_{eq} , which corresponds approximately to 35 NNI, is claimed to correlate to the onset of annoyance. Contours of noise exposure in terms of NNI or L_{eq} can be mapped out around an airport in a similar manner to the contour lines used on maps to signify differences in height (see below). An official committee set up to consider the problem of noise concluded, well before aircraft noise had become a widespread problem, that extensive annoyance is caused when the noise exposure exceeded 35 NNI and the noise became intolerable above the range 50–60 NNI. However, more recent research has brought this figure into question and this showed that [13]:

- For areas with L_{eq} less than around 43dBA, the proportion of respondents who were at least very annoyed was less than 12%.
- The proportion of respondents at least very annoyed generally increased with L_{eq} for values of L_{eq} over 43dBA, although there was a relatively large spread in percentages for most L_{eq} values.
- For areas with L_{eq} greater than 57dBA, more than 60% of respondents were at least very annoyed.

This more recent study showed that 50 dBA would be a more realistic figure to use as 60% of respondents were very annoyed at a noise level of 57dB. This should be compared with the 1990 study that gave a value of 57dB as merely the onset of annoyance. Perhaps not surprisingly the Department for Transport was very reluctant to see this report published. This difference of 7dB might suggest a difference of only 14% in noise levels but this is grossly misleading as the decibel is not a linear scale. It is in fact a logarithmic scale and a perceived noise level of 57dB is perceived by the human ear as being four times as loud as a level of 50dB [13].

It is estimated that 2.25 million people around Heathrow live within the 35 NNI contour which stretches from Maidenhead in the west to Fulham in the east. For those living close to the airport the situation is of course much worse and the Inspector reporting on the 4th Terminal Inquiry concluded that, "In my view the present levels of noise around Heathrow are unacceptable in a civilized society" [14].

The map (Figure 2) [15] shows the area affected by daytime noise in 1991, and as predicted for 2016 with and without a fifth terminal. This is a considerable improvement on the position 10 years earlier because of the introduction of less noisy aircraft. BAA claims that it will improve still more because of the introduction of what euphemistically calls 'quieter' aircraft even with the construction of a fifth terminal and the extra traffic that this would bring. However, even BAA must admit that some of these improvements would be negated if a fifth terminal were to be built. On its own figures, 560.800 people were adversely affected by aircraft noise in 1991. This would drop by 59 per cent to 231.800 by 2016 if a fifth terminal were not built, but only by 35 per cent to 363.400 with a fifth terminal [15].

Indeed, previously mentioned BBA's statement about the number of people who will get hurt by noise to 2016 can be claimed euphemistic, if it is not only idealistic.

In 2017 was published Survey of Noise Attitudes (SoNA) [16; 17] that was ordered by Department of Transport in 2014.

The overall aims of SoNA were to [16]:

- Obtain new and updated evidence on attitudes to aviation noise around airports in England, including the effects of aviation noise on annoyance, wellbeing and health.
- Obtain new and updated evidence on what influences attitudes to aviation noise, and how attitudes vary, particularly how attitudes vary with LA_{eq} , but also other non-acoustic factors that may influence attitudes, such as location and time of day, and socioeconomic group of respondents.
- Examine whether the currently used measure of annoyance, LA_{eq} , is the appropriate measure of annoyance for measuring the impact on people living around major airports.

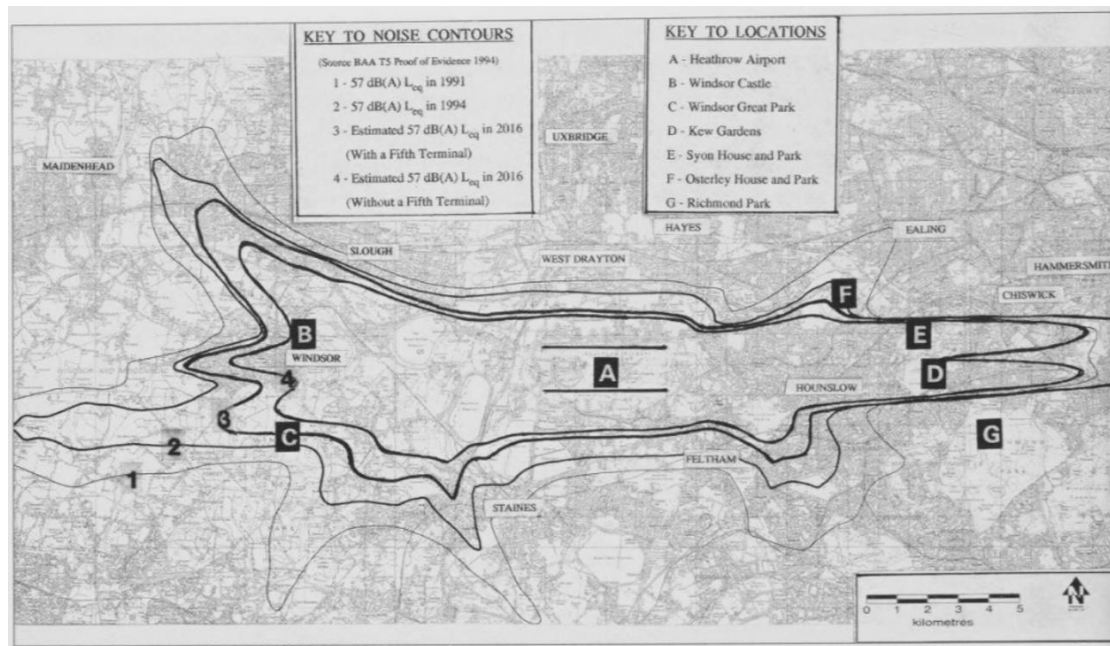


Fig. 2. Forecast of noise levels around Heathrow Airport from 1991 to 2016

- Consider the appropriateness of the policy threshold for significant community annoyance from aviation noise.

- Provide baseline results that can be used for a programme of regular surveys of attitudes to aviation noise.

In the UK has already been same research: Aircraft Noise Annoyance Studies (ANIS, 1982) and The Attitudes to Noise from Aviation Sources in England (ANASE, 2001–2007). Previous research has found the threshold in significant community annoyance 57dB L_{eq} . One of the SoNA's question was: is 57dB threshold correct for current requirements (in 2014).

SoNA's research result was: "The same percentage of respondents said by ANIS to be highly annoyed at 57dB $LA_{eq,16h}$ now occurs at 54dB" [16].

Table 1 [17] demonstrates increasing per cent of highly annoyed people in 1982 compared with 2014.

The Table 2 [18] was taken from Report: "Strategic Noise Maps for Heathrow Airport 2016".

Remember that BAA declared 363 400 people who will get hurt by the aircraft noise in 2016 if Terminal Five is built. Map (Figure 2) shows noise contour 57dB(A) L_{eq} , that noise level in 1991 was the threshold in significant community annoyance as ANIS confirmed. However, in 2016 this threshold is 54dB(A) L_{eq} . That mean populations in 246,600 (>57dBA) (Table 2) must be watched, not 533,000 (>54dBA) (Table 2). Thus, even if BAA get a little indulgence, all the same it mistakes on 100,000 people!

Probably some criticism or accusation BAA about noise level forecast in the future

Table 1
Percentage highly annoyed as a function average summer day noise exposure, $LA_{eq,16h}$

Average summer day noise exposure, $LA_{eq,16h}$ (dB)	% highly annoyed	
	ANIS 1982	SoNA 2014
51	3%	7%
54	5%	9%
57	9%	13%
60	14%	17%
63	23%	23%
66	34%	31%
69	48%	39%

Table 2

Heathrow 2016 annual $L_{Aeq,16hr}$ area, population and dwelling estimates

$L_{Aeq,16hr}$ (dBA)	Area (km ²)	Population	Dwellings
> 54	179.2	533.000	217.500
> 57	95.5	246.600	92.700
> 60	52.9	110.800	38.700
> 63	30.8	38.800	13.000
> 66	17.2	9.900	3.400
> 69	8.5	2.100	750
> 72	4.6	100	<50

is wrong, because they could not know about changes in noise standards (but they should suggest it). However, critics in 1991 had the right to do this. They saw a lot of times hypocrisy and crazy statements of aviation' spokesmen.

Results. The problem of noise pollution is real and it can't be perceived as an ordinary discomfort.

The annoyance is caused by the periodic noise of airplanes is considered to be a detriment to quality of life, well-being and ultimately, health. The World Health Organization's (WHO) definition of health is [16]:

"Health is a state of complete physical, mental and social well-being, and not merely an absence of disease and infirmity".

Annoyance from any source represents a diminished state of well-being and noise is often referred to as the stressor that is implicated in a variety of responses [16].

The airport is responsible for aircraft noise. How airport is planned, location of runways, organization of airspace, use of "quieter" aircraft, traffic and type of aircraft, permission or prohibition of night flights, limitation of the annual number of takeoff and landing operations, etc. All these factors must be taken into account, and not only considered.

Bibliography:

1. Aircraft noise – Aviation Environment Federation. *Aviation Environment Federation*. URL: <https://www.aef.org.uk/what-we-do/noise/>.
2. Noise – Overview / Civil Aviation Authority. *Civil Aviation Authority*. URL: <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/noise/>.
3. Fundamentals of Noise and Sound. *Federal Aviation Administration*. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/basics.
4. Measuring and modelling noise / Civil Aviation Authority. *Civil Aviation Authority*. URL: <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/measuring-and-modelling-noise/>.
5. AirportWatch / Evidence on how the 57 L_{eq} noise contours for Heathrow fail to fully reflect aircraft noise impacts. *AirportWatch*. URL: <https://www.airportwatch.org.uk/2013/11/evidence-on-how-the-57-leq-noise-contours-for-heathrow-fail-to-fully-reflect-aircraft-noise-impacts/>.
6. Community Response to Noise. *Federal Aviation Administration*. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/community.
7. Aviation noise and health / Civil Aviation Authority. *Civil Aviation Authority*. URL: <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/aviation-noise-and-health/>.
8. Land-use Planning and Management. *ICAO*. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Land-use-Planning-and-Management-.aspx>.
9. Technology Goals and Standards. *ICAO*. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/technology-standards.aspx>.
10. Noise Reduction Technology. *ICAO*. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Noise-Reduction-Technology.aspx>.
11. Environmental Community Engagement for Performance-Based Navigation. *ICAO*. URL: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Community-engagement-for-aviation-environmental-management.aspx>.
12. Reducing noise. *Aviation: Benefits Beyond Borders*. URL: <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/reducing-noise/>.

13. Sherwood P. Heathrow: 2000 Years of History. History Press Limited, The, 2009. 160 p.
14. The history of Heathrow. Uxbridge : Hillingdon Libraries, 1993. 82 p.
15. Heathrow: 2000 Years of History in Old Photographs. Sutton Pub Ltd, 1999. 128 p.
16. Aircraft Noise and Annoyance: Recent findings. London : Civil Aviation Authority, 2018. 57 p.
17. Survey of Noise Attitudes 2014: Aircraft Noise and Annoyance, Second Edition. London : Civil Aviation Authority, 2021. 122 p.
18. Strategic Noise Maps for Heathrow Airport 2016. London : Civil Aviation Authority, 2018. 39 p.
19. This map shows a day of easterly operations flight tracks. *Heathrow: Welcome to Heathrow Airport / Heathrow*. URL: https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/local-community/noise/operations/wind direction/Easterly_Operations_Flight_Tracks.pdf

References:

1. Aviation Environment Federation. (2021, October 9). *Aircraft noise – Aviation Environment Federation*. Retrieved from <https://www.aef.org.uk/what-we-do/noise/> [in English].
2. *Noise – Overview / Civil Aviation Authority*. (2024, September 5). Retrieved from <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/noise/> [in English].
3. *Fundamentals of Noise and Sound*. (n.d.). Federal Aviation Administration. Retrieved from https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/basics [in English].
4. *Measuring and modelling noise / Civil Aviation Authority*. (2024, September 5). Retrieved from <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/measuring-and-modelling-noise/> [in English].
5. *AirportWatch / Evidence on how the 57 Leq noise contours for Heathrow fail to fully reflect aircraft noise impacts*. (2013, November 10). Retrieved from <https://www.airportwatch.org.uk/2013/11/evidence-on-how-the-57-leq-noise-contours-for-heathrow-fail-to-fully-reflect-aircraft-noise-impacts/> [in English].
6. *Community Response to Noise*. (n.d.). Federal Aviation Administration. Retrieved from https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/noise/community [in English].
7. *Aviation noise and health / Civil Aviation Authority*. (2024, September 5). Retrieved from <https://www.caa.co.uk/passengers-and-public/environment/noise/aviation-noise-and-health/> [in English].
8. *ICAO. Land-use Planning and Management*. (n.d.). Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Land-use-Planning-and-Management.aspx> [in English].
9. *ICAO. Technology Goals and Standards*. (n.d.). Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/technology-standards.aspx> [in English].
10. *ICAO. Noise Reduction Technology*. (n.d.). Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Noise-Reduction-Technology.aspx> [in English].
11. *ICAO. Environmental Community Engagement for Performance-Based Navigation*. (n.d.). Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Community-engagement-for-aviation-environmental-management.aspx> [in English].
12. *Aviation: Benefits Beyond Borders*. Reducing noise. Retrieved from <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/reducing-noise/> [in English].
13. Sherwood, P.T. (2009). *Heathrow: 2000 Years of History*. The History Press [in English].
14. Sherwood, P.T. (1993). *The history of Heathrow*. Twayne Publishers [in English].
15. Sherwood, P.T. (1999). *Heathrow: 2000 Years of History in Old Photographs*. The History Press [in English].
16. Civil Aviation Authority. (February 2018). *Aircraft Noise and Annoyance: Recent findings*. 57 p. [in English].
17. Civil Aviation Authority. (2021). *Survey of Noise Attitudes 2014: Aircraft Noise and Annoyance, Second Edition*. 122 p. [in English].
18. Civil Aviation Authority. (February 2018). *Strategic Noise Maps for Heathrow Airport 2016*. 39 p. [in English].
19. *Heathrow / Heathrow: Welcome to Heathrow Airport*. This map shows a day of easterly operations flight tracks. Retrieved from https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/local-community/noise/operations/winddirection/Easterly_Operations_Flight_Tracks.pdf [in English].

УДК 33:332.5:711

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.5>**Іщенко Наталія Федорівна,**

доктор філософії в галузі економіки, доцент,
доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3745-9742>
E-mail: nataliia.ishchenko@npp.nau.edu.ua

Скрипник Лілія Русланівна,

доктор філософії в галузі економіки, доцент,
доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7349-9496>
E-mail: liliia.skrypnyk@npp.nau.edu.ua

ПРИНЦИПИ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ ЗЕМЕЛЬ АЕРОПОРТІВ УКРАЇНИ

Анотація. Стаття присвячена аналізу й оцінюванню перспектив відновлення Міжнародного аеропорту «Миколаїв» після завершення військових дій. У роботі розглядаються можливі фінансові джерела, включаючи міжнародну допомогу, інвестиції приватного сектору та державні інвестиції, а також стратегічні напрями й програми для відновлення та розвитку аеропорту. Особлива увага приділена територіальному плануванню, включаючи інфраструктурні проєкти, розвиток прилеглих територій, екологічні ініціативи і співпрацю з місцевими громадами. Підкреслюється важливість інтеграції аеропортової інфраструктури з іншими елементами міського й регіонального розвитку, забезпечуючи ефективний доступ пасажирів і вантажів, що сприяло б економічному зростанню та соціальній стабільності регіону. Крім того, розглядається баланс між економічними, соціальними й екологічними аспектами, який є ключовим для сталого розвитку аеропортів і їх ефективного функціонування в довгостроковій перспективі. Зроблено акцент на важливості врахування міжнародного досвіду у сфері відновлення та розвитку аеропортів, що могло б значно підвищити ефективність проєктів реконструкції. Також аналізуються можливі виклики, пов'язані з відновленням інфраструктури в умовах післявоєнної стабілізації. Розглядається роль аеропорту як стратегічного вузла для стимулювання регіональної економіки та зміцнення зв'язків з міжнародними транспортними коридорами. Надано рекомендації щодо подальшого розвитку й модернізації аеропорту з урахуванням сучасних технологічних рішень та екологічних стандартів.

Ключові слова: інфраструктура, відновлення, модернізація, авіаційний транспорт, інновації, земельні ресурси, економічний розвиток.

Ishchenko Nataliia, Skrypnyk Liliia. PRINCIPLES OF TERRITORIAL LAND PLANNING OF AIRPORTS OF UKRAINE

Abstract. The article was dedicated to the analysis and assessment of the prospects for the restoration of Mykolaiv International Airport after the end of hostilities. The study considered potential sources of funding, including international aid, private sector investments, and state investments, as well as strategic directions and programs for the airport's recovery and development. Particular attention was paid to territorial planning, including infrastructure projects, the development of adjacent areas, environmental initiatives, and collaboration with local communities. The article emphasized the importance of integrating airport infrastructure with other elements of urban and regional development, ensuring efficient access for passengers and cargo, which would contribute to the region's economic growth and social stability. Additionally, it discussed the balance between economic, social, and environmental aspects, which was crucial for the sustainable development of airports and their effective long-term operation. The importance of considering international experience in the field of airport recovery and development was particularly highlighted, as it could significantly enhance the effectiveness of reconstruction projects. The article also analyzed

the possible challenges related to the restoration of infrastructure in the context of post-war stabilization. The role of the airport as a strategic hub for stimulating the regional economy and strengthening connections with international transport corridors was considered. Recommendations for further development and modernization of the airport, taking into account modern technological solutions and environmental standards, were proposed.

Key words: *infrastructure, restoration, modernization, air transport, innovations, land resources, economic development.*

Вступ. Аеропорти є важливою частиною транспортної інфраструктури будь-якої країни, забезпечуючи швидкий та ефективний зв'язок з іншими регіонами та країнами. В умовах сучасних викликів, пов'язаних із війною в Україні, питання територіального планування земель аеропортів набуває особливої актуальності. Зруйновані й пошкоджені аеропорти потребують не лише відновлення, а й переосмислення принципів їх територіального планування з урахуванням нових реалій.

Актуальність теми зумовлена необхідністю швидкого й ефективного відновлення аеропортів, що є критично важливими для економіки, безпеки та мобільності населення. Війна завдала значних збитків інфраструктурі, що ускладнює транспортну доступність і логістику. Тому виникає потреба в розробленні нових підходів до територіального планування, які б ураховували як безпекові аспекти, так і вимоги до сталого розвитку.

Сучасний стан земель аеропортів в Україні характеризується значними руйнуваннями й пошкодженнями інфраструктури, що призвело до зниження їхньої функціональної спроможності. Багато аеропортів зазнало руйнувань через військові дії, що викликало необхідність термінового відновлення та модернізації. Крім того, виникли нові виклики, пов'язані із забезпеченням безпеки, адаптацією до змін клімату й упровадженням інноваційних технологій.

Землі авіаційного транспорту мають особливе значення для розвитку країни, оскільки аеропорти забезпечують міжнародний і внутрішній транспортний зв'язок, сприяють розвитку туризму, торгівлі й бізнесу. Розвиток такої підкатегорії земель, як землі авіаційного транспорту, є критично важливим для економічного зростання, інтеграції в міжнародну економіку та підвищення мобільності населення. Ефективне територіальне пла-

нування земель аеропортів сприятиме оптимізації використання ресурсів, підвищенню рівня безпеки й комфортності для пасажирів, а також зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Метою дослідження є розробка й обґрунтування принципів територіального планування земель аеропортів України в умовах війни та післявоєнного періоду, які б сприяли ефективному відновленню і сталому розвитку цієї важливої інфраструктури.

Територіальне планування земель аеропортів є складною та багатогранною темою, що потребує врахування різних аспектів, таких як безпека, економічна ефективність, екологічна стійкість і соціальні чинники. У сучасних умовах війни й післявоєнного відновлення ця тема набуває особливої актуальності для України. Огляд літературних джерел дає змогу виявити основні напрями досліджень у цій галузі й визначити аспекти, які ще потребують вивчення. Зокрема, З. Го, Б. Лі, Г. Тейлор, С. Чжан досліджують упровадження електричних систем пропульсії в авіаційній галузі для досягнення цілей зниження викидів CO₂ в рамках програми «Flightpath 2050» [1]. Автори пропонують двоцільову структуру планування інфраструктури для мікроенергосистеми аеропорту, яка враховує електричні транспортні засоби й електричні літаки, а також оцінюють вплив стратегії V2G на економічну ефективність мікроенергосистеми аеропорту. І. Чжан, В. Вень, Л. Ван розробили модель оцінювання стійкості операційної мережі аеропорту під час грозової погоди, використовуючи модель передачі клітин (СТМ) [2]. Учені аналізують експлуатаційні дані аеропорту «Тяньцзінь Бінхай» і пропонують індекс стійкості для оцінювання ефективності мережі в умовах різних параметрів погоди.

К. Зуніга, Г. Бустен аналізують розвиток аеропорту «Керетаро» в Мексиці, підкреслю-

ючи необхідність створення аеропортового генерального плану (АМР) з довгостроковою стратегічною візією до 2040–2050 років [3]. Автори наголошують на важливості інтеграції міжнародних, національних і регіональних тенденцій, пов'язаних з авіацією, для сприяння економічному розвитку регіону. Ц. Цзя, Х. Ху, Ч. Ю досліджують оптимальне планування гібридної системи відновлюваної енергії для аеропортів, використовуючи модель на основі багатокритеріального прийняття рішень (MCDM) [4]. При цьому оцінюються різні стратегії експлуатації енергосистеми для досягнення оптимального масштабу відновлюваної енергії та енергозберігаючих пристроїв.

М. Маньковська, Д. Тлоцінський, М. Вах-Клосковська, Г. Булчак аналізують фактори, що визначають екологічну орієнтацію управління аеропортами в Польщі [5]. Автори виявляють, що фінансові бар'єри, незнання потенційних вигод і низький пріоритет екологічних практик є основними перешкодами для екологічного управління. Й. Віт аналізує нестабільність, що зростає, повітряного трафіку через конкуренцію на ринку авіаперевезень і зовнішні шоківі події, такі як пандемія COVID-19 [6]. Учений пропонує гнучке стратегічне планування аеропортів і диверсифікаційні стратегії для підвищення стійкості до таких шоків.

М. Аль-Гзаві, К. Ель-Райес розробляють методологію оптимізації планів поетапного розширення аеропортів з метою мінімізації збоїв у роботі аеропортів під час будівництва та зменшення вартості проектів [7]. М. Вальтерт, Е. Хіменес Перес, Р. Пальярі пропонують гнучку модель розширення пасажирських терміналів аеропортів, що враховує реальні варіанти розширення систем [8]. Вони показують, що така гнучкість створює фінансові переваги й підвищує ефективність планування.

Наукова література охоплює широкий спектр досліджень, пов'язаних із територіальним плануванням земель аеропортів, але деякі аспекти залишаються недостатньо дослідженими, а саме: питання впровадження нових стандартів безпеки для аеропортів

у контексті післявоєнного відновлення; особливості впливу територіального планування на місцеві громади й соціальні питання, такі як переселення та працевлаштування; упровадження екологічно чистих технологій і практик в аеропортах особливо в контексті відновлення після війни.

Отже, подальші дослідження мають зосередитися на інтеграції безпекових заходів, соціальних аспектах планування, екологічній стійкості й економічній ефективності для забезпечення комплексного підходу до відновлення та розвитку аеропортів в Україні в умовах війни й післявоєнного періоду.

Матеріали та методи. У ході написання статті використано різноманітні матеріали й наукові методи. Аналіз літератури включав огляд наукових статей, монографій та інших публікацій, що стосуються відновлення інфраструктури після військових конфліктів, зокрема досліджень з відновлення аеропортів у таких країнах, як Ірак і Сирія. Емпіричні дослідження базувалися на аналізі поточного стану Міжнародного аеропорту «Миколаїв» з використанням даних супутникових знімків і картографічних матеріалів, отриманих із платформи Google Earth. Оцінювання впливу війни на інфраструктуру аеропорту включала детальний огляд пошкоджень злітно-посадкових смуг, терміналів та інших об'єктів, проведений на основі фотоматеріалів і звітів місцевих органів влади.

Методи територіального планування використовували для розробки пропозицій щодо відновлення й розвитку аеропорту. Зокрема, проаналізовано функціональне зонування та інтеграції з транспортною інфраструктурою регіону, включаючи автомобільні й залізничні шляхи.

Результати. Територіальне планування впливає на функціонування аеропортів, забезпечуючи інтеграцію аеропортової інфраструктури з іншими елементами міського та регіонального розвитку. Правильне розміщення аеропортів з урахуванням транспортних коридорів забезпечує ефективний доступ пасажирів і вантажів, зменшуючи затори й час на під'їзди. Розвиток прилеглих територій, зокрема будівництво готелів, бізнес-центрів

і логістичних хабів, сприяє створенню робочих місць та економічному зростанню регіону. Водночас територіальне планування має враховувати екологічні аспекти й вплив на місцеве населення, зокрема шумове забруднення та забруднення повітря. Баланс між економічними, соціальними й екологічними аспектами є ключовим для сталого розвитку аеропортів і їх ефективного функціонування в довгостроковій перспективі [10].

Використання земельних ресурсів під час територіального планування аеропортів в Україні має особливості, які враховують технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти (таблиця 1).

Ці особливості відображають комплексний підхід до використання земельних ресурсів для створення функціонального і сталого аеропортового комплексу.

Принципи територіального планування земель аеропортів включають кілька ключо-

вих аспектів, спрямованих на забезпечення ефективності, безпеки і сталого розвитку (рис. 1).

Вищезазначені принципи спрямовано на створення ефективної, безпечної та екологічно стійкої аеропортової інфраструктури, яка відповідає потребам сучасного суспільства й забезпечує сталий розвиток регіону [10].

Міжнародний аеропорт «Миколаїв» (NLV) (рисунки 2–3) зазнав значних руйнувань унаслідок війни та потребує відновлення й розвитку. Цей аеропорт має стратегічне значення для регіону, оскільки забезпечує транспортні зв'язки з іншими частинами України та міжнародними напрямками.

Важливість відновлення, модернізації аеропорту важливо розглядати в контексті земельно-ресурсного потенціалу, який полягає в його здатності стимулювати економічний розвиток регіону, покращити тран-

Таблиця 1

Особливості використання земельних ресурсів під час планування й розвитку аеропортів в Україні

Особливості	Обґрунтування
<i>Зони безпеки й обмеження</i>	Установлення зон безпеки, які обмежують будівництво й інші види діяльності, що можуть створити загрозу безпеці польотів. Створення зон обмеження, які враховують висотні й інші обмеження для забезпечення безпеки польотів літаків.
<i>Оптимізація терміналів та інфраструктури</i>	Розташування термінальних комплексів та інших інфраструктурних об'єктів з урахуванням максимальної ефективності й забезпечення легкого доступу до них.
<i>Технічна інфраструктура</i>	Розташування злітно-посадкових смуг, таксівей, площадок для стоянки літаків та інших технічних зон для оптимальної організації руху й утримання літаків.
<i>Резервні й аварійні зони</i>	Забезпечення резервних та аварійних зон для можливості реагування на екстрені ситуації, такі як аварії чи надзвичайні події.
<i>Екологічні аспекти</i>	Урахування екологічних аспектів під час вибору місця для будівництва й експлуатації аеропорту. Запобігання негативному впливу аеропортової діяльності на природні ресурси й довкілля.
<i>Співпраця з місцевими органами та громадськістю</i>	Узгодження з місцевими органами влади й громадськістю для врахування місцевих інтересів та обмежень. Залучення громадськості до дискусій і рішень, пов'язаних із використанням земельних ресурсів.
<i>Транспортна інфраструктура</i>	Урахування потреб у зручному транспортному доступі до й від аеропорту. Забезпечення зручних парковок та інших транспортних об'єктів.
<i>Управління ризиками</i>	Урахування ризиків природних явищ (наприклад, повені, землетруси) і розташування аеропорту з урахуванням можливостей управління цими ризиками.
<i>Функціональне зонування</i>	Розподіл території аеропорту на функціональні зони відповідно до їхнього призначення (пасажирські, технічні, адміністративні).
<i>Землекористування: програми розвитку</i>	Планування й урахування можливостей для майбутнього розширення чи модернізації аеропорту.

Джерело: сформовано авторами.



Рис. 1. Принципи територіального планування земель аеропортів

Джерело: сформовано авторами

спортну доступність і забезпечити інтеграцію з національними й міжнародними транспортними мережами (таблиця 2). Відновлення та розвиток аеропорту сприятиме залученню інвестицій, створенню робочих місць і підвищенню якості життя населення.

Відновлення інфраструктури Міжнародного аеропорту «Миколаїв» після завершення військових дій є актуальним і досяжним завданням, яке потребує комплексного підходу й залучення різних фінансових джерел. Одним із ключових джерел фінансування може стати міжнародна допомога, яка включає гранти, кредити на вигідних умовах та інвестиції в інфраструктурні проєкти. Така допомога може бути надана міжнародними організаціями й урядами інших країн, зацікавленими в стабілізації та відновленні України.

Значний потенціал для фінансування реконструкції мають також інвестиції приватного сектору. Відновлення економіки й політична стабілізація створять сприятливі умови для залучення приватних інвесторів, які можуть інвестувати в розвиток інфраструктури Міжнародного аеропорту «Миколаїв», логістичних центрів і комерційних зон. Упровадження механізмів публічно-приватного партнерства дасть змогу ефективно поєднати державні та приватні ресурси для досягнення спільних цілей [12].

Стратегічним напрямом у реалізації цих завдань є створення національної програми відновлення транспортної інфраструктури, яка передбачатиме конкретні заходи, терміни виконання й джерела фінансування. Важливими складниками такої програми можуть бути реконструкція злітно-посадкових смуг,



Рис. 2. Схема (план) МА «Миколаїв» з відображенням прилеглих територій (програмне забезпечення QGIS)



Рис. 3. Місце розташування МА «Миколаїв» (сателітний знімок – платформа Google Earth) [11]

терміналів, під'їзних доріг Міжнародного аеропорту «Миколаїв», а також упровадження сучасних технологій і матеріалів для підвищення ефективності й безпеки. Додатково розвиток комерційних зон навколо аеропорту, залучення міжнародних авіакомпаній і реалізація екологічних ініціатив сприятимуть підвищенню не лише привабливості аеропорту, а і його стійкості й екологічній безпеці [13].

Важливою умовою успішного відновлення Міжнародного аеропорту «Миколаїв» є підтримка місцевих громад. Залучення місцевого населення до процесів реконструкції створить нові робочі місця, підвищить рівень життя та сприятиме соціальній стабільності. Надання громадських консультацій дасть змогу врахувати потреби й побажання місцевих жителів, що забезпечить їхню підтримку та мінімізує

Таблиця 2

Обґрунтування особливостей наявного стану територіального планування МА «Миколаїв» і перспективи розвитку

<i>Аспект</i>	<i>Обґрунтування</i>
<i>Аналіз наявного стану територіального планування</i>	
<i>Функціональна зональність</i>	Наразі аеропорт має основний термінал, злітно-посадкову смугу й декілька допоміжних об'єктів, які зазнали руйнувань. Відсутні розвинені комерційні та вантажні зони.
<i>Інтеграція з транспортною інфраструктурою</i>	Миколаївський аеропорт має обмежені транспортні зв'язки з містом та іншими регіонами. Потребує розширення й модернізації під'їзних доріг і розвитку громадського транспорту.
<i>Безпека й захист</i>	Унаслідок війни інфраструктура безпеки була пошкоджена. Необхідно відновити й модернізувати системи відеоспостереження та контролю доступу.
<i>Екологічна стійкість</i>	Потрібно розробити стратегії з управління шумом і зниження впливу на навколишнє середовище, зокрема управління водними ресурсами й озеленення території.
<i>Пропозиції та рекомендації для поліпшення</i>	
<i>Аспект</i>	<i>Обґрунтування</i>
<i>Розширення транспортної інфраструктури</i>	Розробити плани щодо покращення під'їзних доріг та інтеграції аеропорту із залізничною системою. Упровадити маршрути громадського транспорту для забезпечення доступності.
<i>Розвиток комерційних і вантажних зон</i>	Запровадити розвиток комерційних зон навколо терміналу, включаючи готелі, ресторани й бізнес-центри. Створити сучасний вантажний термінал для підтримки регіональної економіки.
<i>Відновлення й модернізація безпеки</i>	Відновити пошкоджені об'єкти безпеки, упровадити сучасні системи відеоспостереження й контролю доступу. Підвищити рівень безпеки відповідно до міжнародних стандартів.
<i>Екологічна стійкість</i>	Розробити програми щодо зниження шумового й повітряного забруднення. Упровадити сонячні панелі й інші відновлювані джерела енергії для забезпечення енергоефективності.
<i>Соціальна інтеграція</i>	Залучити місцеву громаду до відновлення аеропорту, створюючи робочі місця та сприяючи розвитку місцевого бізнесу. Проводити регулярні громадські слухання й надавати консультації.
<i>Довгострокове планування</i>	Розробити довгострокову стратегію розвитку аеропорту з урахуванням можливостей розширення терміналів і злітно-посадкових смуг, з огляду на прогнози зростання пасажиропотоку й вантажних перевезень.

Джерело: сформовано авторами за даними джерела [12; 13].

конфлікти. Таким чином, комплексний підхід до відновлення аеропорту із залученням міжнародної допомоги, приватних інвестицій та ефективним використанням державних ресурсів є реалістичним і забезпечує довгостроковий успіх для Міжнародного аеропорту «Миколаїв».

Висновки. Проведені дослідження дають можливість виділити основні аспекти територіального планування земель аеропортів, які необхідні в сучасних умовах їх відновлення.

Передусім необхідно звернути увагу на особливості використання земельних ресурсів під час планування й розвитку аеропортів, зокрема враховувати зони безпеки й обмеження, провести оптимізацію

технічної інфраструктури аеропортів, урахувуючи зарубіжний досвід, упроваджувати використання резервних та аварійних зон, забезпечити участь громадськості й органів місцевої влади відповідних регіонів, оскільки саме вони володіють достовірною інформацією щодо стану земель аеропортів у регіоні.

Ключовими принципами територіального планування земель аеропортів, які спрямовані на забезпечення сталого розвитку територій, є такі:

- оптимізація організації руху й оптимальне використання території аеропорту;
- взаємодія аеропортів з основними транспортними коридорами, автомобільними, залізничними (транспортний менеджмент);

- забезпечення використання буферних зон, які б сприяли забезпеченню належних умов для мінімізації впливу аеропорту на навколишнє середовище, управління шумовим і повітряним забрудненням;
- формування економічної гнучкості авіаційної галузі до економічних умов (інвестиційна діяльність, державно-приватне партнерство);
- забезпечення соціальної інфраструктури навколо аеропорту й соціально-економічного розвитку регіону загалом.

Щодо відновлення інфраструктури Міжнародного аеропорту «Миколаїв», то тут потрібний комплексний підхід, який буде враховувати розширення транспортної інфраструктури, відновлення безпеки й формування модернізаційних заходів щодо її дотримання, забезпечення екологічної стійкості регіону, економічного та соціального розвитку й інтеграції, а також розроблення стратегії щодо довгострокового планування використання земель аеропорту.

Список використаних джерел:

1. Al-Ghzawi M., El-Rayes K. Machine learning and multi-objective optimization methodology for planning construction phases of airport expansion projects. *Journal of Air Transport Management*. 2024. Vol. 115. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102550>.
2. Guo Z., Li B., Taylor G., Zhang X. Infrastructure planning for airport microgrid integrated with electric aircraft and parking lot electric vehicles. *eTransportation*. 2023. Vol. 17. URL: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2023.100257>.
3. Jia Q., Hu H., Yu J. The model construction in airport renewable energy system scale planning based in Multi-Criteria Decision Making. *Energy Reports*. 2021. Vol. 7. Supplement 6. P. 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.068>.
4. Mańkowska M., Tłoczyński D., Wach-Kloskowska M., Bulczak G. Factors determining the implementation of green practices in airport management. The case study of Polish airports. *Journal of Air Transport Management*. 2023. Vol. 111. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102438>.
5. Waltert M., Jimenez Perez E., Pagliari R. Flexible facility requirements for strategic planning of airport passenger terminal infrastructure. *Transportmetrica A Transport Science*. 2024. <https://doi.org/10.1080/23249935.2023.2287502>.
6. Wit J. de. Black swans or gray rhinos on the runway? The role of uncertainty in airport strategic planning. The Air Transportation Industry. Ed. by R. Macário, E. Van de Voorde. *Elsevier*. 2022. P. 225–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91522-9.00005-1>.
7. Zhang Y., Wen W., Wang L. Resilience assessment of airport aircraft area network operations under thunderstorm weather. *Journal of Air Transport Management*. 2024. Vol. 119. P. 102656. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102656>.
8. Zuniga C., Boosten G. Queretaro Airport Business model. Proposal to update the Airport Master Plan. *Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 56. P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.002>.
9. Проект Плану відновлення України. 2022. URL: https://uploads-ssl.webflow.com/625d81ec8313622a52e2f031/62c19ac16c921fc712205f03_NRC%20Ukraine%27s%20Recovery%20Plan%20blueprint_UKR.pdf.
10. Новаковська І.О., Скрипник Л.Р. Екологобезпечне використання земель авіаційного транспорту : монографія. Київ, 2020. 212 с.
11. Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/search>.
12. Modernizing Ukraine's Transport and Logistics Infrastructure. 2022. URL: <https://www.csis.org/analysis/modernizing-ukraines-transport-and-logistics-infrastructure>.
13. Airport planning standards (New York, New Jersey). 2018. URL: <https://www.panynj.gov/business-opportunities/pdf/panynj-terminal-planning-guidelines.pdf>.

References:

1. Guo, Z., Li, B., Taylor, G., & Zhang, X. (2023). Infrastructure planning for airport microgrid integrated with electric aircraft and parking lot electric vehicles. *eTransportation*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2023.100257> [in English].
2. Zhang, Y., Wen, W., & Wang, L. (2024). Resilience assessment of airport aircraft area network operations under thunderstorm weather. *Journal of Air Transport Management*, 119, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102656> [in English].

3. Zuniga, C., & Boosten, G. (2021). Queretaro Airport Business model. Proposal to update the Airport Master Plan. *Transportation Research Procedia*, 56, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.002> [in English].
4. Jia, Q., Hu, H., & Yu, J. (2021). The model construction in airport renewable energy system scale planning based in Multi-Criteria Decision Making. *Energy Reports*, 7 (Supplement 6), 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.068> [in English].
5. Mańkowska, M., Tłoczyński, D., Wach-Kloskowska, M., & Bulczak, G. (2023). Factors determining the implementation of green practices in airport management. The case study of Polish airports. *Journal of Air Transport Management*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102438> [in English].
6. Wit, J. de. (2022). Black swans or gray rhinos on the runway? The role of uncertainty in airport strategic planning. In R. Macário & E. Van de Voorde (Eds.), *The Air Transportation Industry* (pp. 225–245). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91522-9.00005-1> [in English].
7. Al-Ghzawi, M., & El-Rayes, K. (2024). Machine learning and multi-objective optimization methodology for planning construction phases of airport expansion projects. *Journal of Air Transport Management*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102550> [in English].
8. Waltert, M., Jimenez Perez, E., & Pagliari, R. (2024). Flexible facility requirements for strategic planning of airport passenger terminal infrastructure. *Transportmetrica A Transport Science*. <https://doi.org/10.1080/023249935.2023.2287502> [in English].
9. Projekt Planu vidnovlennia Ukrainy [Project of the Recovery Plan of Ukraine]. (2022). Materialy robochoi hrupy «Vidnovlennia ta rozbudova infra-struktury» [Materials of the working group “Restoration and development of infrastructure”]. Kyiv: National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War. 155 p. [in Ukrainian].
10. Novakovska, I.O., & Skrypnyk, L.R. (2020). *Ekolohobezpechne vykorystannia zemel aviatsiinoho transportu [Ecologically safe use of aviation transport lands]*. Monograph. 212 p. [in Ukrainian].
11. Google Earth. (n.d.). Retrieved from <https://earth.google.com/web/search> [in English].
12. Modernizing Ukraine’s Transport and Logistics Infrastructure. (2022). Retrieved from <https://www.csis.org/analysis/modernizing-ukraines-transport-and-logistics-infrastructure> [in English].
13. Port Authority of New York and New Jersey. (2018). Airport planning standards. Retrieved from <https://www.panynj.gov/business-opportunities/pdf/panynj-terminal-planning-guidelines.pdf> [in English].

УДК 528.4

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.6>**Коваленко Людмила Олександрівна,**

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
дорожньо-будівельного факультету,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 62002, Україна
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3829-3131>
E-mail: rp@khadi.kharkov.ua

ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. У статті детально розглянуто виконання топографо-геодезичних робіт і вишукувань, які є важливим складником усіх будівельних процесів. Геодезичні роботи надають інформацію щодо правильного розташування будівель, доріг, комунікаційних систем та інших інженерних об'єктів у просторі з високою точністю й з урахуванням усіх геометричних параметрів.

Розглянуто проведення зйомки ділянки автомобільної дороги й закріплення опорно-геодезичної мережі з використанням сучасного високоточного електронного тахеометра. Прилад обладнаний модулем віддаленого зв'язку, який отримує повідомлення про доступні оновлення внутрішнього програмного забезпечення. Під час топографічної зйомки використана мережа активних базових станцій ТОВ «Систем Солюшнс» (м. Київ). Мережа Real Time Kinematic дала змогу отримувати поправки до вимірювань і встановлювати місце розташування із сантиметровою точністю в режимі реального часу. Результати знімання подано у вигляді векторної цифрової моделі місцевості, у якій визначено всі дані за планом наявної дороги та її профілем із високою точністю.

Розглянута в статті технологія виконання геодезичних робіт може бути застосована під час капітального ремонту автомобільних доріг і виконання інших будівельних робіт. У результаті виконання топографо-геодезичних робіт отримують топографічні плани, які можуть бути використані для широкого переліку цілей, таких як розвідка територій, планування будівництва, військові операції, розробка місцевих планів, і в інших галузях, де потрібна детальна геодезична інформація.

Ключові слова: топографо-геодезичні роботи, інженерні об'єкти, геодезичні прилади, опорні геодезичні мережі, глобальна система позиціонування, цифрова модель місцевості.

Kovalenko Liudmyla. TECHNOLOGY FOR PERFORMING TOPOGRAPHIC AND GEODETIC WORKS DURING THE OVERHAUL OF A ROAD SECTION

Abstract. The article discusses in detail the performance of topographic and geodetic works and surveys, which are an important part of all construction processes. Geodetic surveys provide information on the correct location of buildings, roads, communication systems and other engineering facilities in space with high accuracy and taking into account all geometric parameters.

The article considers the surveying of a road section and the establishment of the geodetic network using a modern high-precision electronic total station. The instrument is equipped with a remote communication module that receives notifications of available internal software updates. A network of active base stations from System Solutions LLC (Kyiv) was used for the topographic survey. The Real Time Kinematic network made it possible to receive corrections to the measurements and determine the location with centimeter accuracy in real time. The results of the survey are presented in the form of a vector digital terrain model, in which all data on the plan of the existing road and its profile were determined with high accuracy.

The technology of geodetic works discussed in the article can be applied in the process of major repairs of roads and other construction works. As a result of topographic and geodetic works are obtained topographic plans, which can be used for a wide range of purposes, such as territory exploration, construction planning, military operations, development of local plans and in other areas where detailed geodetic information is required.

Key words: topographic and geodetic works, engineering facilities, geodetic instruments, geodetic reference networks, global positioning system, digital terrain model.

Вступ. Інженерно-геодезичні роботи – це комплекс вимірювань, спрямованих на отримання точних геодезичних даних про місцевість або територію для подальшого проектування, будівництва чи реконструкції інженерних споруд та інших об'єктів [1; 2].

Топографо-геодезичні роботи й вишукування є важливим складником будь-якого будівельного процесу, оскільки надають ключову інформацію правильного розташування будівель, доріг, комунікаційних систем та інших інженерних об'єктів у просторі з високою точністю й з урахуванням усіх геодезичних параметрів [3; 4]. Геодезичні параметри включають різноманітні характеристики місцевості й об'єктів, які вимірюються та враховуються під час інженерно-геодезичних вишукувань. Основні геодезичні параметри включають таке:

- координати: географічні координати точок на землі визначають їх положення в просторі. Координати можуть бути виражені у форматі широти, довготи й висоти над рівнем моря;

- рельєф: висотні дані, що описують зміни висоти місцевості. Вимірюються або моделюються для визначення характеру території, наявності схилів, гірських утворень тощо;

- горизонтальні й вертикальні відстані: вимірюються для визначення відстаней між точками на землі в горизонтальній і вертикальній площинах;

- кутові виміри: описують напрямок та орієнтацію об'єктів або точок у просторі;

- геодезичні маршрути: траскторії або лінії, які вказують шлях між точками на землі й можуть бути використані для побудови доріг, магістралей чи інших інженерних споруд;

- геодезичні мережі: системи взаємопов'язаних геодезичних точок, які використовуються для вимірювань та обчислень у різних інженерних проектах.

Матеріали та методи. Геодезичні вимірювання проводять сертифіковані фахівці – інженери-геодезисти. У процесі вимірювань геодезисти використовують різноманітні прилади й технології (наприклад, тахеометри, нівеліри, GPS-приймачі, лазерні вимі-

рювальні прилади, електронні сканери тощо) для збирання даних про рельєф місцевості, межі земельної ділянки, геометрію будівельних об'єктів, їх місце розташування тощо [5; 6; 7]. Також важливо зазначити, що геодезичні параметри можуть бути виміряні й використовувані в різних системах вимірювань, таких як:

- геодезична система координат (далі – ГСК) – це система визначення координат, яка використовується для точного опису місцевості на землі. ГСК може бути глобальною (наприклад, WGS84 – світова геодезична система) або локальною (наприклад, координатна система, використовувана для певної країни або регіону);

- геодезичні координати: широта, довгота й висота певної точки стосовно обраної системи координат;

- геодезичні прив'язки – це відомі точки з відомими геодезичними координатами, що використовуються як посилання для вимірювань і створення геодезичних мереж;

- проєкції карт: геодезичні дані можуть бути перетворені за допомогою геодезичних проєкцій, що дає змогу представляти плоскі картографічні проєкції з географічних координат на площині.

Основою для виконання інженерно-геодезичних робіт є опорні геодезичні мережі [8; 9]. Державна геодезична мережа – це система геодезичних пунктів, яка охоплює територію держави й призначена для визначення географічних координат, висот, формування карт і забезпечення точних геодезичних даних для різноманітних цілей. Ця мережа є ключовим складником інфраструктури в галузі геодезії та картографії країни.

Геодезично-розмічувальна мережа – це система точок на місцевості, які виміряні й розмічені за допомогою геодезичних інструментів і методів з метою створення відповідної бази для визначення географічних координат, висот, рельєфу й інших геодезичних параметрів. Ця мережа використовується для проведення різноманітних геодезичних робіт, таких як картографування, будівництво, дослідження земельного ділянки, моніторинг змін у рельєфі тощо.

Геодезично-розмічувальна мережа складається з точок з відомими координатами й висотами, які зазвичай розташовані визначеним чином у просторі та зв'язані між собою за допомогою вимірювань, таких як тригонометричні спостереження, GPS (глобальна система позиціонування), нівелювання тощо. Ця мережа надає основу для подальших вимірювань і геодезичних обчислень, що використовуються в різних галузях геодезії та картографії.

Результати. Виконання топографо-геодезичних робіт розглянемо на прикладі геодезичного супроводу капітального ремонту ділянки автомобільної дороги в Донецькій області, роботи виконували у 2021 році. Схема розташування об'єкта показана на рисунку 1.

Закріплення опорно-геодезичної мережі та зйомка ділянки автомобільної дороги виконані електронним тахеометром Sokkia CX-105 і ГНСС-приймачем Sokkia GRX3, ділянка представлена у вигляді векторної цифрової моделі місцевості (ЦММ) [6; 11]. Згідно із ЦММ, визначено всі дані за планом наявної дороги та її профіль із високою точністю.

Безвідбивний електронний тахеометр SOKKIA CX-105 поєднує всі переваги попередніх моделей з унікальними техніч-

ними інноваціями. Електронний тахеометр SOKKIA CX-105 узяв усе найкраще від попередніх серій (таких як SET550RX, SET530RK3, SET530R тощо) і наповнений останніми технічними досягненнями та передовими технологіями. Маючи найкращий у своєму класі далекомір REDtech Technology Reflectorless EDM, тахеометр SOKKIA CX-105 може міряти відстані до 5000 м на одну призму та до 500 м у безвідбивному режимі з великою швидкістю й точністю [7; 13].

Безвідбивний тахеометр SOKKIA CX-105 обладнаний модулем віддаленого зв'язку TSshield, який дистанційно забезпечує безпеку інструменту й отримує повідомлення про доступні оновлення внутрішнього програмного забезпечення. Швидка зміна налаштувань у роботі здійснюється за допомогою однієї клавіші на клавіатурі, а швидкий вимір виконується за допомогою клавіші, яка розташована на бічній панелі інструмента. Завдяки цьому є можливість виконувати вимірювання, не відриваючись від окуляра й не втрачаючи візуального контролю мети. Бездротовий модуль Bluetooth™ першого класу з функцією LongLink дає змогу працювати з тахеометром SOKKIA CX-105 на відстані 300 м.

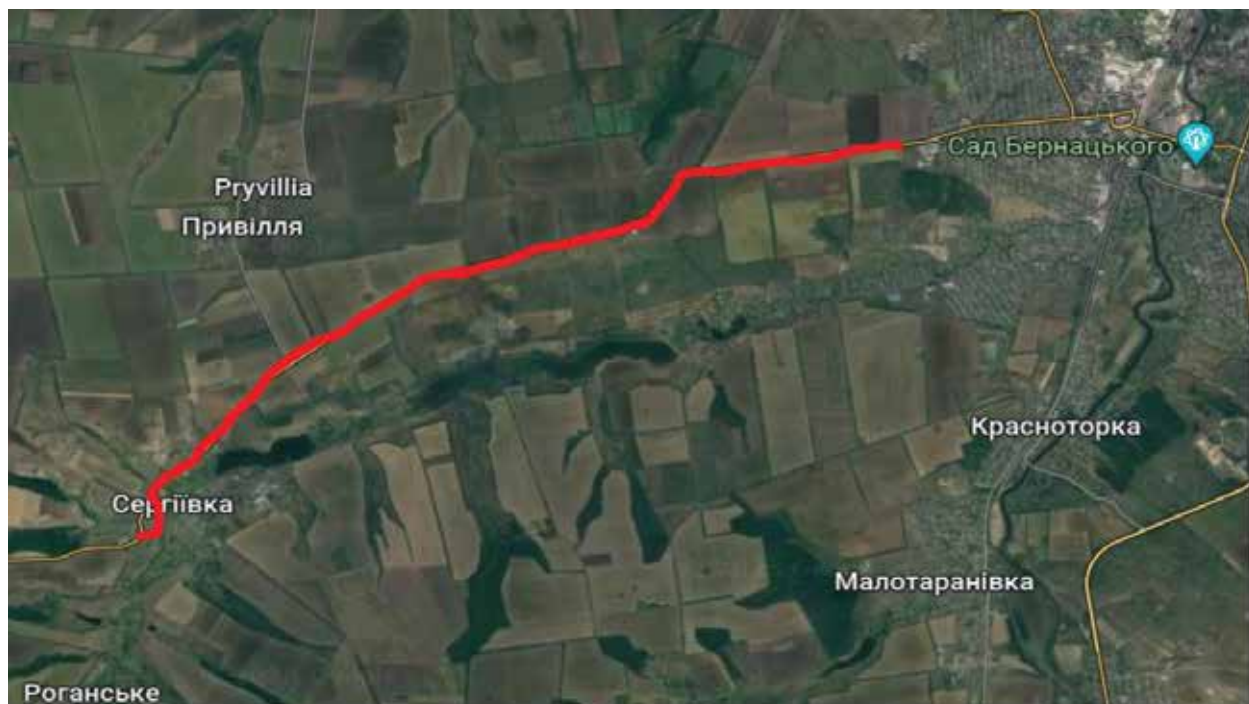


Рис. 1. Схема розташування об'єкта [10]

Основні етапи топографічного знімання включали таке:

- планування й підготовку до знімання: визначення ділянки знімання, вибір методів та інструментів, попередні вимірювання й планування робіт;
- збір даних: проведення аерофотознімання для отримання геодезичних даних і зображень земельної поверхні;
- обробку даних: обробку отриманих даних для створення цифрових моделей рельєфу, відтворення карт та іншої інформації;
- виготовлення планів: створення й редагування топографічних планів на основі оброблених даних.

Під час топографічної зйомки використана мережа активних базових станцій

GNSS System.NET TOB «Систем Солюшнс» (м. Київ) GNSS System.NET. Мережа RTK (Real Time Kinematic) дає змогу користувачам отримувати поправки до вимірювань і встановлювати місце розташування із сантиметровою точністю в режимі реального часу за допомогою GNSS-приймача в мережі постійно діючих референчних GNSS станцій [2; 7]. Виконання зйомки точок і передачу поправок показано на рисунках 2, 3.

RTK (Real-Time Kinematic – кінематика в реальному часі) – метод зйомки, за яким робиться запит, щоб мобільний приймач практично миттєво визначав координати свого поточного розташування із сантиметровою точністю [1; 12; 13].

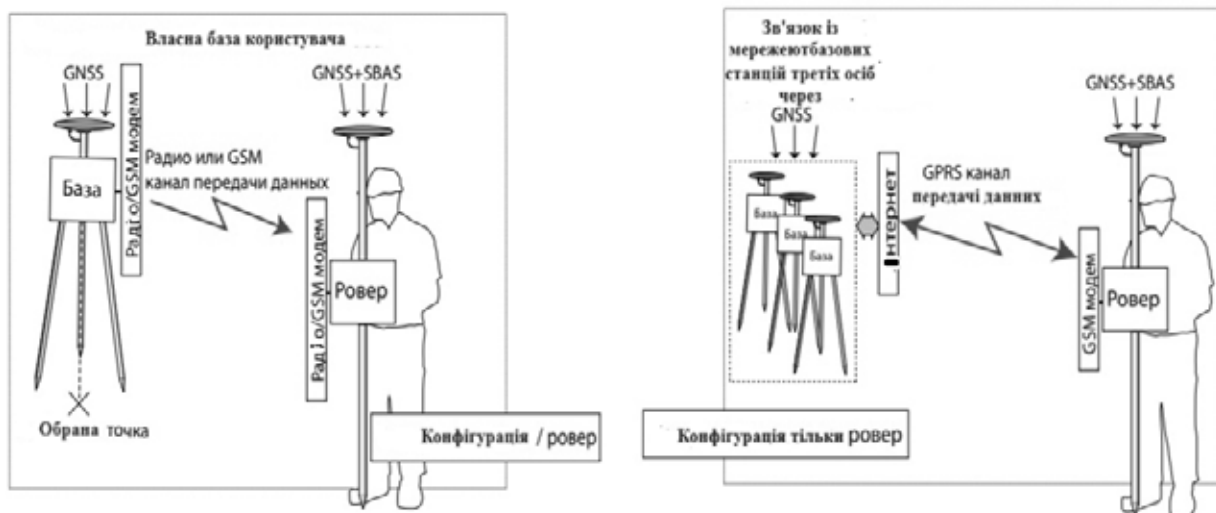


Рис. 2. Передача поправок [9]

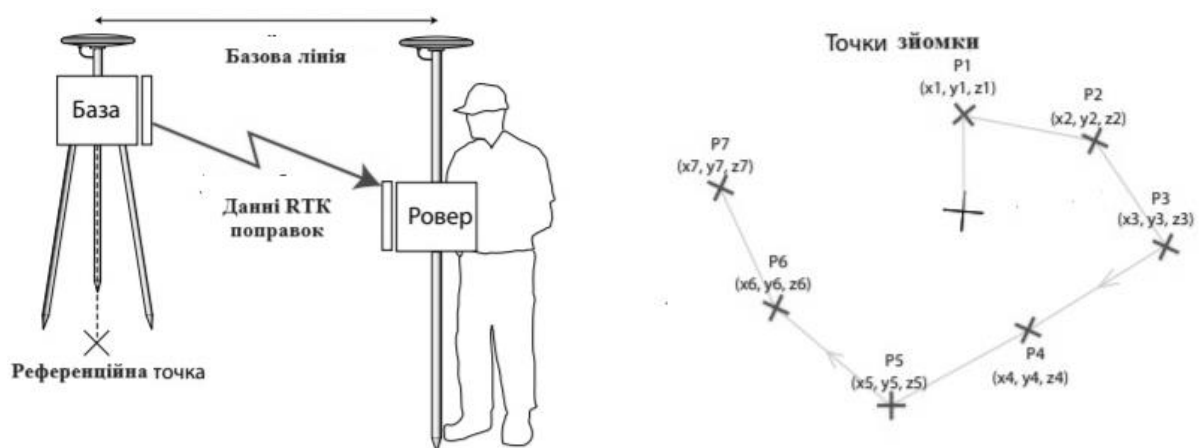


Рис. 3. Виконання зйомки точок [9]

Використовуються два приймачі: один (база) встановлюється на вибраному пункті, тоді як інший (ровер) використовується для зйомки.

База може бути такою:

- власна база з UHF радіомодемом, або GSM модемом, або іншим зовнішнім пристроєм для передачі поправок;
- належить третій особі, яка управляє базою або мережею базових станцій (з'єднання відбувається за допомогою NTRIP протоколу) і надає дані роверу через GSM/GPRS модем.

Для передачі RTK поправок базового приймача (бази) до ровера має бути встановлений канал передачі.

Передача даних може бути здійснена кількома способами:

- UHF радіо;
- стільниковий модем (GSM, GPRS чи CDMA);
- інші зовнішні пристрої (такі як Wi-Fi тощо).

Успішна зйомка вимагає ініціалізації системи та збереження ініціалізації протягом усієї зйомки.

Можливо кілька одночасно працюючих роверів, причому кожен отримує дані RTK поправок від тієї самої бази.

Визначення й реєстрація координат пунктів здійснюється у вибраній системі координат.

Основні правила під час виконання зйомки точок такі:

- перед початком роботи необхідно переконатися, що ровер отримує положення RTK (ініціалізація повинна бути досягнута й підтримуватися);
- антенну вішку необхідно утримувати вертикально на кожному пункті зйомки (якщо не використовується приймач із компенсацією нахилу);
- час зйомки на кожному пункті встановлюється користувачем (кількість точок);
- протягом узяття відліків ровер усереднює послідовні положення, які він обчислює;
- при різній кількості точок ровер реєструє лише перше положення, яке він обчислює на цьому пункті (немає усередненого положення).

При зйомках в реальному часі ініціалізація системи вважається досягнутою, коли система отримала фіксоване рішення RTK для будь-якого нового положення, яке вона обчислює. Потрібно завжди бути впевненим, що цей статус ініціалізації підтримується до кінця зйомки. Тому це природно, що в режимі RTK необхідно бути впевненим, що процес ініціалізації був успішним. Якщо губиться статус RTK становища, то маєтись на увазі, що система втратила ініціалізацію і її необхідно відновити.

У зйомках з постобробкою є та сама потреба в ініціалізації, за винятком того, що в реальному часі система не завжди здатна повідомити, що ця вимога виконана. Потрібно враховувати, що при цьому методі зйомки система – тільки збирач сирих даних. Тільки згодом, повернувшись назад до офісу для здійснення постобробки сирих даних, аналізуючи повний набір результатів зібраних даних, можемо з'ясувати, чи була успішною ініціалізація.

У геодезичній RTK системі канал передачі використовується для передачі RTK поправок від бази до ровера. Канал може бути одним із таких двох типів:

- автономний: користувач має повний контроль над формуваннями передачі RTK поправок (обладнання використовується в конфігурації бази/ровера);
- мережевий: користувач повинен звернутися до третьої сторони, мережного провайдера для отримання RTK поправок (обладнання використовується лише в конфігурації ровера).

Представлено два основні способи передачі даних, доступних у геодезичних системах:

- радіо (автономний);
- мобільні комунікації.

Ключові терміни й вирази:

- вік поправок: дорівнює проміжку часу, що протікає між часом поправок, що генеруються на базі, і часом, коли вони фактично використовуються для отримання координат RTK в ровері, якість поправок зменшується зі збільшенням їхнього віку;
- CSD (Circuit Switched Data – технологія передачі даних для мобільних телефонів).

Оригінальна форма передачі даних, що розвивається для TDMA (Time Division Multiple Access – множинний доступ із поділом за часом), що базується на телефонних мобільних системах, подібних до GSM;

– GPRS (General Packet Radio Service – пакетний радіозв'язок загального користування). Сервіс мобільних даних, доступний користувачам модемів GSM (наприклад, стільникового телефону). Передача даних GPRS зазвичай оплачується за мегабайт переданих/отриманих даних, а передача даних через традиційне CSD підключення оплачується за час з'єднання щохвилини (незалежно від того, передає користувач дані чи ні);

– NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol – мережна передача RTCM поправок за допомогою Інтернет-протоколу). Протокол, використовуваний GNSS сервісом провайдерів, слугує передачі поправок від мереж референціальних станцій (баз). Серед добре відомих використовуваних NTRIP протоколів – VRS, MAC, FKP тощо.

У результаті топографічного знімання зазвичай отримують плани, що відображають усі показники ділянки автомобільної дороги, рельєф придорожньої смуги, ситуацію навколо дороги й інші характеристики місцевості. Топографічні плани й інша геодезична інформація використовуються для

обстеження автомобільних доріг, розробки проектів капітального ремонту та реконструкції доріг.

Висновки. Топографічне знімання як процес створення топографічних планів, що відображають рельєф та інші характеристики земельної поверхні й різноманітних інженерних об'єктів, широко використовується в будівництві. Топографічні плани включають та узагальнюють інформацію про ландшафт, рельєф, гідрографію, дороги, будівлі, межі земельних ділянок, ліси, поля й інші об'єкти, які є важливими для визначення географічних областей і планування в різних галузях.

Топографічне знімання включає вимірювання й реєстрацію різних параметрів земельної поверхні з використанням геодезичних і картографічних методів. Зазвичай воно виконується за допомогою аерофотознімання, лазерного сканування, геодезичних вимірювань на місці або комбінації цих методів. Розглянута в статті технологія виконання геодезичних робіт може бути застосована під час капітального ремонту автомобільних доріг і виконання інших будівельних робіт.

Топографічні плани можуть бути використані для різних цілей, таких як розвідка територій, планування будівництва, військові операції, розробка місцевих планів та інші галузі, де потрібна детальна географічна інформація.

Список використаних джерел:

1. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія : підручник / за заг. ред. Н.Л. Островського. 2-ге вид., випр. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 564 с.
2. Тельнов В.Г. Геодезія : навчальний посібник. Дніпро : НТУ, 2019. 317 с.
3. Войтенко С.П. Інженерна геодезія : підручник. Київ : Знання, 2012. 574 с.
4. Нормативно-правове забезпечення професійної діяльності : навчальний посібник / Л.М. Казаченко, А.Г. Батракова, В.М. Ряпукін та інші. Харків : ХНАДУ, 2019. 120 с.
5. Graham R., Koha A. Digital Aerial Survey: Theory and Practice / Whittles Publishing. Scotland, UK, 2002.
6. Bird P. An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. Vol. 4. № 3. Art. no. 1027. doi: 10.1029/2001GC000252, 1. 52.
7. Калинич І.В., Радиш І.П., Ваш Я.І. Електронні геодезичні прилади : конспект лекцій. Ужгород, 2021. 156 с.
8. Hofmann Wellenhof B. Physical Geodesy / B. Hofmann, Wellenhof, H. Morit. New York, 2005. 403 p.
9. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія : навчальний посібник. Ужгород, 2020. 248 с.
10. Державне агентство автомобільних доріг України : веб-сайт. URL: <https://ukravtodor.gov.ua/> (дата звернення: 10.09.2024).
11. Батракова А.Г., Кузьмін В.І. Інженерно-геодезичний моніторинг і контроль в будівництві. Частина І. Геодезичні роботи при будівництві мостових переходів : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2018. 116 с.

12. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Тревого І.С. Геодезичні прилади. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. 482 с.
13. Nadolinets L., Levin E., Akhmedov D. Surveying instruments and technology. Florida, 2017. 253 p.
14. Баран П.І. Інженерна геодезія : монографія. Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. 618 с.

References:

1. Ostrovskiy, A. L., Moroz, O. I., & Tarnavskiy, V. L. (2012). *Geodeziia: Pidruchnyk* [Geodesy: Textbook] (2nd ed.). Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky [in Ukrainian].
2. Telnov, V. G. (2019). *Geodeziia: Navchalnyi posibnyk* [Geodesy: Textbook]. Dnipro: NTU [in Ukrainian].
3. Voitenko, S. P. (2012). *Inzhenerna geodeziia: Pidruchnyk* [Engineering geodesy: Textbook]. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
4. Kazachenko, L. M., Batrakova, A. G., Riapuhin, V. M., & Arsenieva, N. O. (2019). *Normatyvno-pravove zabezpechennia profesiinoi diialnosti: Navchalnyi posibnyk* [Regulatory and legal support of professional activity: Textbook]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
5. Graham, R., & Koh, A. (2002). *Digital aerial survey: Theory and practice*. Whittles Publishing [in English].
6. Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4 (3), 1027 [in Ukrainian].
7. Kalynych, I. V., Rady, I. P., & Vash, Ya. I. (2021). *Elektronni geodezychni prylady: Konspekt lektsii* [Electronic geodetic instruments: Lecture notes]. Uzhhorod [in Ukrainian].
8. Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2005). *Physical geodesy*. Springer [in English].
9. Kalynych, I. V., Grynyk, G. G., & Nychvyd, M. R. (2020). *Geodeziia: Navchalnyi posibnyk* [Geodesy: Textbook]. Uzhhorod [in Ukrainian].
10. State Road Agency of Ukraine. (2024). *Official website*. Retrieved September 10, 2024, from <https://ukravrtdor.gov.ua/> [in English].
11. Batrakova, A. G., & Kuzmin, V. I. (2018). *Inzhenerno-geodezychnyi monitoring i kontrol v budivnytstvi, chastyna I. Geodezychni roboty pry budivnytstvi mostovykh perehodiv: Navchalnyi posibnyk* [Engineering-geodetic monitoring and control in construction, part I. Geodetic works during the construction of bridge crossings: Textbook]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
12. Shevchenko, T. G., Moroz, O. I., & Trevoga, I. S. (2009). *Geodezychni prylady* [Geodetic instruments]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky [in Ukrainian].
13. Nadolinets, L., Levin, E., & Akhmedov, D. (2017). *Surveying instruments and technology* [in English].
14. Baran, P. I. (2012). *Inzhenerna geodeziia: Monografiia* [Engineering geodesy: Monograph]. Kyiv: PAT «VIPOЛ» [in Ukrainian].

УДК 528.83

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.7>**Крячок Сергій Дмитрович,**

кандидат технічних наук, доцент

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5633-1501>E-mail: geodesist2015@gmail.com

Scopus-Author ID: 57204332476

Researcher ID: N-3061-2016

ЩОДО ЯКОСТІ ЗБОРУ ГАММА-КВАНТІВ НА МАРШРУТІ АЕРОЗНІМАННЯ З БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ТЕРИТОРІЇ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Анотація. Нині наукові й технічні досягнення значно розширили сферу застосування геодезичної науки в напрямі дистанційного зондування Землі для забезпечення достовірною геопросторовою інформацією різних сфер людської діяльності. Поява роботизованих дистанційних вимірювальних комплексів на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дає змогу виключити безпосередню участь людини під час виконання різноманітних небезпечних місій, однією з яких є розвідка й картографування територій радіаційного забруднення. Наразі для виконання цієї місії застосовують в основному БПЛА коптерного типу з рухливими детекторами. Такі детектори мають найменші габарити й вагу порівняно з іншими типами сенсорів. Перед виконанням місії необхідно виконати калібрування детектора для приведення його вимірів до поверхні забруднення. Метою статті є дослідження якості збору гамма-квантів полем зору рухливого детектора гамма-випромінювання на маршруті аерознімання з БПЛА. Для теоретичних досліджень прийнято такі припущення. Територія радіаційного забруднення є рівнинною місцевістю, яка вкрита тонким шаром радіоактивного пилу з рівномірним розподілом інтенсивності гамма-випромінювання. На території знаходяться локальні максимуми у вигляді точкових джерел гамма-випромінювання. У результаті проведених теоретичних досліджень отримано математичний апарат для визначення розмірів і площ зон, які відрізняються за якістю збору гамма-квантів на маршруті аерознімання з БПЛА території радіаційного забруднення з використанням гамма-детектора рухливого типу й поділяються на інформативні та малоінформативні зони. Одним із показників якості збору гамма-квантів може бути збільшення відношення площі сукупної інформативної зони до площі гамма-знімання. Наведено розрахунки розмірів і площ указаних зон на маршруті аерознімання довжиною 1 км, кута поля зору гамма-детектора з 90°, частоти збору гамма-квантів 1 Гц, швидкості БПЛА 10 м/с та висоти 30 м. Результати наведених досліджень можуть бути корисними для планування маршрутів гамма-знімання з БПЛА й аналізу якості виконаного аерознімання.

Ключові слова: БПЛА, радіаційне забруднення, аерознімання, гамма-детектор.

Kryachok Serhiy. TO THE QUALITY OF GAMMA QUANTUM COLLECTION ON THE ROUTE OF AERIAL SURVEYING FROM AN UNMANNED AIRCRAFT IN THE TERRITORY OF RADIATION CONTAMINATION

Abstract. Currently, scientific and technical achievements have significantly expanded the scope of geodetic science in the direction of remote sensing of the Earth to provide reliable geospatial information in various spheres of human activity. The appearance of robotic remote measuring complexes based on unmanned aircrafts (UAV) allows to exclude the direct participation of a person during the execution of various dangerous missions, one of which is reconnaissance and mapping of radiation contaminated territories. At present, helicopter-type UAVs with moving detectors are mainly used to perform this mission. Such detectors have the smallest dimensions and weight compared to other types of sensors. Before the mission, it is necessary to calibrate the detector to bring its measurements to the contamination surface. The purpose of the article is to study the quality of gamma quanta collection by the field of view of a mobile gamma radiation detector on the aerial survey route from a UAV. The following assumptions were adopted for theoretical research. The territory of radiation pollution is a flat area covered with a thin layer of radioactive dust with a uniform distribution of the intensity of gamma radiation. There are local maximums in the form of point sources of gamma radiation on the territory. As a result of theoretical studies, a mathematical apparatus was obtained for determining the sizes and areas of zones that differ in the quality of gamma quanta collection on the route of aerial photography from a UAV of the territory of radiation contamination using a mobile gamma detector and are divided into informative and uninformative zones. One of the indicators of the quality of gamma-quanta collection can be an increase in the ratio of the area of the total informative zone to the area of the gamma-shooting. Calculations of the sizes and areas of the specified zones on the aerial survey route

with a length of 1 km, a viewing angle of the gamma detector of 90° , a gamma quanta collection frequency of 1 Hz, a UAV speed of 10 m/s and a height of 30 m are given. The results of the above studies can be useful for planning gamma-shooting routes from UAVs and analyzing the quality of the performed aerial photography.

Key words: UAV, radiation pollution, aerial photography, gamma detector.

Вступ. За останні десятиліття розвиток цифрових та інформаційних технологій, елементної бази став поштовхом для створення аерокосмічних систем високої роздільної здатності для дистанційного зондування Землі, цифрового аерофотознімання та використання безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА), що значно розширило можливості й горизонти застосування геодезичної науки для забезпечення достовірною геопросторовою інформацією різних галузей економіки, науки, військової сфери та громадян, а також для розв’язання різноманітних інженерних завдань і прийняття управлінських рішень [1].

БПЛА належать до класу безпілотних апаратів і за своєю сутністю є роботизованими системами, які покликані передусім замінити людину під час виконання різноманітних місій, знайшли своє застосування в аеропортах. Відоме застосування БПЛА для діагностики стану аеродромного покриття, у тому числі визначення індексу його стану, інспекції вогнів точного заходу на посадку й системи посадки повітряних суден [2]. У статті [3] наведено розробку наземного роботизованого комплексу, який покликаний визначити відмітки покриття злітно-посадкової смуги аеропорту в режимі дистанційного ГІС/GPS-керування комплексом мобільних нівелірних роботів. Загалом аеропорт – це складний інфраструктурний об’єкт, який займає значні території, містить дороговартісні повітряні судна, обладнання та споруди. На його території переміщуються значні пасажиропотоки. Тому він може стати мішенню для терористичних атак навіть з використанням ядерної зброї малої потужності, оскільки наразі людство перебуває на межі її застосування терористичними режимами й угрупованнями. У такому разі в пригоді можуть стати БПЛА для розвідки та картографування наслідків її застосування.

Матеріали та методи. Людство має досвід застосування БПЛА для розвідки наслід-

ків витоку радіації через цунамі на атомній станції Фукусімі в Японії [4]. Систему дистанційного радіаційного моніторингу з використанням БПЛА використано на території зони відсудження навколо Чорнобильської АЕС [5].

Базовим літальним апаратом для розвідки й картографування територій радіаційного забруднення є БПЛА коптерного типу [5; 6; 7]. На рис. 1 показано приклад застосування октокоптера DJI Matrice, який здатен нести до 5 кг корисного навантаження [6].

Як сенсор радіаційного випромінювання на БПЛА використовуються в основному детектори рухливого типу, або спрямовані детектори.

Вони дають змогу визначати місцезнаходження джерела радіоактивного випромінювання за умови, що система виявлення або джерело рухається. Кут поля зору детектора ω відповідає значенню просторової роздільної здатності (рис. 2).

Ці детектори мають порівняно з іншими типами детекторів радіаційного випромі-

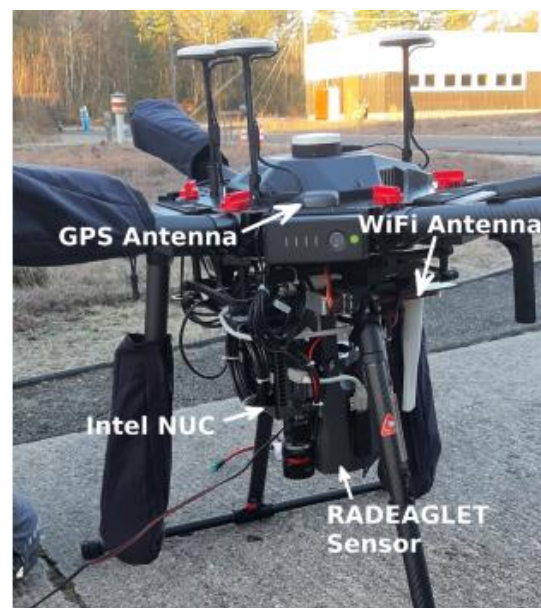


Рис. 1. Технічне оснащення БПЛА: GPS-приймач, WiFi, комп’ютер і детектор радіації [6]

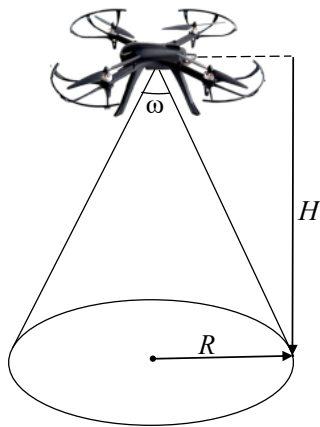


Рис. 2. Кут поля зору ω детектора, поле зору радіуса R на земній поверхні за висоти БПЛА H

нювання найменші габарити й вагу, а тому й застосовуються на БПЛА [8].

Перед застосуванням БПЛА для виконання місій з розвідки та картографування території радіаційного забруднення необхідно виконати калібрування детектора. Для цього або БПЛА зависає на кілька хвилин над джерелом радіаційного випромінювання відомої інтенсивності на малій висоті або використовують наявні на місцевості джерела радіоактивного випромінювання, інтенсивність випромінювання яких визначена наземним способом з використанням еталонованого дозиметра, для чого виконується політ БПЛА над калібрувальним майданчиком на відомій висоті, наприклад, 10 м. В обох випадках дані про інтенсивність випромінювання на основі частоти рахунку (числа відліків за секунду) детектора й обчисленої калібрувальної константи дають змогу перейти до потужності дози опромінення. Визначаються також висотний коефіцієнт для приведення визначених потужностей доз на висоті гамма-знімання з БПЛА до стандартної висоти одного метра над землею поверхнею [5; 9].

Для виконання аерознімання території радіаційного забруднення виконується планування польотів БПЛА над конкретною територією. Аерознімання виконується, як правило, прямолінійними галсами, а отримані дані про інтенсивність випромінювання й координати БПЛА передаються на наземну станцію через WiFi-з'єднання або по каналу радіозв'язку. На

наземній станції отримані дані вимірювань обробляються в режимі реального часу та візуалізуються за допомогою QGIS – Open Street Map, Google Earth або іншого картографічного програмного забезпечення. У підсумку отримують координатну інформацію про розподіл інтенсивності радіаційного випромінювання з лініями маршрутів БПЛА (рис. 3, а) чи карту місцевості з розподілом інтенсивності у вигляді ізоліній (рис. 3, б) [5; 10].

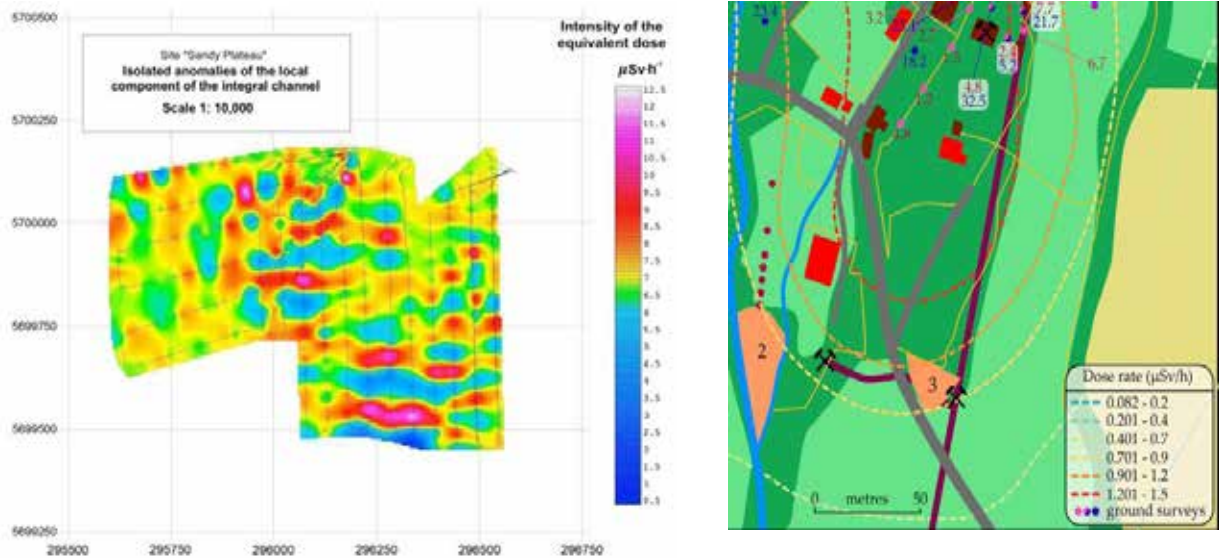
Гамма-випромінювання від природних і техногенних джерел є одним із найбільш проникних серед різновидів радіаційного випромінювання. Так, дальність дії гамма-променів природних радіонуклідів у повітрі становить близько 700 м [11]. Тому, як правило, саме на визначення інтенсивності гамма-випромінювання налаштовані детектори радіаційного випромінювання на БПЛА.

Метою статті є дослідження якості збору гамма-квантів полем зору рухливого детектора гамма-випромінювання на маршруті аерознімання з БПЛА.

Результати. Для теоретичного обґрунтування міркувань, наведених далі, прийнято такі припущення: територія гамма-знімання є рівнинною місцевістю, яка вкрита тонким шаром радіоактивного пилу з рівномірним розподілом інтенсивності гамма-випромінювання й містить локальні його максимумами у вигляді точкових джерел випромінювання.

Виконаємо аналіз збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж одного циклу гамма-знімання на маршруті польоту БПЛА. Під тривалістю циклу розуміється обернене значення частоти збору даних, заявленої виробником, стосовно інтенсивності гамма-випромінювання для конкретного типу детектора.

Нехай (рис. 4, а) у момент часу t_1 поле зору радіусом R детектора гамма-випромінювання, розташованого на БПЛА на висоті H , знаходиться в положенні O_1 , а його крайня точка G_1 – на межі АД території зондування. До моменту часу t_2 поле зору переміщується по земній поверхні вздовж напрямку G_1H_2 маршруту БПЛА. У момент часу t_2 його центр займе положення O_2 . За різницю часу $\Delta t = t_2 - t_1$, що відповідає тривалості циклу й швидко-



а – картограма розподілу інтенсивності радіаційного випромінювання [5]

б – карта місцевості з розподілом інтенсивності у вигляді ізоліній [11]

Рис. 3. Візуалізація результатів гамма-знімання за допомогою БПЛА

сті польоту БПЛА v , крайня точка поля зору G_1 переміститься в положення G_2 на відстань $a = v \cdot \Delta t$. На цю ж відстань переміститься центр O_1 і займе положення O_2 (за умови, що $a < R$). Під час переміщення поля зору за проміжок часу Δt виконується збір квантів гамма-випромінювання шляхом їх інтегрування [5] уздовж маршруту БПЛА на ділянці $G_1 - H_2$, причому за особливості роботи рухливого детектора радіаційного випромінювання збір гамма-квантів виконується сукупно з усього круга поля зору. Упродовж циклу визначаються координати БПЛА за допомогою GPS. Отримана в циклі інформація стосовно кількості зібраних гамма-квантів у вигляді числа відліків за секунду (counts per second) має координатну прив'язку до середини тривалості циклу – точки O – і передається з борту БПЛА на наземну станцію керування або записується на внутрішню пам'ять на борту БПЛА.

Якщо вважати за межі маршруту зондування прямокутник ABCD, то на кінцях маршруту утворюються «мертві» зони: AE_1G_1 , DG_1F_1 , BH_2E_2 , CF_2H_2 . У цих зонах буде відсутня інформація стосовно характеристик радіаційного випромінювання. Сукупна площа цих зон становитиме таке:

$$S_{MB} = 4 \left(R^2 - \frac{\pi R^2}{360^\circ} 90^\circ \right) = 4R^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right). \quad (1)$$

Якщо припустити, що поле зору детектора має розміри $G_1E_1E_2H_2F_2F_1$ і збір квантів виконується в статистиці (БПЛА зависає над землею поверхнею), то була б отримана достовірна інформація стосовно характеристик радіаційного випромінювання за цикл вимірювання. Однак збір квантів гамма-випромінювання в цій зоні буде виконуватися в динаміці, у процесі польоту БПЛА.

Зону $G_1E_1L_1K_2G_2K_3J_1F_1$ позначимо літерами ЗЗ (задня зона), а зону $L_1E_2H_2F_2J_1T_2H_1$ – літерами ПЗ (передня зона). У зоні ЗЗ, чим далі точка зони від дуги $L_1K_2G_2K_3J_1$ у напрямку, протилежному переміщенню БПЛА, тим менше часу окремі частини зони перебуватимуть у полі зору гамма-детектора за проміжок часу Δt . Те саме стосується й точок зони ПЗ, але в напрямку переміщення детектора стосовно дуги $L_1T_1H_1T_2J_1$. Інерційність роботи детектора призводить до запізнення реагування системи детектування на зміну інтенсивності випромінювання із земної поверхні (унаслідок наявності локального максимуму) під час переміщення поля зору детектора. Лише в зоні $G_2K_2L_1T_1H_1T_2J_1K_3$, яку позначимо

літерами ВЦ (велика центральна), усі точки місцевості, що входить до території радіаційного забруднення, за час Δt циклу будуть знаходитися в полі зору гамма-детектора, який зможе адекватно відреагувати на наявність локального максимуму в цій зоні.

Отже, більш якісно буде виконано збір квантів гамма-випромінювання саме в зоні ВЦ, що дає змогу отримати більш достовірну інформацію стосовно характеристик радіаційного випромінювання забрудненої території під час аерознімання з БПЛА порівняно із зонами ЗЗ та ПЗ. До останніх можна зарахувати дві менші за розмірами зони: $E_1E_2L_1$, $F_1J_1F_2$, які позначимо МБ (мала бічна). Отже, зону ВЦ можна вважати інформативною, а зони ЗЗ, ПЗ та МБ можна назвати малоінформативними у відносному розумінні. Площа всієї зони гамма-знімання $G_1E_1E_2H_2F_2F_1$ за один цикл складається з площі двох півкругів $G_1E_1K_2O_1K_3F_1$ та $E_2H_2F_2T_2O_2$ й прямокутника $E_1E_2T_1O_2T_2F_2F_1K_3O_1K_2$, дорівнює:

$$S_{Z_1} = R(\pi R + 2a). \quad (2)$$

Площа інформативної зони ВЦ складається з площ двох рівновеликих сегментів: $G_2K_2L_1O_1K_3$ та $L_1T_1H_1T_2J_1O$. Для її визначення необхідно обчислити кут β . З прямокутного трикутника L_1O_2O зрозуміло таке:

$$\beta = 2 \arccos \frac{a}{2R}. \quad (3)$$

Отже, площа інформативної зони ВЦ за один цикл гамма-знімання визначається за формулою:

$$S_{I_1} = S_{ВЦ} = R^2 \left(\frac{\pi\beta^\circ}{180^\circ} - \sin\beta \right). \quad (4)$$

Площі задньої ЗЗ та передньої ПЗ малоінформативних зон визначається як різниця площі круга радіуса R і зони ВЦ, а площа дорівнює таке:

$$S_{ЗЗ} = S_{ПЗ} = R^2 \left[\pi \left(1 - \frac{\beta^\circ}{180^\circ} \right) + \sin\beta \right] \quad (5)$$

Площу (рис. 4, б) малоінформативної підзони $E_1K_1E_2L_1$ (МБ) можна визначити з таких міркувань. Із формули (3) та рис. 4, б зрозуміло таке:

$$\frac{\beta}{2} = \arccos \left(\frac{a}{2R} \right), \quad (6)$$

$$b = \sqrt{R^2 - \frac{a^2}{4}}. \quad (7)$$

Площа сектора $O_1E_1L_1$ дорівнює $\frac{\pi R^2}{360^\circ} (90^\circ - \beta/2)$. Площу фігури $E_1K_1L_1$, що становить половину зони $E_1K_1E_2L_1$ (МБ), можна отримати, якщо від площі прямокутника $O_1E_1K_1O$ відняти площі сектора $O_1E_1L_1$ і трикутника O_1L_1O . Тоді сукупна площа двох бічних малоінформативних зон $E_1K_2L_1$ та $F_1J_1F_2$ (2МБ) (див. рис. 4, а) визначається за формулою:

$$\begin{aligned} S_{2МБ} &= a(2R - b) - \frac{\pi R^2}{90^\circ} \left(90^\circ - \frac{\beta}{2} \right) = \\ &= R \left[2a - \frac{\pi R}{90^\circ} \left(90^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \right] - ab. \end{aligned} \quad (8)$$

Довжина зони гамма-знімання за один цикл становитиме (див. рис. 4, а)

$$L_1 = 2R + a, \quad (9)$$

а відстань від до середини тривалості циклу – точки O до межі інформативної зони вздовж маршруту аерознімання (напрямку G_1H_2) дорівнює:

$$d = R - \frac{a}{2}. \quad (10)$$

Надалі для розрахунків буде корисним визначити площі двох частин інформативної зони ВЦ. Так, площа сегмента $G_2K_2O_1K_3$ (див. рис. 4, а), який позначимо як ВЦ1, для параметрів

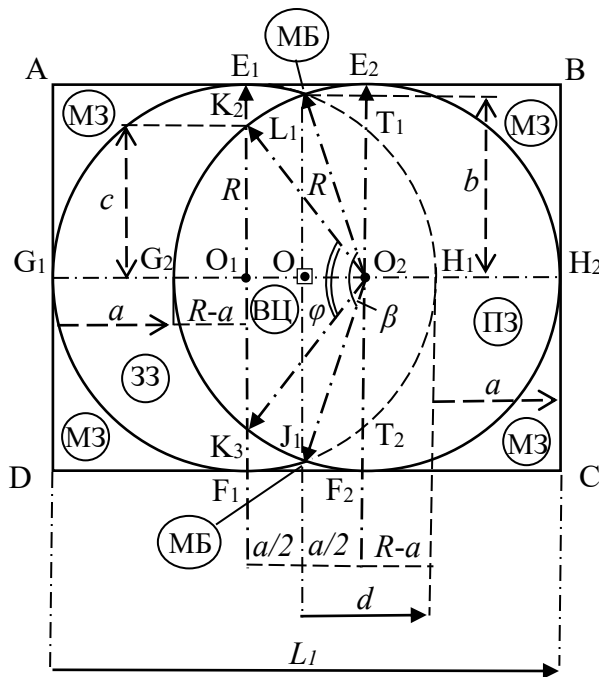
$$c = \sqrt{R^2 - a^2}, \quad (11)$$

$$\phi = 2 \arccos \frac{a}{R}, \quad (12)$$

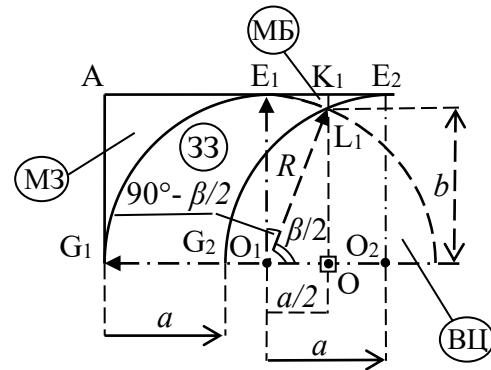
буде визначатися за формулою

$$S_{ВЦ1} = \frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi\phi^\circ}{180^\circ} - \sin\phi \right). \quad (13)$$

Згідно з формулою (11), значення c матиме дійсні значення в інтервалі $0 \leq a \leq R$. Тому для значень $a_1 = 0$ та $a_2 = R$, що, згідно з (12), відповідає $\phi_1 = 180^\circ$ та $\phi_2 = 0^\circ$, то, згідно



а – зсув поля зору детектора стосовно місцевості впродовж одного циклу вимірювань



б – до визначення площі зони $E_1K_1E_2L_1$

Рис. 4. До збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж одного циклу на маршруті польоту БПЛА за умови $0 < a < R$

з (13), $S_{BЦ1_1} = \pi R^2/2$ та $S_{BЦ1_2} = 0$. Отже, сегмент інформативної зони ВЦ1, обмежений діаметром E_1F_1 , у циклі гамма-знімання існує в інтервалі значень $0 < a < R$ у вигляді, наведеному на рис. 4, а.

Площа фігури $O_1K_2L_1T_1O_2T_2J_1$ (див. рис. 4, а), яку позначимо ВЦ2, дорівнює площі зони ВЦ без площ двох сегментів ВЦ1:

$$S_{BЦ2} = R^2 \left[\frac{\pi}{180^\circ} (\beta - \phi) - (\sin \beta - \sin \phi) \right]. \quad (14)$$

Оскільки фігура ВЦ2 отримана з урахуванням площ двох сегментів ВЦ1, то для значень $a_1 = 0$ та $a_2 = R$, що, згідно з (3) та (12), відповідає $\beta_1 = 180^\circ$, $\beta_2 = 120^\circ$, $\phi_1 = 180^\circ$, $\phi_2 = 0^\circ$, а згідно з (14), $S_{BЦ2_1} = 0$, $S_{BЦ2_2} = R^2 \left(\frac{4\pi - 3\sqrt{3}}{6} \right)$.

Отже, інформативна зони ВЦ2 в циклі гамма-знімання існує в інтервалі значень $0 < a < R$ у вигляді, наведеному на рис. 4, а.

Площа сукупної мертвої зони МЗ за один цикл гамма-знімання обчислюється, згідно з (1), за формулою:

$$S_{MЗ} = R^2(4 - \pi). \quad (15)$$

На рис. 5 показано схему збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж двох циклів на маршруті польоту БПЛА, за якого кінець першого циклу є водночас початком другого циклу гамма-знімання. Система попередньої обробки сигналів від гамма-детектора миттєво передає сигнал, зібраний за попередній цикл, для подальшої обробки та знову виконує збір гамма-квантів під час другого циклу [12].

Відстань e між центрами першого та другого циклів дорівнює a . Це зрозуміло з рис. 4, а, оскільки точка O – центр першого циклу знаходиться на лінії L_1J_1 , яка є лінією симетрії стосовно ліній E_1F_1 та E_2F_2 і розташована стосовно них на відстані $a/2$. Так само (див. рис. 5) центр другого циклу знаходиться на лінії L_2J_2 , яка є лінією симетрії стосовно ліній E_2F_2 та E_3F_3 і розташована стосовно кожної з них на відстані $a/2$. Отже, відстань між

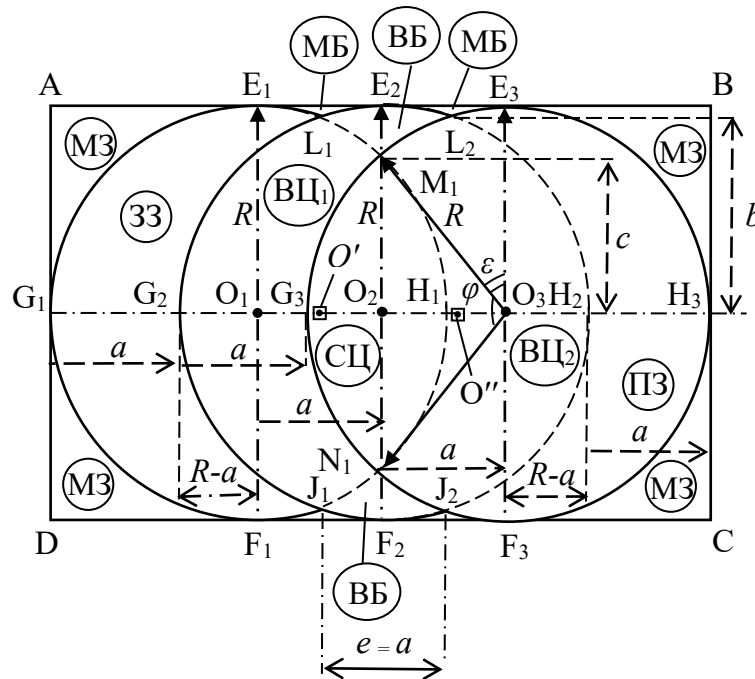


Рис. 5. До збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж двох циклів на маршруті польоту БПЛА за умови $0 < a < R$

лініями L_1J_1 та L_2J_2 , на яких знаходяться центри двох циклів O' та O'' , дорівнює a .

З рис. 5 зрозуміло, що загальна площа знімання вповодж двох циклів складається із суми площ двох півкрусів радіуса R і площі прямокутника $E_1E_2E_3O_3F_2F_1O_1$. Тож площа двох циклів гамма-знімання визначається за формулою:

$$S_{Z_2} = R(\pi R + 2 \cdot 2a). \quad (16)$$

З попередніх міркувань зрозуміло, що інформативними зонами в цьому випадку будуть такі: $G_2L_1M_1H_1N_1J_1$ – у першому циклі, яку позначимо як $ВЦ_1$, і $G_3M_1L_2H_2J_2N_1$ – у другому циклі, яку позначимо як $ВЦ_2$, що перетинаються по лінії $G_3M_1H_1N_1$ та утворюють середню інформативну зону, яку позначимо як $СЦ$. Тож малоінформативними зонами впродовж двох циклів можна вважати зони: дві крайні – $G_1E_1L_1G_2J_1F_1$ (33) та $H_3F_3J_2H_2L_2E_3$ (ПЗ); дві бічні – $E_1E_2E_3L_2M_1L_1$ та $F_1J_1N_1J_2F_3F_2$, які позначимо $ВБ$.

Площі двох останніх зон можна визначити так. Площа половини зони $E_1E_2E_3L_2M_1L_1$ належить зоні $E_2E_3L_2M_1$, площу якої можна визначити як площу чотирикутника $E_2E_3O_3O_2$.

без площі прямокутного трикутника $O_2M_1O_3$ і площі сектора $O_3M_1E_3$. Тоді сукупна площа двох бічних малоінформативних зон ВБ визначається за формулою:

$$\begin{aligned} S_{2BB} &= 2a(2R - c) - \pi R^2 \left(1 - \frac{\phi^\circ}{180^\circ} \right) = \\ &= R \left[4a - \pi R \left(1 - \frac{\phi^\circ}{180^\circ} \right) \right] - 2ac. \end{aligned} \quad (17)$$

Площа зони СЦ складається з площ двох сегментів $G_2M_1O_2N_1$ та $O_2M_1H_1N_1$, а саме:

$$S_{CI} = R^2 \left(\frac{\pi \phi^\circ}{180^\circ} - \sin \phi \right). \quad (18)$$

Сукупна площа інформативної зони за два цикли буде складатися із суми площ інформативних зон $ВЦ_1$ та $ВЦ_2$, площа кожної з них визначається за формулою (4), без площі двох сегментів $G_3M_1O_2N_1$ та $O_2M_1H_1N_1$, які утворюють зону $СЦ$, а саме:

$$S_{I_2} = R^2 \left[\frac{\pi}{180^\circ} (2\beta^\circ - \phi^\circ) - (2\sin\beta - \sin\phi) \right]. \quad (19)$$

Довжина зони гамма-знімання за два цикли становитиме таке (див. рис. 5):

$$L_\gamma = 2R + 2a. \quad (20)$$

На рис. 6 наведено схему збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж п'яти циклів на маршруті польоту БПЛА. Для спрощення на рис. 5 велика центральна інформативна зона першого циклу виду $G_2L_1M_1H_1N_1J_1$ на рис. 6 дістала позначення L_1 (Long), велика інформативна зона другого циклу має позначення L_2 , п'ятого циклу – L_5 . Перша в маршруті середня центральна інформативна зона виду $G_3M_1H_1N_1$ (СЦ – див. рис. 5) дістала позначення M_1 (Middle), друга середня центральна інформативна зона маршруту СЦ₂ має позначення M_2 , четверта – M_4 .

Площа n циклів гамма-знімання в маршруті визначається за формулою:

$$S_n = R(\pi R + 2na), \quad (21)$$

що для $n = 1$ та $n = 2$ дає змогу отримати формули (2) та (16).

Сукупна інформативна зона на рис. 6 починається й закінчується сегментами виду $G_2K_2O_1K_3$, що відповідають зоні ВЦ₁, площа якої обчислюється за формулою (13). Між сегментами знаходяться п'ять фігур виду

$O_1K_2L_1M_1O_2N_1J_1K_3$, кожна з яких відповідає зоні ВЦ₂, площа якої обчислюється за формулою (14). Це дає можливість отримати формулу обчислення сукупної площі інформативної зони для n циклів гамма-знімання в маршруті ($0 < a < R$):

$$S_n = R^2 \left\{ \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) [n\beta^\circ - (n-1)\phi^\circ] + (n-1)\sin\phi^\circ - n \cdot \sin\beta^\circ \right\}. \quad (22)$$

Для $n=2$ із (22) випливає формула (19), а для $n=1$ – формула (4).

Бічні малоінформативні зони мають таку особливість. Кожні два цикли гамма-знімання утворюють великі бічні малоінформативні зони виду $E_1E_2E_3L_2M_1L_1$ (ВБ₁), які на рис. 6 позначені як ВБ₁. Ці зони поєднуються між собою за допомогою малих бічних малоінформативних зон виду $E_2E_3L_2$ (МБ₁), які на рис. 6 позначені МБ₁. З огляду на наведену закономірність, можна вивести формулу для визначення площі сукупної бічної малоінформативної зони в маршруті для n циклів гамма-знімання ($0 < a < R$):

$$S_{2B_n} = R \left\{ 2an - \pi R \left[1 - \frac{\phi^\circ}{180^\circ} (n-1) + \frac{\beta^\circ}{180^\circ} (n-2) \right] \right\} - 2ac(n-1) + ab(n-2). \quad (23)$$

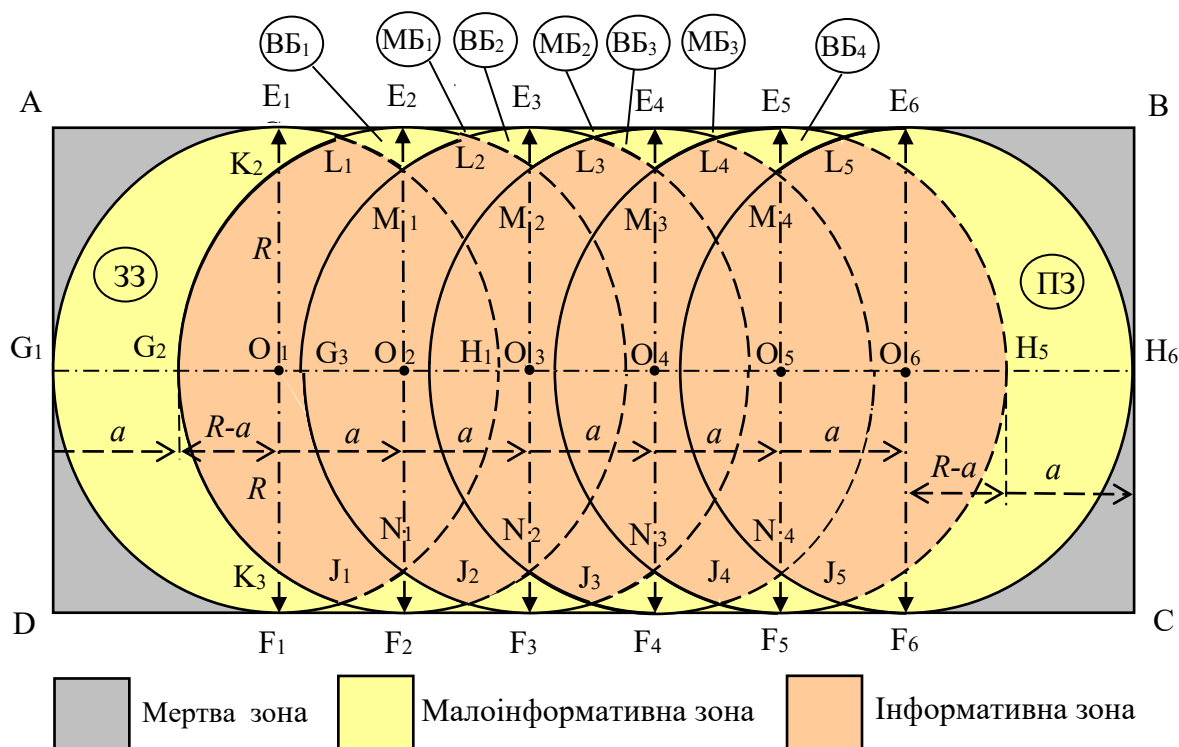


Рис. 6. До збору гамма-квантів полем зору детектора із земної поверхні впродовж п'яти циклів на маршруті польоту БПЛА за умови $0 < a < R$

Для $n=1$ із формули (23) випливає формула (8) $S_{2B_1} = S_{2MB}$, для $n=2$ з формули (23) випливає формула (17) $S_{2B_2} = S_{2BB}$.

Сукупна площа малоінформативної зона для n циклів гамма-знімання у маршруті S_{M_n} складатиметься із суми площ задньої (33) та передньої (ПЗ) малоінформативних зон, площі яких визначаються за формулою (5), і площі сукупної бічної малоінформативної зони, яка визначається за формулою (23). Отже, для $0 < a < R$

$$S_{M_n} = R \left\{ 2na + \pi R \left[1 + (n-1) \frac{\Phi^\circ}{180^\circ} - n \frac{\beta^\circ}{180^\circ} \right] + 2R \sin \beta \right\} - 2(n-1)ac + (n-2)ab. \quad (24)$$

Довжина маршруту для п'яти циклів гамма-знімання, згідно з рис. 6, обчислюється за формулою $L_5 = 2R + 5a$. Порівняння формул (9) для L_1 та (20) для L_2 дає змогу написати формулу довжини маршруту для n циклів гамма-знімання на маршруті

$$L_n = 2R + na. \quad (25)$$

На рис. 7 наведено розташування полів зору детектора під час збору квантів гамма-випромінювання із земної поверхні впродовж

двох циклів на маршруті польоту БПЛА, коли $R \leq a < 2R$.

З рис. 7 зрозуміло, що для одного циклу збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора в маршруті площа зони збору складається з двох половин круга $G_1E_1O_1F_1$ та $O_2E_2H_2F_2$ і прямокутника $E_1E_2O_2F_2F_1O_1$, дорівнює $S_{Z_1} = R(\pi R + 2a)$, для двох циклів збору, відповідно, $S_{Z_2} = R(\pi R + 4a)$.

Це в підсумку дає змогу отримати формулу визначення сукупної площі гамма-знімання для n циклів у маршруті у вигляді (21).

Із рис. 7 зрозуміло, що інформативна зона $G_2L_1H_1T_1$ складається з двох рівновеликих сегментів $G_2L_1N_1T_1$ та $N_1L_1H_1T_1$. Отже, площа інформативної зони для одного циклу збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора визначається за формулою $S_{I_1} = R^2 \left[\left(\pi \beta^\circ / 180^\circ \right) - \sin \beta \right]$, для двох циклів збору квантів гамма-випромінювання – за формулою $S_{I_2} = 2R^2 \left[\left(\pi \beta^\circ / 180^\circ \right) - \sin \beta \right]$. Зрозуміло, що для n циклів збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора в маршруті площа сукупної інформативної зони визначається за формулою:

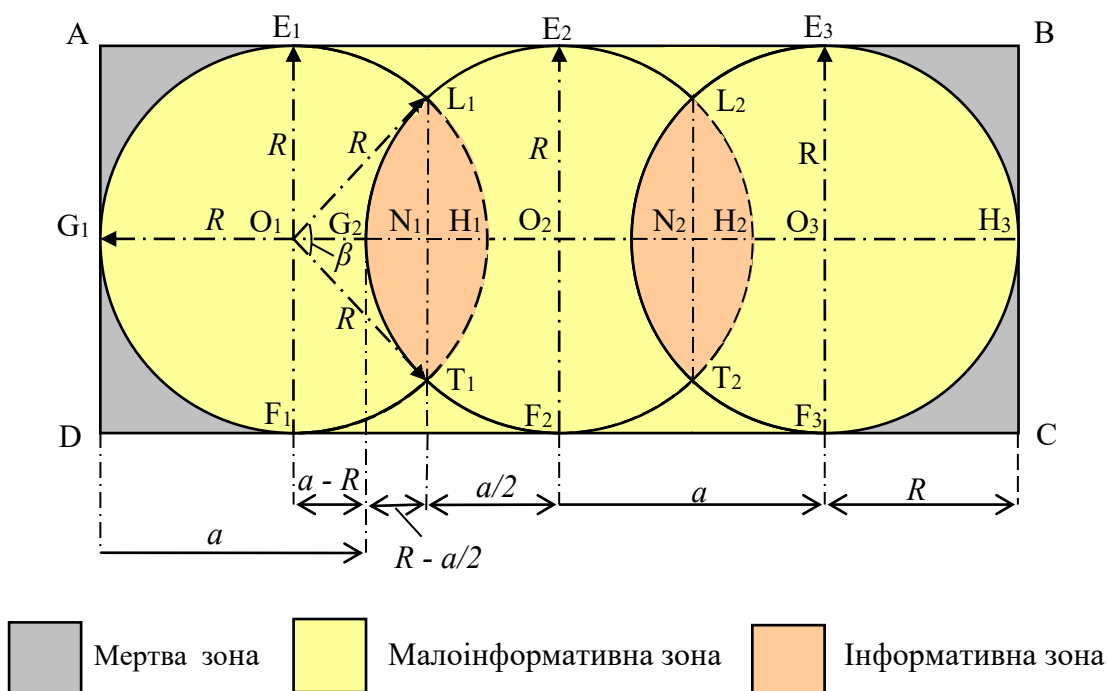


Рис. 7. До збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні впродовж двох циклів на маршруті польоту БПЛА за умови $R \leq a < 2R$

$$S_{I_n} = nR^2 \left(\frac{\pi\beta^\circ}{180^\circ} - \sin\beta \right), \quad (26)$$

де β визначається за формулою (3).

З рис. 7 видно, що довжина інформативної зони становить $2R - a$. Ця зона зникає, коли $a = 2R$. Тоді, згідно з формулою (3), $\beta = 0$, а згідно з формулою (26), $S_{I_n} = 0$. Отже, інформативні зони в циклі гамма-знімання існують в інтервалі значень $R \leq a < 2R$ у вигляді, наведеному на рис. 7.

З рис. 7 зрозуміло, що площа малоінформативної зони в кожному з циклів буде складатися із сукупної площі зони гамма-знімання без площі інформативної зони. Тому сукупна площа малоінформативної зони для n циклів збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора в маршруті буде визначатися як різниця сукупної площі зони гамма-знімання S_{Z_n} і сукупної площі інформативної зони S_{I_n} у вигляді:

$$S_{M_n} = R \left\{ R \left[\pi \left(1 - n \frac{\beta^\circ}{180^\circ} \right) + n \sin\beta \right] + 2na \right\}. \quad (27)$$

Довжина маршруту гамма-знімання для одного циклу, згідно з рис. 7, становитиме $L_1 = 2R + a$, для двох циклів $L_2 = 2R + 2a$, що дає змогу для n циклів гамма-знімання в маршруті використати формулу (25). Площа «мертвої» зони обчислюється за формулою (15).

Згідно з рис. 4, a середина циклу – точка O є також центром інформативної зони ВЦ. Ця точка рівновіддалена від меж інформативна зони ВЦ: по осі маршруту, на відстань d від точок G_2 та H_1 , поперек маршруту, на відстань b від точок L_1 і J_1 . Якщо точці O завдяки GPS надаються координати, межі інформативної зони ВЦ вздовж і поперек маршруту гамма-знімання стосовно точки O дорівнюють з урахуванням (10), відповідно,

$$x = \pm d = \pm \left(R - \frac{a}{2} \right), \quad (28)$$

$$y = \pm b. \quad (29)$$

Згідно з рис. 4, a та з урахуванням формули (9), межі зони гамма-знімання стосовно точки O вздовж і поперек маршруту визначаються за формулами, відповідно,

$$x_{\max} = \left| \frac{L_1}{2} \right| = \pm \left(R + \frac{a}{2} \right), \quad (30)$$

$$y_{\max} = \pm R. \quad (31)$$

Якщо на лінії $G_1 - G_2$ (див. рис. 4, a) під час гамма-знімання поблизу точки G_1 з'явиться локальний максимум значеної інтенсивності радіаційного випромінювання, то частина гамма-квантів від нього все ж надійде в поле зору гамма-детектора й може бути більшою від гамма-квантів, зібраних від фонового випромінювання в середині інформативної зони ВЦ. Це ж стосується й точок у зонах бічних малоінформативних зонах МБ, розташованих поблизу ліній $E_1 - E_2$ та $F_1 - F_2$. Отже, можна констатувати, що для випадку одного циклу гамма-знімання фіксація підвищеної інтенсивності гамма-випромінювання свідчить про те, що його локальний максимум має ймовірне розташування стосовно середини циклу O вздовж і поперек маршруту в межах x, y , але не далі, ніж $x_{\max}, y_{\max}$. З рис. 3, a видно, що локальні максимуми радіаційного випромінювання знаходяться на осях ліній маршрутів. Насправді вони можуть знаходитися поза лініями маршрутів на ймовірній відстані $\pm b$, але не далі відстані $\pm R$, згідно з формулами (29) і (31).

Якщо інформативні зони перекриваються, то ситуація з визначенням місцеположення локального максимуму дещо змінюється. Наприклад (див. рис. 5), якщо локальний максимум знаходиться в середині зони $G_2L_1M_1G_3N_1J_1$, то гамма-кванти від нього надійдуть до інформативної зони ВЦ₁. Тоді збільшення інтенсивності гамма-випромінювання буде прив'язано до середини першого циклу – точки O' . Якщо ж локальний максимум знаходиться в зоні $L_2H_2J_2N_1H_1M_1$, то збільшення інтенсивності гамма-випромінювання буде відмічено в другому циклі та прив'язано лише до точки O'' . Якщо ж локальний максимум знаходитиметься в середині зони перекриття СЦ, яка належить обом інформативним зонам ВЦ₁ і ВЦ₂, то збільшення інтенсивності гамма-випромінювання буде відмічено в обох циклах із прив'язкою до середин першого та другого циклів – до точок O' та

O'' , які знаходяться на відстані $e = a$ одна від одної. Розміри зони СЦ складають уздовж і поперек маршруту $a/2$ та c . Однак, якщо в середині зон $G_2L_1M_1G_3N_1J_1$ та $L_2H_2J_2N_1H_1M_1$ знаходитиметься по одному локальному максимуму близької інтенсивності гамма-випромінювання, то ця подія буде прив'язано знову до точок O' та O'' , що говорить про неоднозначність визначення ймовірного положення локальних максимумів. Це питання потребує подальшого вивчення.

Застосування наведеного математичного апарату можна розглянути на конкретному прикладі. Нехай потрібно виконати гамма-знімання за допомогою БПЛА на маршруті довжиною $L=1$ км. Висота польоту БПЛА становить $H=30$ м, поле зору детектора гамма-випромінювання дорівнює $\omega=90^\circ$ [13], частота збору гамма-квантів детектором дорівнює $f=1$ Гц, швидкість польоту БПЛА на трасі знімання становить $v=10$ м/с [5]. Тоді тривалість циклу $\Delta t = 1/f = 1$ с. Радіус поля зору детектора на земній поверхні дорівнює $R = 30 \text{ м} \times \tan(90^\circ/2) = 30 \text{ м}$. Зсув поля зору детектора за тривалість циклу 1 с становитиме $a = 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \times 1 \text{ с} = 10 \text{ м}$. Оскільки $a < R$, то для розрахунків потрібно використати схему збору квантів гамма-випромінювання полем зору детектора із земної поверхні, наведену на рис. 6, і відповідні їй формули. Так, згідно з (25), число циклів гамма-знімання на маршруті довжиною 1 км можна визначити за формулою:

$$n = \frac{L - 2R}{a}. \quad (32)$$

Необхідні проміжні параметри β , φ , b , c , d обчислюються за формулами (3), (12) (7), (11), (10) (лінійні й кутові елементи розраховано до 7 чи 8 значущих цифр, щоб забезпечити точність подальшого обчислення площ до $0,1 \text{ м}^2$). Значення проміжних параметрів наведено в таблиці 1. Відстань e між центрами суміжних циклів гамма-знімання, згідно з рис. 5, дорівнює $e = a = 10$ м.

Згідно з формулами (9), (21), (22), (24), обчислено таке: довжину одного циклу гамма-знімання L_1 ; загальну площу гамма-знімання в маршруті S_z ; сукупну площу

інформативної зони в маршруті S_I ; сукупну площу малоінформативних зон у маршруті S_{MI} (таблиця 2). Контролем розрахунків указаних площ є таке: $S_z = S_I + S_{MI} = 102094,9 \text{ м}^2$. Відношення площі сукупної інформативної зони до площі гамма-знімання в маршруті становить $(S_I/S_z)=94,9\%$. За формулами (4) і (18) обчислено таке: площу інформативної зони ВЦ в одному циклі гамма-знімання $S_{ВЦ}$; або площу середньої центральної зони СЦ, яка є площею перекриття зон гамма-знімання за два цикли $S_{СЦ}$. Поздовжнє перекриття між циклами гамма-знімання становить $(S_{СЦ}/S_{ВЦ})=74,0\%$. Сукупна площа мертвої зони визначена за формулою (1) і становить $772,6 \text{ м}^2$.

Оскільки відношення площі сукупної інформативної зони до площі гамма-знімання в маршруті становить $(S_I/S_z)=94,9\%$, то відносна площа сукупної малоінформативної зони – $5,1\%$ від всієї площі гамма-знімання в маршруті довжиною 1 км, або у абсолютному вимірі 3040 м^2 . Щоб краще уявити розмір цієї площі, з якої якісно не зібрано гамма-кванти, а отже, достовірно не визначено параметри гамма-випромінювання, можна порівняти її з площею футбольного поля, яка дорівнює наприклад, 4050 м^2 [14]. Отже, площа сукупної малоінформативної зони становить три чверті від його площі на один кілометр маршруту. Площа сукупної малоінформативної зони утворена в основному за рахунок бічних великих і меншою мірою малих малоінформативних зон і частково за рахунок наявності задньої та передньої малоінформативних зон на початку й у кінці маршруту (див. рис. 5). Про це свідчить розмір зони СЦ поперек маршруту $c=28,28$ м (див. таблицю 1, рис. 5), який менший від радіуса поля зору детектора на земній поверхні $R=30$ м на $1,72$ м і відповідає поперечному розміру E_2M_1 малоінформативної зони ВБ, тоді як розмір зони ВЦ поперек маршруту $b=29,58$ м менший за радіус усього на $0,48$ м й відповідає поперечному розмірові малоінформативної зони МБ. Отже, необхідно ліквідувати бічні малоінформативні зони шляхом забезпечення поперечного перекриття між маршрутами гамма-знімання щонайменше на 2 м. Це необхідно врахувати під час пла-

Таблиця 1

Значення проміжних параметрів

Позначення	$\Delta t, c$	R, m	$a = e, m$	n	b, m	c, m	d, m	β°	φ°
Значення	1	30	10	94	29,58040	28,28427	25	160,81186	141,05756

Таблиця 2

Значення кінцевих параметрів

Позначення	L_p, m	S_z, m^2	S_p, m^2	S_{sp}, m^2	$(S_l/S_z), \%$	S_{LC}, m^2	S_{MC}, m^2	$(S_{MC}/S_{LC}), \%$
Значення	70	59227,4	56187,1	3040,3	94,9	2230	1650	74,0

нування польотів БПЛА над територією радіаційного забруднення. Крім того, необхідно врахувати й наявність мертвих зона на кінцях маршрутів. Для цього потрібно щонайменше, щоб діаметр першого кола циклу гамма-знімання на маршруті (див. рис. 6 – лінія E_1F_1) був суміщений із початком території аерознімання (лінією AD) і знаходився на відстані R перед нею, а діаметр кола останнього циклу E_6F_6 аерознімання виходив на цю ж відстань за межі ВС території аерознімання. У цьому випадку будуть ліквідовані й малоінформативні зони ЗЗ та ПЗ. Це теж потрібно врахувати під час планування польотів БПЛА.

Виявлені в циклах гамма-знімання локальні максимуми радіаційного випромінювання можуть знаходитися поза лініями маршрутів на ймовірній відстані $\pm 29,58$ м, але не далі відстані ± 30 м, згідно з формулами (29) і (31).

Висновки. У результат теоретичних досліджень отримано математичний апарат для визначення розмірів і площ зон на маршруті аерознімання з БПЛА території радіаційного

забруднення з використанням гамма-детектора рухливого типу, які відрізняються за якістю збору гамма-квантів полем зору детектора й, відповідно, поділяють площу гамма-знімання на інформативні зони, у яких поле зору детектора перебуває впродовж часу, протягом якого детектор здатен повною мірою здатен реагувати на зміну інтенсивності радіоактивного випромінювання від земної поверхні згідно із заявленою виробником частотою роботи детектора, і малоінформативні зони, де поле зору детектора перебуває менше вказаного часу.

Одним із показників якості виконання аерознімання з БПЛА може бути збільшення відношення площі сукупної інформативної зони до площі гамма-знімання в маршруті. Наведено приклад розрахунків розмірів і площ указаних зон на маршруті аерознімання.

Результати наведених досліджень можуть бути корисними для планування маршрутів гамма-знімання з БПЛА й аналізу якості виконаного аерознімання.

Список використаних джерел:

1. Паспорт спеціальності 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія і картографія / Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0047330-07#top> (дата звернення: 14.06.2024).
2. Гера О.В. Перспективи використання БПЛА для спостережень за станом об'єктів інфраструктури аеропортів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. Вип. 1 (3). С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.4>.
3. Tereshchuk O.I., Kryachok S.D., Belenok V.Iu., Malik T.M., Hebryn-Baidy L.V. Robotic complex for the runway leveling. Device for automated leveling. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan / Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev. Series of geology and technical sciences*. 2021. Vol. 2. P. 180–188. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.51>.
4. Sato Yuki, Ozawa Shingo, Terasaka Yuta, Kaburagi Masaaki, Tanifuji Yuta, Kawabata Kuniaki, Nakamura Miyamura Hiroko, Izumi Ryo, Suzuki Toshikazu, Torii Tatsuo. Remote radiation imaging system using a compact gamma-ray imager mounted on a multicopter drone. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2018. № 55:1, P. 90–96. DOI: 10.1080/00223131.2017.1383211.
5. Burtaniak V., Zabulonov Yu., Stokolos Ma., Bulavin Le., Krasnoholovet V. Application of a territorial remote radiation monitoring system at the Chornobyl nuclear accident site. *J. Appl. Remote Sens.* 2018. Vol. 12 (4). P. 1–13. DOI: 10.1117/1.JRS.12.046007.

6. Rudolph C., Knoedler B., Heinskill J. Comparable data evaluation method for a radio-nuclear sensor when used onan UAV. *Paper presented at the Proceedings of IEEE Sensors*. 2020. <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278612>.
7. Lüleý J., Vrban B., Cerba S., Osuský F., Necas, V. Unmanned Radiation Monitoring System. EPJ Web of Conferences 225, 08008 (2020). <https://doi.org/10.1051/epjconf/202022508008>.
8. Махньов О.І. Розробка оптимальної конструкції системи візуалізації гамма-випромінювання. *Електронні системи та сигнали*. 2019. Вип. 2. №. 3. С. 6–10.
9. Lüleý J., Vrban B., Cerba S., Osuský F., Necas, V. Unmanned Radiation Monitoring System. EPJ Web of Conferences 225, 08008 (2020). <https://doi.org/10.1051/epjconf/202022508008>.
10. Pavlovsky R., Haefner A., Joshi T.H., Negut V., McManus K., Suzuki E., Barnowski R., Vetter K. 3-D Radiation Mapping in Real-Time with the Localization and Mapping Platform LAMP from Unmanned Aerial Systems and Man-Portable Configurations. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/751a68f57b684c6cf3a1e6de3f6c42a5a321e144> (дата звернення: 22.06. 2024).
11. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data; TECDOC 1363; International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria, 2003. URL: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1363_web.pdf (дата звернення 22.06. 2024).
12. Chierici A., Malizia, A., Di Giovanni D., Ciolini R., d’Errico F. A. High-Performance Gamma Spectrometer for Unmanned Systems Based on Off-the-Shelf Components. *Sensors*.2022. № 22. P.1 -18. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22031078>.
13. Brewer E.T. Autonomous localization of $1/r^2$ sources using an aerial platform. Master’s thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2009. URL: https://www.researchgate.net/publication/279467052_Autonomous_Localization_of_1R2_Sources_Using_an_Aerial_Platform (дата звернення 22.06.2024).
14. Футбольне поле: розмір та розмітка. URL: <https://jutagrass.com.ua/pravila/trebovaniya-k-razmetke-i-razmeram-futbolnogo-polya/> (дата звернення 22.06.2024).

References:

1. Pasport spetsialnosti 05.24.01 – heodeziya, fotogrammetriya ta kartohrafiya [Specialty passport 05.24.01 – geodesy, photogrammetry and cartography]. *Ofitsiynny sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny – Official website of the Parliament of Ukraine*. (June 14th, 2024). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0047330-07#top> [in Ukrainian].
2. Hera, O. (2024). Perspektyvy vykorystannya BPLA dlya monitorynhu stanu obyektyv infrastruktury aeroportu [Prospects for the use of UAVs for monitoring the condition of airport infrastructure facilities]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1 (3), 30–35. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.4> [in Ukrainian].
3. Tereshchuk, O., Kryachok, S., Belenok, V., Malik, T., & Hebryn-Baidy, L. (2018). Device for automated leveling. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences*, 2, 180–188. DOI: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.51> [in English].
4. Yuki, S., Shingo, O., Yuta, T., Masaaki, K., Yuta, T., Kuniaki, K., Hiroko, N., Ryo, I., Toshikazu, S., & Tatsuo, T. (2018). Remote radiation imaging system using a compact gamma-ray imager mounted on a multicopter drone. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 55:1, 90–96. DOI: <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1383211> [in English].
5. Burtniak, V., Zabulonov, Y., Stokolos, M., Bulavin, L., & Krasnopolovets, V. (2018). Application of a territorial remote radiation monitoring system at the Chornobyl nuclear accident site. *Remote Sens*, 12(04), 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.jrs.12.046007> [in English].
6. Rudolph, C., Knoedler, B., & Heinskill, J. (2020). Comparable data evaluation method for a radio-nuclear sensor when used onan UAV. *Paper presented at the Proceedings of IEEE Sensor*. DOI: <https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278612>.
7. Lüleý J., Vrban, B., Cerba S., Osuský, F., & Necas, V. (2020). *Unmanned Radiation Monitoring System*. EPJ Web of Conferences 225, 08008 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/epjconf/202022508008> [in English].
8. Makhnyev, O. (2019). Rozrobka optymalnoyi konstruktsiyi systemy vizualizatsiyi hamma-vyprominyuvannya [Development of the optimal design of the gamma radiation imaging system]. *Elektronni systemy ta syhnyaly – Electronic systems and signals*, 2(3), 6–10 [in Ukrainian].
9. Lüleý, J., Vrban, B., Cerba, S., Osuský, F., & Necas, V. *Unmanned Radiation Monitoring System*. EPJ Web of Conferences 225, 08008 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/epjconf/202022508008> [in English].
10. Pavlovsky, R., Haefner, A., Joshi, T., Negut, V., McManus, K., Suzuki, E., Barnowski, & R., Vetter, K. 3-D Radiation Mapping in Real-Time with the Localization and Mapping Platform LAMP from Unmanned Aerial

Systems and Man-Portable Configurations. (June 22th, 2024). Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/reader/751a68f57b684c6cf3a1e6de3f6c42a5a321e144> [in English].

11. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data. (2003). *TECDOC 1363; International Atomic Energy Agency: Vienna, Austria*. (June 22th, 2024). Retrieved from https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1363_web.pdf [in English].

12. Chierici, A., Malizia, A., Di Giovanni, D., Ciolini, R., & d'Errico, F. A. (2022). High-Performance Gamma Spectrometer for Unmanned Systems Based on Off-the-Shelf Components. *Sensors* 22, 1–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22031078> [in English].

13. Brewer, E.T. (2009). Autonomous localization of $1/r^2$ sources using an aerial platform. *Master's thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia*. (June 22th, 2024) Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/279467052_Autonomous_Localization_of_1R2_Sources_Using_an_Aerial_Platform [in English].

14. Futbolne pole: rozmiry ta rozmitka [Football field: size and marking]. (June 22th, 2024). Retrieved from <https://jutagrass.com.ua/pravila/trebovaniya-k-razmetke-i-razmeram-futbolnogo-polya/> [in Ukrainian].

УДК 624.072.012

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.8>**Максименко Валерій Петрович,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач лабораторії висотного і експериментального будівництва,
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»,
просп. Валерія Лобановського, 51, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2835-026X>
E-mail: valeriy.max@gmail.com

Дубик Олександр Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8082-7603>
E-mail: oleksandr.dubyk@npp.nau.edu.ua

Карпенко Анатолій Костянтинівич,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2625-5327>
E-mail: anatolii.karpenko@npp.nau.edu.ua

Зіненко Сергій Сергійович,

аспірант кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3051-7999>
E-mail: 8863501@stud.nau.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ЖОРСТКИХ ПОКРИТТЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ

Анотація. У статті подано результати перевірних розрахунків напружено-деформованого стану елементів жорсткого покриття автомобільної дороги з композитною арматурою в деформаційних швах при нормативних експлуатаційних навантаженнях і перспективних навантаженнях, які моделюють посадку літака. Ускладнюючою умовою була необхідність влаштування під дорогою кабельного переходу. У рамках будівельного проекту автомобільної дороги в певних геологічних умовах у ПК «ЛІРА САПР» виконано розрахунки напружено-деформованого стану елементів покриття з урахуванням деформацій ґрунтової основи. Результати розрахунків показали, що навіть у складних умовах перспективного навантаження автомобільної дороги й ослаблення кабельним переходом композитна арматура в деформаційних швах і в місці армування плити кабельного переходу цілком забезпечує надійність жорсткого покриття при класі наслідків СС3. Порівняно з металевією арматурою А500С витрати композитної арматури на армування плити кабельного переходу дають значну економію по масі для композитної арматури АКС800 на рівні 27%, а для АКС1000 – 32%.

Наведені результати підтверджують припущення щодо застосування композитної арматури в жорстких покриттях автомобільних доріг та аеродромів як альтернативи металевій. Але для цього необхідно вирішити низку досить складних завдань, а саме щодо напружено-деформованого стану елементів різних конструкцій жорстких покриттів автомобільних доріг та аеродромів у широкому спектрі експлуатаційних навантажень.

Ключові слова: жорстке покриття, деформаційний шов, композитна арматура, автомобільна дорога, аеродром.

Maksimenko Valery, Dubyk Oleksandr, Karpenko Anatoly, Zinenko Serhii. APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCEMENT IN RIGID PAVEMENTS OF MOTOR ROADS AND AIRPORTS

Abstract. The results of the verification calculations of the stress-strain state of the elements of the rigid pavements of the road with composite reinforcement in the deformation joints under standard operating loads and prospective loads simulating the landing of an airplane are given. A complicating condition was the need to install a cable crossing under the road. As part of the highway construction project in certain geological conditions, calculations of the stress-strain state of the pavement elements were performed in PC "LIRA CAD" taking into account deformations of the soil base. The results of the calculations showed that, even in difficult conditions of prospective loading of the road and weakening by the cable transition, the composite reinforcement in the deformation joints and in the bottom reinforcement of the cable transition plate fully ensures the reliability of the hard cover with the consequences class CC3. Compared to A500C metal reinforcement, the consumption of composite reinforcement for reinforcing the cable transition plate gives a significant saving in weight for composite reinforcement AKC800 at the level of 27%, and for AKC1000 – 32%.

The given results confirm the assumptions regarding the use of composite reinforcement in hard pavements of highways and airfields as an alternative to metal. But for this, you need to solve a number of rather complex problems, namely, regarding the stress-strain state of elements of various structures of rigid road surfaces and airfields in a wide range of operational loads.

Key words: hard coating, deformation seam, composite reinforcement, road, airfield.

Вступ. З введенням у дію національних стандартів [1; 2; 3] в Україні з'явилися підстави для застосування композитної арматури в будівництві автомобільних доріг та аеродромів. Використання неметалевої композитної арматури в дорожньому й аеродромному будівництві є актуальною темою, бо корозія сталевих арматур, особливо в агресивному середовищі, є суттєвим недоліком армованих жорстких цементобетонних покриттів, який значно зменшує їх довговічність. Світовий досвід будівництва й експлуатації автомобільних доріг та аеродромів сформував напрям розвитку з використанням жорстких цементобетонних покриттів, армованих композитною арматурою.

Отже, у рамках реалізації конкретного комерційного проєкту реконструкції автомобільної дороги та злітно-посадкової смуги при ускладнюючих умовах необхідності влаштування кабельного переходу виконані перевірені розрахунки напружено-деформованого стану елементів жорсткого покриття з варіантами армування сталевією та композитною арматурою для порівняння.

Матеріали та методи. Розглянута спрощена модель злітно-посадкової смуги у вигляді трьох плит розмірами 7,5х5м товщиною 0,4м і наявне полотно з шарами бетонних та асфальтобетонних плит сумарною товщиною 1,05м. На рис. 1 наведено креслення повздовжнього перерізу з вла-

штованим кабельним переходом і шарами наявного покриття. Завдання на розрахунок містило врахування наявних геологічних умов майданчика будівництва, що передбачало моделювання взаємодії нижнього шару покриття з ґрунтовою основою. Розрахункова схема майданчика створена в ПК «МОНОМАХ САПР» та експортована в ПК «ЛІРА САПР-2021», у якому виконано розрахунки армування бетонної площадки на проєктні й перспективні навантаження. Вихідні дані для розрахунку: клас наслідків (відповідальності) споруди – СС3 згідно з [4]; коефіцієнт надійності за відповідальністю – 1,25; клас бетону не менше В35 по [5] при $F_{ck}=32\text{МПа}$, $R_{bt}=3,0\text{МПа}$; клас бетону не менше С32 по [6] при $F_{ck}=32\text{МПа}$, $R_{bt}=3,0\text{МПа}$ при армуванні склопластиковою композитною арматурою. Урахування довготривалої циклічності навантаження $k_u=1,16$ і коефіцієнт умов роботи $\gamma_{am}=0,95/k_u=0,819$. Для врахування впливу динамічних навантажень на покриття злітно-посадкової смуги під час посадки літаків і довготривалого вібраційного впливу на покриття прийнято максимальне прискорення $0,05G$ як для ґрунтів II категорії при напрямку впливу вздовж злітно-посадкової смуги.

Розглянуто такі варіанти армування плити кабельного переходу й деформаційних швів між плитами покриття:

1. Сталеву арматуру А500С згідно з [5];

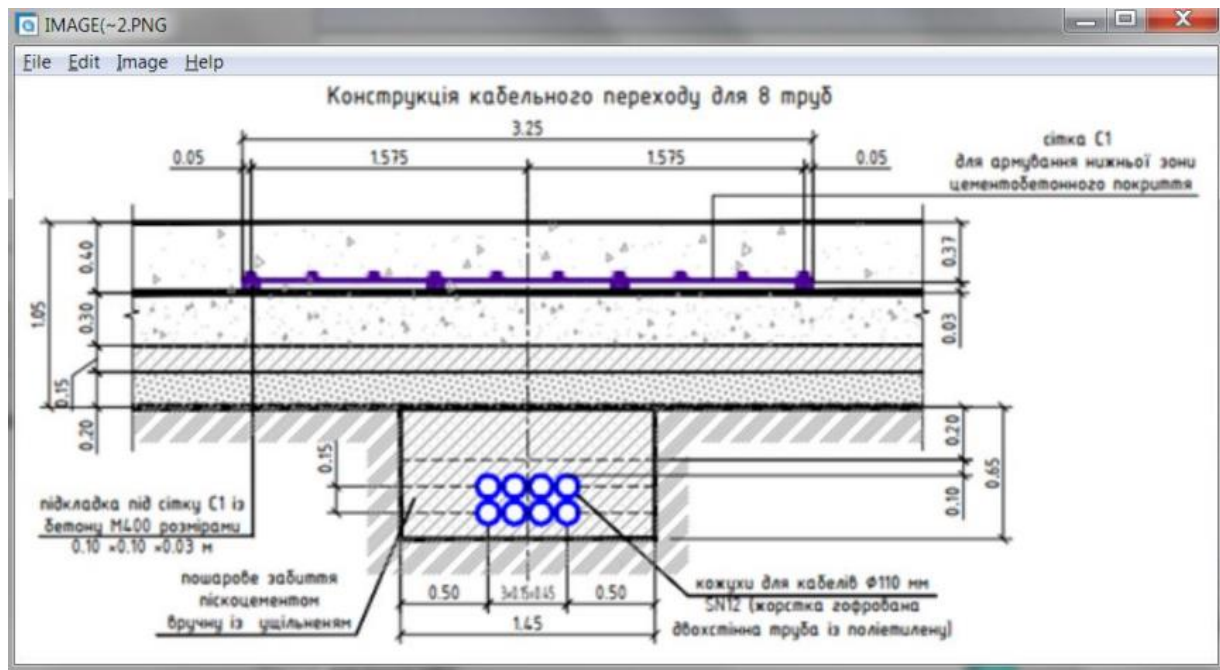


Рис. 1. Конструкція кабельного переходу

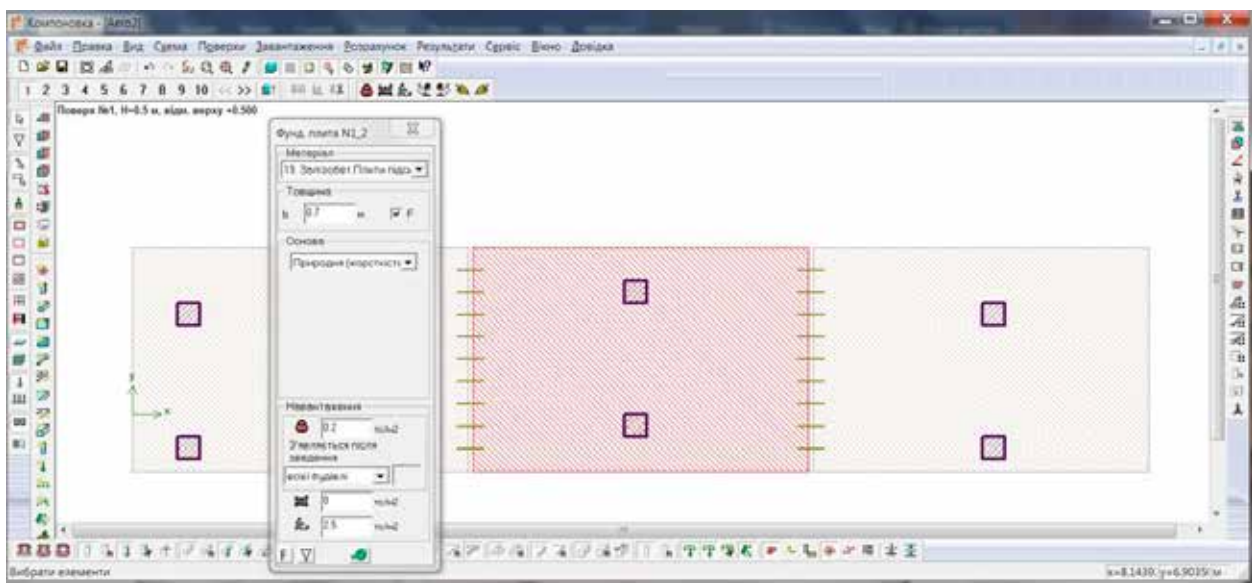


Рис. 2. Схема навантажень і розташування дюбелів армування деформаційних швів

2. Композитну склопластикову арматуру-АКС800 згідно з [6], [1] і [2];

3. Композитну склопластикову арматуру АКС1000 згідно з [6], [1] і [2].

На рис. 2 наведена схема навантажень на плити покриття й розташування дюбелів (діаметр $d=25\text{мм}$) армування деформаційних швів між плитами.

За допомогою системи «грунт», яка реалізована в ПК «ЛІРА САПР», визначено такі:

коефіцієнти пружної основи («коефіцієнти постелі») C1 і C2 відповідно до моделей Вінклера та Пастернака; значення нижньої межі стисливої товщі шарів ґрунту; поля осідань шарів ґрунтової основи.

Указані обчислення виконуються після автоматичної триангуляції ділянок, обмежених заданими контурами. У вузлах триангуляції із заданим кроком обчислюються всі необхідні параметри. За результатами роботи системи

«грунт» виконується побудова епюр вертикальних напружень у будь-якій точці прикладеного навантаження. На рис. 3 наведена схема триангуляції та параметри ґрунтової основи.

Прийняте для розрахунку довготривале навантаження на ґрунт від наявного покриття становить до 9 тс/м^2 . Додаткове короткочасне перспективне навантаження на покриття інтенсивністю до 25 тс/м^2 на площі 1 м^2 прийняте для моделювання посадки літака.

Результати. Розрахунки коефіцієнтів постелі С1 і С2 виконано з урахуванням збільшення модуля деформації ґрунту по глибині й показали нерівномірність їх значень по площині ґрунтової основи. На рис. 4 наведено ізополі переміщень по осі Z від дії сполучення навантажень РСН-1 (постійного + короткочасного). На рис. 5 наведені ізополі переміщень при дії сполучення навантажень РСН-2 (постійне + короткочасне + сейсміка) з додаванням до РСН-1 сейсмічного впливу в горизонтальному напрямку при зменшенні

короткочасного. Вплив сейсміки виявився незначним.

Ізополі напружень від згинальних моментів при дії сполучення навантажень РСН-2 наведені на рис. 6 і 7.

Реакцію ґрунтової основи, а саме напружень по R_z , при дії сполучення навантажень РСН-1 і РСН-2, наведено на рис. 8 і 9.

Ізополі напружень від перерізуючих сил Q_x та Q_y при дії сполучення навантажень РСН-2 наведено на рис. 10 та 11.

Максимальні зусилля в дюбелях деформаційних швів між плитами при дії сполучення навантажень РСН-2 становлять таке: $N_{\max}=0,148 \text{ тс}$, $N_{\min}=-0,723 \text{ тс}$, $Q_y=0,065 \text{ тс}$, $Q_z=0,72 \text{ тс}$, $M_z=-0,007 \text{ тс м}$, $M_y=0,042 \text{ тс м}$.

Розглянемо варіант армування деформаційних швів композитною арматурою АКС800 діаметром $\varnothing 25 \text{ мм}$. Тоді максимальні напруження в композитній арматурі АКС800 дюбеля діаметром $\varnothing 25 \text{ мм}$ деформаційного шва будуть менші розрахункових:

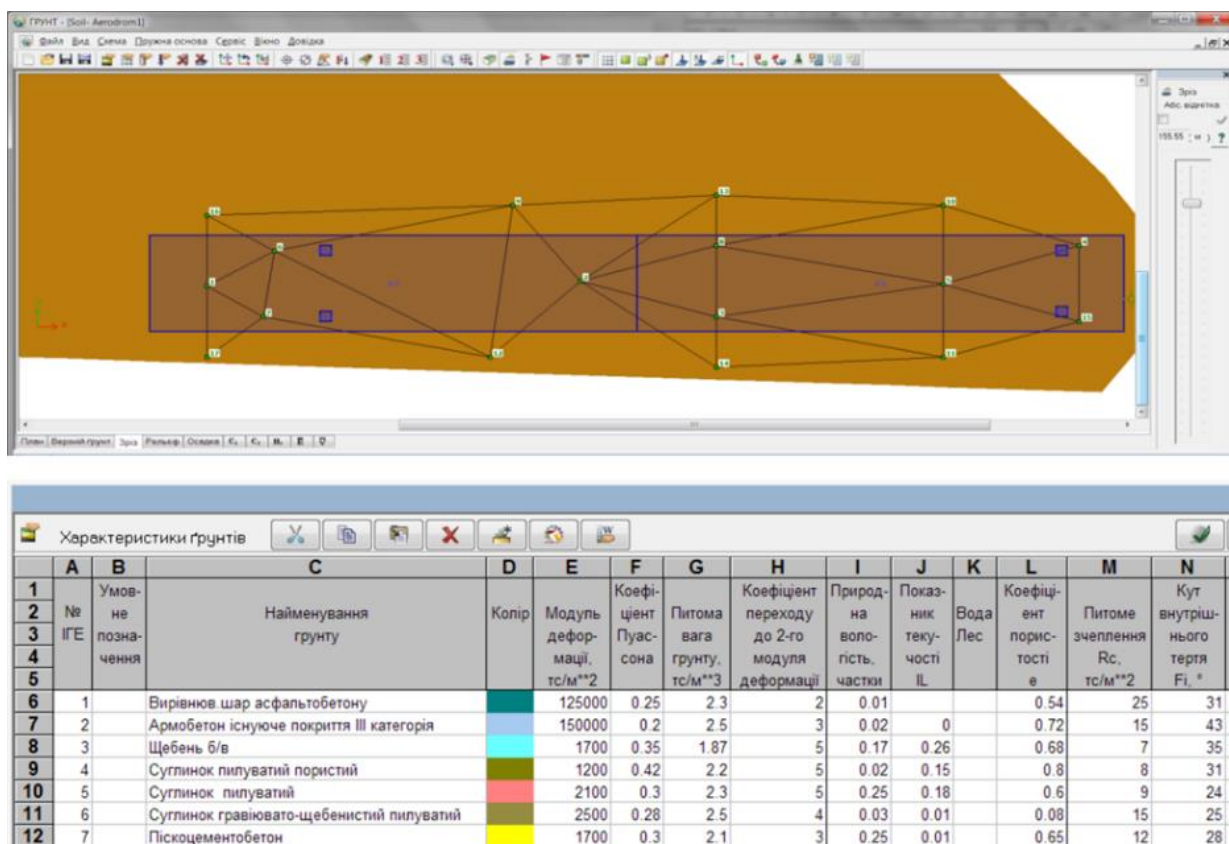


Рис. 3. Схема триангуляції та параметри шарів ґрунтової основи

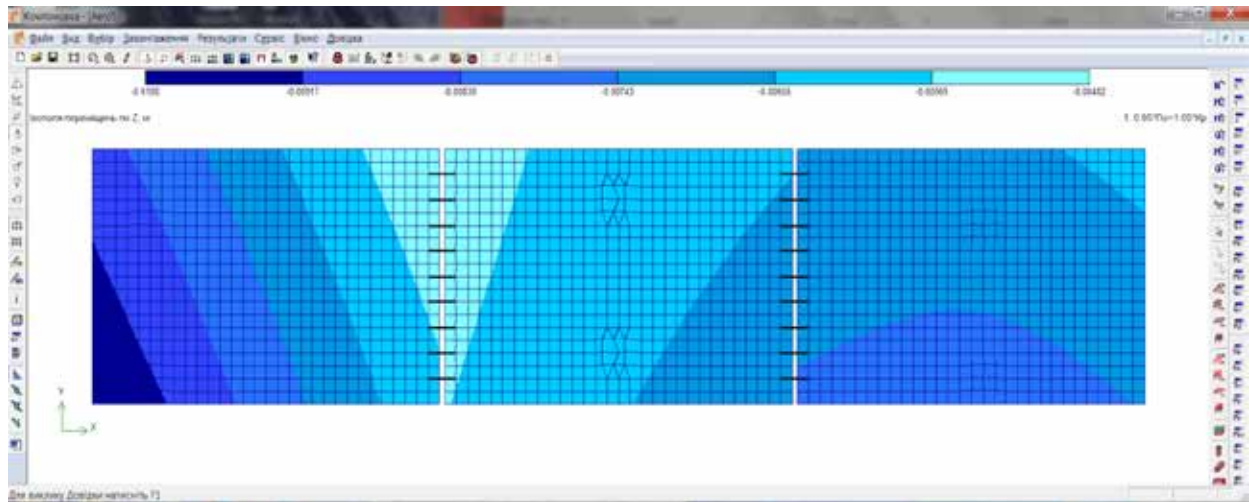


Рис. 4. Ізополя переміщень по осі Z при дії сполучення навантажень РСН-1

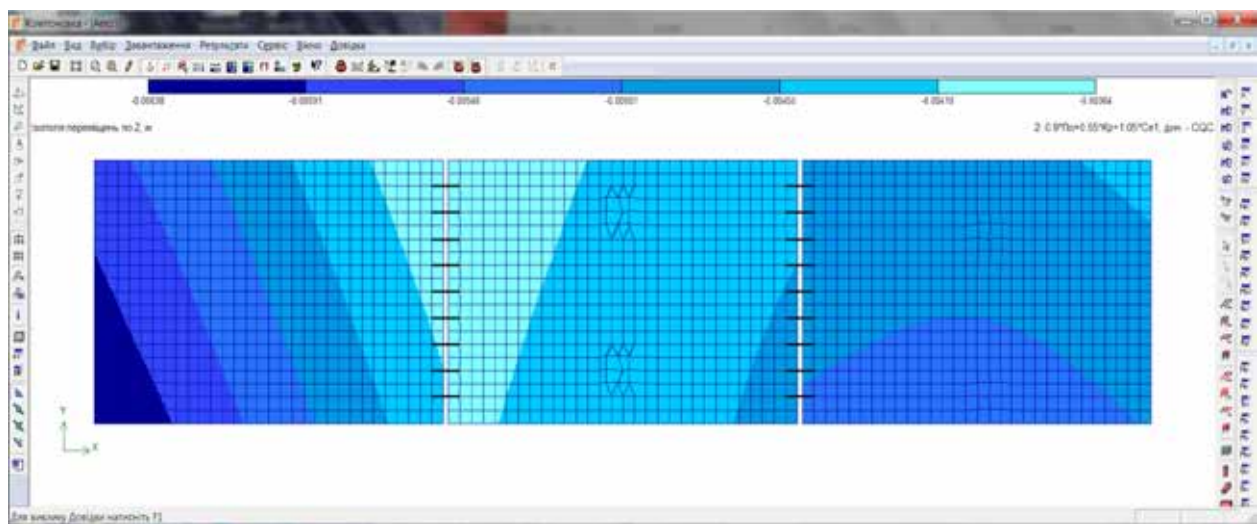


Рис. 5. Ізополя переміщень по осі Z при дії сполучення навантажень РСН-2

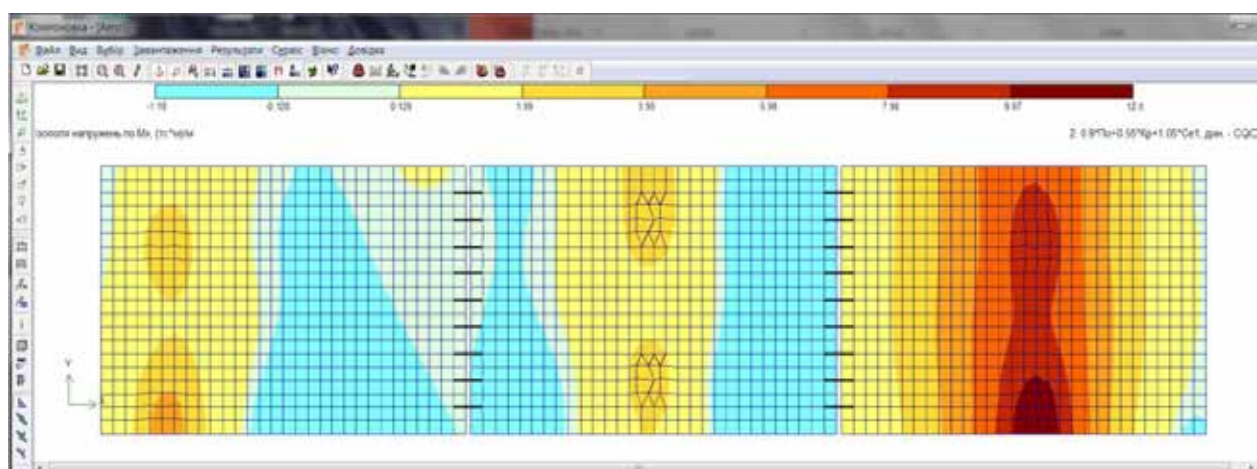
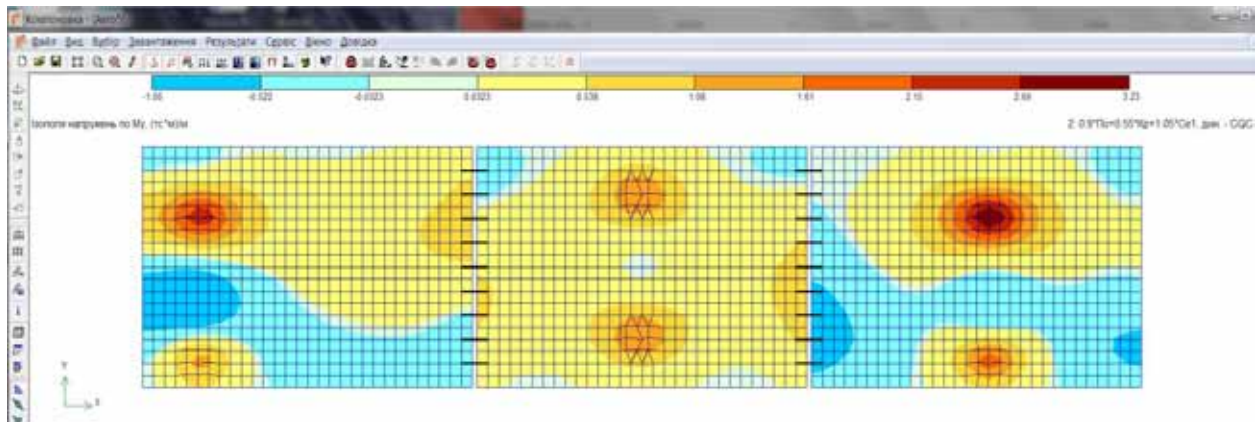
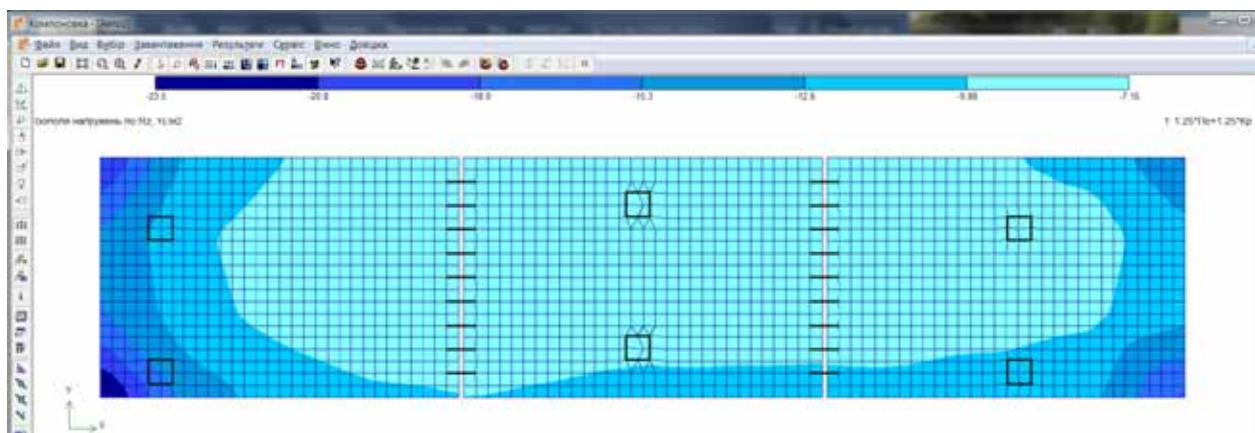
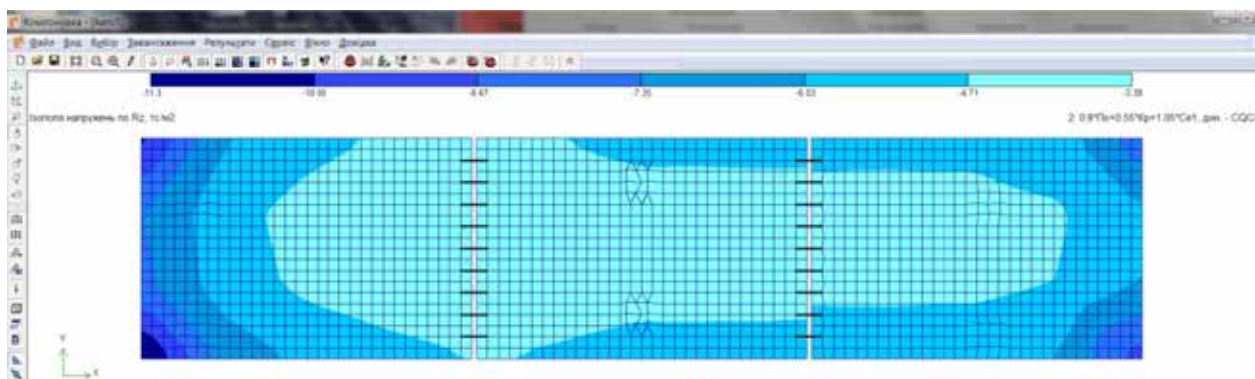


Рис. 6. Ізополя напружень по M_x ($\text{тс} \cdot \text{м/м}$)

Рис. 7. Ізополя напружень по M_y (тс*м/м)Рис. 8. Ізополя напружень по R_z при дії навантажень РСН-1Рис. 9. Ізополя напружень по R_z при дії навантажень РСН-2

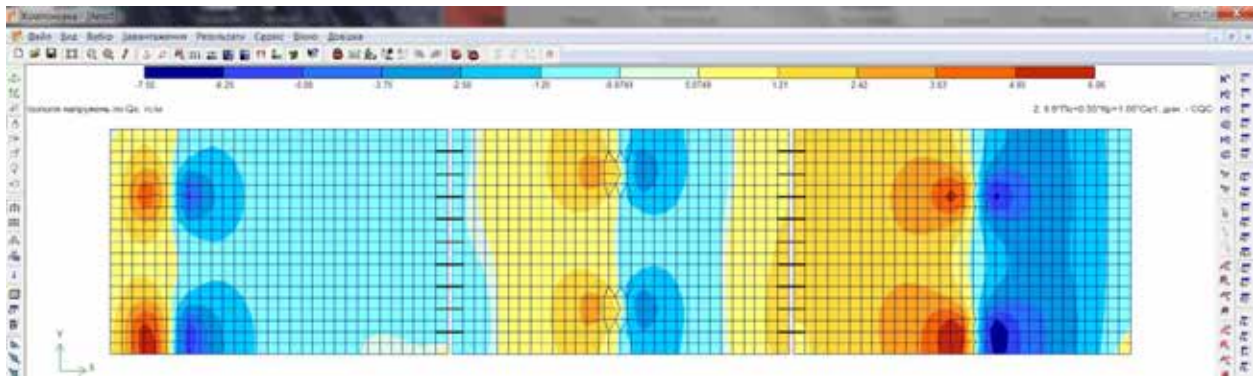
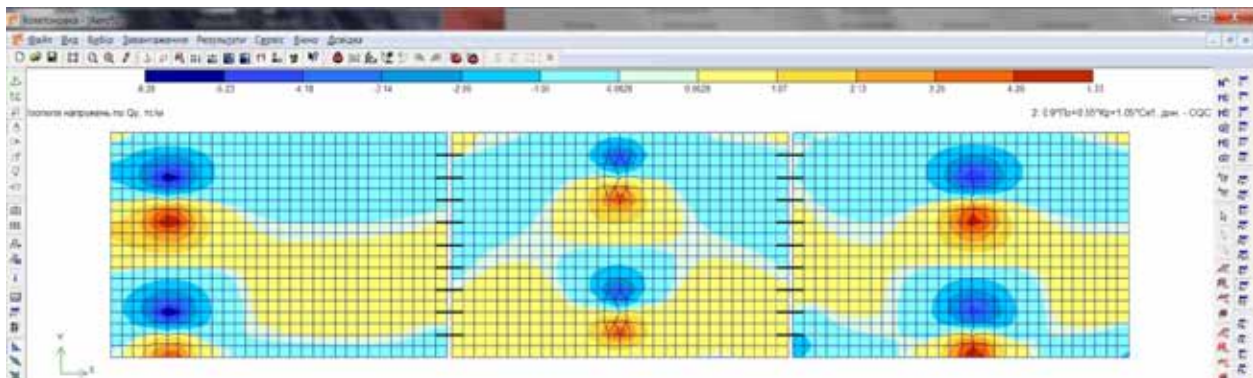
– розтягуючі: $\text{Sig} = N/F = 0,148 \setminus 0,000490874 = 30,15 \text{ тс/м}^2 \approx 3 \text{ МПа} < 800/1,5 \text{ МПа} = 533 \text{ МПа}$;

– стискаючі: $\text{Sig} = -N/F = -0,723 \setminus 0,000490874 = -1472,8 \text{ тс/м}^2 \approx -15 \text{ МПа} < 0,2 * 800 = 16 \text{ МПа}$.

Таким чином, армування деформаційного шва композитною арматурою $\varnothing 25 \text{ мм АКС800}$

кроком 500 мм забезпечує за розрахунком необхідну надійність за класу наслідків СС3.

Максимальні перерізуючі зусилля при перспективному навантаженні в арматурі швів при діаметрі 22 мм будуть при коефіцієнті повноти епюри зсувних напружень $K_{\text{тау}} = 1,2$:

Рис. 10. Ізополя напружень від дії перерізуючих сил Q_x Рис. 11. Ізополя напружень від дії перерізуючих сил Q_y

$$Q_{\max} = \sqrt{(Q_y^2 + Q_z^2)} = \sqrt{(0,065^2 + 0,72^2)} = 0,723 \text{ тс.}$$

Максимальні напруження від перерізуючих сил будуть менше розрахункових:

$$T_{\max} = Q_{\max} / (S \cdot K_{\text{тау}}) = 0,723 / (\pi \cdot 0,022^2 / 4) / 1,2 = 1902 \text{ тс/м}^2 = 19,02 \text{ МПа} \ll T_s = 190 / 1,5 \text{ МПа} = 126,7 \text{ МПа (для АКС1000)}.$$

Максимальні напруження в арматурі діаметром Ø22мм деформаційного шва будуть такі:

– розтягуючі: $\text{Sig} = N/F = 8,44 / 0,000314159 = 26865,4 \text{ тс/м}^2 = 268,7 \text{ МПа} \ll R_s = 1000 \text{ МПа (для АКС1000)}.$

Таким чином, при проєктних навантаженнях для армування деформаційних швів буде достатньо композитної арматури АКС1000 діаметром 22мм.

У ПК «ЛІРА САПР» для сполучень навантажень РСН-1 і РСН-2 виконано розрахунки армування згідно з прийнятими варіантами для порівняння композитної і сталевій арматури.

Армування плит цементобетонного покриття виконували сітками (зверху й знизу)

з різних матеріалів, згідно з указаними варіантами. Шви стискання та розширення армували дюбелями різних діаметрів і матеріалів.

Результати розрахунку варіантів армування бетону сітками такі:

1. Витрати сталевій арматури А500С на 1м² плити арматура нижня: d 14мм, крок 200x200мм=12,16кг\м² – приймаємо за 100%.

2. Витрати АКС-800 на одну 1м² плити арматура нижня: d 12мм крок 200x200мм=8,93кг\м² – щодо маси сталевій арматури 73,44%;

3. Витрати АКС-1000 на одну 1м² плити арматура нижня: d 10мм крок 150x150мм=8,19кг\м² – щодо маси сталевій арматури 67,35%

Наведені результати підтверджують припущення щодо застосування композитної арматури в жорстких покриттях автомобільних доріг та аеродромі, як альтернативи металевій. Але для цього необхідно вирішити низку досить складних завдань, а саме щодо напружено-деформованого стану елементів різних конструкцій жорстких покриттів авто-

мобільних доріг та аеродромів у широкому спектрі експлуатаційних навантажень:

- визначити вплив динамічних характеристик експлуатаційного навантаження, яке змінюється в часі й пересувається вздовж злітно-посадкової смуги або дороги;
- визначити вплив сезонних і добових коливань температури й вологості повітря;
- визначити наявність і вплив взаємних переміщень верхнього й нижнього шарів бетону при коливаннях температури й вологості;
- визначити вплив жорсткості ґрунтової основи;
- визначити вплив геометрії схем вертикальних і горизонтальних експлуатаційних навантажень;
- визначити вплив геометричних розмірів плит і розташування деформаційних швів;
- виконати експериментальні дослідження залежності характеристик міцності композитної арматури від діаметра (до 36мм);
- виконати експериментальні дослідження характеристик міцності композитної арматури при циклічних навантаженнях.

Висновки. Отже, з урахуванням викладеного вище, можемо резюмувати таке:

1. Отримані результати свідчать, що при класі бетону В35 у разі застосування металевої арматури А500С згідно з [5] при проектному навантаженні достатньо армування плит – нижні сітки d14мм кроком 200мм (7,7см²/м) по Х, У (варіант 1).

2. При армуванні плит композитною арматурою АКС-800 згідно з [2] у разі проектного навантаження й класу бетону С35 по [6] необхідні нижні сітки d12мм кроком 200мм (5,66см²/м) по Х, У (варіант 2).

3. При армуванні плит композитною арматурою АКС-1000 згідно з [2] у разі проектного навантаження й класу бетону С35 по [6] необхідні нижні сітки d10мм кроком 150мм (5,5см²/м) по Х,У (варіант 3).

4. Армування шва між плитами сталевую арматурою А500С діаметром Ø25мм кроком 300мм або Ø25мм АКС800С кроком 500мм при перспективному навантаженні забезпечують за розрахунком необхідну надійність при класі наслідків СС3.

5. Зменшення діаметра до Ø22мм композитної арматури (дюбелів) у швах стискання й розширення можливо за рахунок використання більш міцної АКС-1000 в разі проектного навантаження й класу наслідків СС3.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. [Чинний від 2013-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2012. 32 с.
2. ДСТУ 9065:2021. Арматура композитна для армування бетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2021-05-01]. Вид. офіц. Київ, 2021. 25 с.
3. ДСТУ ISO 10406-1:2021 (ISO 10406-1:2015) Арматура композитна. Методи випробування. Частина І. Стрижні та решітки. [Чинний від 2021-05-01]. Вид. офіц. Київ, 2021. 36 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2022. 38 с.
5. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-08-01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 21 с.
6. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ, 2020. 68 с.

References:

1. DSTU-N B V.2.6-185:2012. Nastanova z vyhotovlennia betonnykh konstrukttsii z nemetalevoiu kompozytnoiu armaturoiu na osnovi bazalto-i sklorovinhu (2012). [Guidelines for designing and manufacturing concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving]. [Chynnyi vid 2013-04-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 32 p. [in Ukrainian].
2. DSTU 9065:2021. Armatura kompozytna dlia armuvannia betonnykh konstrukttsii. Zahalni tekhnichni umovy (2021). [Composite reinforcement for reinforcing concrete structures. General technical conditions]. [Chynnyi vid 2021-05-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 25 p. [in Ukrainian].

3. DSTU ISO 10406-1:2021 (ISO 10406-1:2015) Armatura kompozytna. Metody vyprovuvannia. Chastyna I. Stryzhni ta reshitky (2021). [Composite fittings. Test methods. Part I. Rods and lattices]. [Chynnyi vid 2021-05-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 36 p. [in Ukrainian].
4. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoiu № 1 (2022). [The system for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. With Amendment No. 1]. [Chynnyi vid 2022-09-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 38 p. [in Ukrainian].
5. DSTU 3760:2019. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstruktsii. Zahalni tekhnichni umovy (2019). [Rolled reinforcement for reinforced concrete structures. General technical conditions]. [Chynnyi vid 2019-08-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 21 p. [in Ukrainian].
6. DBN V.2.6-98:2009. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Osnovni polozhennia. Zi Zminoiu № 1 (2020). [Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. With Change #1]. [Chynnyi vid 2020-06-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 68 p. [in Ukrainian].

УДК 72.01

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.9>

Пустовойт Руслан Олександрович,
аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва
факультету наземних споруд та аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2139-4032>
E-mail: gmail97@ukr.net

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНИХ ВУЗЛІВ В АЕРОПОРТАХ

Анотація. В основу роботи покладено теоретичні й експериментальні дослідження території транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ) в аеропортах. У врахуванням експериментальних досліджень визначено основні зони території ТПВ з показниками площ відповідних ділянок. На основі отриманих результатів з'ясовано загальні площі та габарити транспортно-пересадочних вузлів українських і закордонних аеропортів.

Установлено три зони організації та формування ТПВ в аеропортах: транспортно-пішохідна, зона архітектурних споруд і резервна зона. Визначено основні компоненти та планувальна структура транспортно-пересадочних вузлів і їх функціональні характеристики на території аеропортів.

Аналіз території транспортно-пересадочного вузла дав можливість виділити основну транспортно-пішохідну зону його формування. Завдяки дослідженню зонування ТПВ українських і закордонних аеропортів виявлено середні відсоткові значення площ відповідних зон.

На основі узагальнених результатів аналізу територій ТПВ аеропортів із пасажиропотоком до 10 млн пас/рік установлена найбільша зона ділянки транспортного вузла – зона місць паркування і проїзних частин.

Дослідження функціонального зонування ТПВ дало змогу використовувати встановлені показники їхніх площ для проектування нових чи реконструкції наявних привокзальних площ на території аеровокзальних комплексів.

Дослідження планувальних рішень транспортно-пересадочних вузлів на території аеропортів виявило, що їх оптимальні встановлені показники площ сприяють підвищенню ефективності обслуговування пасажирів, зменшенню часу пересування й підвищенню рівня задоволення послугами аеропорту.

Ключові слова: аеропорт, транспортно-пересадочний вузол, зонування транспортно-пересадочного вузла, привокзальна площа.

Pustovoiit Ruslan. FUNCTIONAL ZONING OF THE TERRITORY OF TRANSPORT AND TRANSFER NODES IN AIRPORTS

Abstract. The work is based on theoretical and experimental studies of the territory of transport and transfer hubs (TTH) in airports. On the basis of the conducted experimental studies, the main zones of the territory of TTH were determined with indicators of the areas of the corresponding areas. On the basis of the obtained results, the total areas and dimensions of the transport and transfer hubs of Ukrainian and foreign airports were determined.

Three zones for the organization and formation of TTH at airports have been established: the transport and pedestrian zone, the zone of architectural structures and the reserve zone. The main components and planning structure of transport and transfer hubs and their functional characteristics on the territory of airports are defined.

The analysis of the territory of the transport and transfer hubs created an opportunity to identify the main transport and pedestrian zone of its formation. Thanks to the study of the zoning of TTH of Ukrainian and foreign airports, the average percentage values of the areas of the respective zones were revealed.

On the basis of the generalized results of the analysis of the territories of TTH of airports with a passenger flow of up to 10 million passes/year, the largest zone of the transport hub site was established – the zone of parking places and road sections.

The conducted study of the functional zoning of TTH created an opportunity to use the established indicators of their areas for the design of new or reconstruction of existing terminal areas on the territory of airport complexes.

A study of the planning solutions of transport and transfer hubs on the territory of airports established that their optimal set indicators of areas contribute to increasing the efficiency of passenger service, reducing travel time and increasing the level of satisfaction with airport services.

Key words: airport, transport and transfer hubs, zoning transport and transfer hubs, terminal area.

Вступ. Постійне збільшення річного пасажиропотоку аеропортів зумовлює вдосконалення транспортної системи аеровокзального комплексу. Своєю чергою, пасажирські аеровокзальні комплекси призначені для здійснення пересадки пасажирів із наземного транспорту на повітряний і навпаки, і такі, які вимушені приймати, обслуговувати й організовувати всі людські та транспортні потоки, що зростають. Пасажирські термінали для успішної діяльності обслуговування мають взаємодіяти з різними видами транспортування пасажирів, які прибувають і відбувають. Без чіткої організації пасажирських і транспортних потоків усередині аеровокзалу та на привокзальній площі така діяльність має неефективні й незадовільні результати. Тому покращення й удосконалення транспортної інфраструктури аеропортів зумовлюється формуванням на їх території транспортно-пересадочних вузлів (далі – ТПВ).

Планувальні рішення аеровокзального комплексу повинні забезпечувати не тільки зручний, безпечний і швидкий доступ до повітряних транспортних засобів, а й до різних видів наземного пасажирського транспорту, включаючи таксі, автобуси, приватні автомобілі та інші засоби пересування. Невдалі рішення функціонально-планувальної організації ТПВ можуть стати причиною заторів, затримок, незручностей і навіть небезпеки для пасажирів.

Тому важливо дослідити наявні території ділянок транспортно-пересадочних вузлів, що, своєю чергою, створить сприятливі умови для визначення оптимальних площ і габаритів транспортного вузла. Цей підхід сприятиме оптимізації пасажиропотоків, зменшенню часу на пересування та підвищенню загального рівня задоволеності пасажирів.

Визначення оптимальних площ і габаритів ТПВ є одним із найбільш відповідальних заходів для вдосконалення пішохідного і транспортного руху на території аеровокзальних комплексів. Дослідження зонування ТПВ дасть змогу прийняти оптимальні інженерно-планувальні рішення щодо організації пішохідно-транспортного потоку на привокзальній площі аеропорту.

Мінімізація часу переміщення пасажирів між зупинками транспорту на території привокзальної площі є одним із найголовніших завдань досягнення ефективного функціонування ТПВ. Складність поставленої мети полягає не у вивченні всієї структури ТПВ з показниками площ відповідних зон. Тому аналіз зонування території ТПВ може покращити різні аспекти їх функціонально-планувальної організації з подальшим удосконаленням інженерно-планувальних рішень усього аеровокзального комплексу.

Варто також зазначити, що дослідження структури й компонентів ТПВ покращить умови щодо визначення необхідних показників площ відповідних ділянок транспортного вузла.

Зрозуміло, що для впровадження раціональних планувальних та організаційних заходів для забезпечення зручних, комфортних і безпечних умов пішохідного руху на території аеровокзальних комплексів необхідно провести дослідження, які дадуть змогу виявити наявні специфічні особливості, тенденції, закономірності формування й руху пішохідних потоків у ТПВ аеропортів України.

Матеріали та методи. За останні роки багато вітчизняних і закордонних учених займалося дослідженням ТПВ. Серед таких робіт можна назвати роботи [1; 2; 3; 4; 5; 6], але перераховані публікації розглядають питання щодо окремих аспектів організації пасажирських перевезень, технології роботи зупинних пунктів із залізничними вокзальними комплексами, станціями метрополітену, аналізу схем і технології роботи пасажирських станцій, їх розміщення в межах ТПВ, саме на вулично-дорожній мережі й удосконалення методів формування ТПВ у містах. І сьогодні в основному ці питання вирішено. Але ТПВ формуються не тільки на вулицях міст, а й на території аеропортів. Тому окремою групою можна виділити дослідження, де ТПВ розглядаються в комплексі аеропорту, зокрема й аеровокзалу. Результати таких досліджень відображенні в працях таких науковців, як Анна Гаррісон (“Principles of Experience Design for Airport Terminals”, 2015 p.) [7], Сара

Н. Шучі (“A Novel Concept for Airport Terminal Design Integrating Flexibility”, 2015 р.) [8], М.Б. Касім («Принципи архітектурно-планувальної організації терміналів аеропортів (на прикладі аеропортів Іраку)», 2019 р.; «Розвиток структури сучасних аеропортів») [9; 10].

Мета роботи полягає в аналізі й визначенні функціонального зонування території ТПВ в аеропортах, що дасть змогу встановити загальні показники площ відповідних зон, які допоможуть удосконалити процеси пішохідного та транспортного руху на території аеро-вокзальних комплексів.

Результати. Транспортно-пересадочний вузол становить комплекс структурних елементів, який можна розподілити за відповідними зонами: транспортно-пішохідна, зона архітектурних споруд та об’єктів соціального призначення (за наявності) і резервна зона (за наявності) (рис. 1).

Транспортно-пішохідна зона є основною одиницею аеропортового ТПВ, де розміщуються зупиночні пункти різних видів транспорту та транспортно-пішохідні шляхи, що об’єднують пункти пересадки пасажирів. Транспортно-пішохідна зона розташовується на привокзальній площі, де здійснюються міжмаршрутні пересадки пасажирів перед аеровокзалом. Відповідно, ця територія складається з таких підзон: зони озеленення та благоустрою, пішохідної території, зони місць паркування і проїжджих частин і зони автомобільних доріг.

Зона озеленення та благоустрою складається з місць відпочинку пасажирів і зелених насаджень.

Пішохідна зона включає доріжки й пішохідну площу перед аеровокзалом і зупинки громадського та приватного транспорту. Оскільки зупинки транспорту складаються

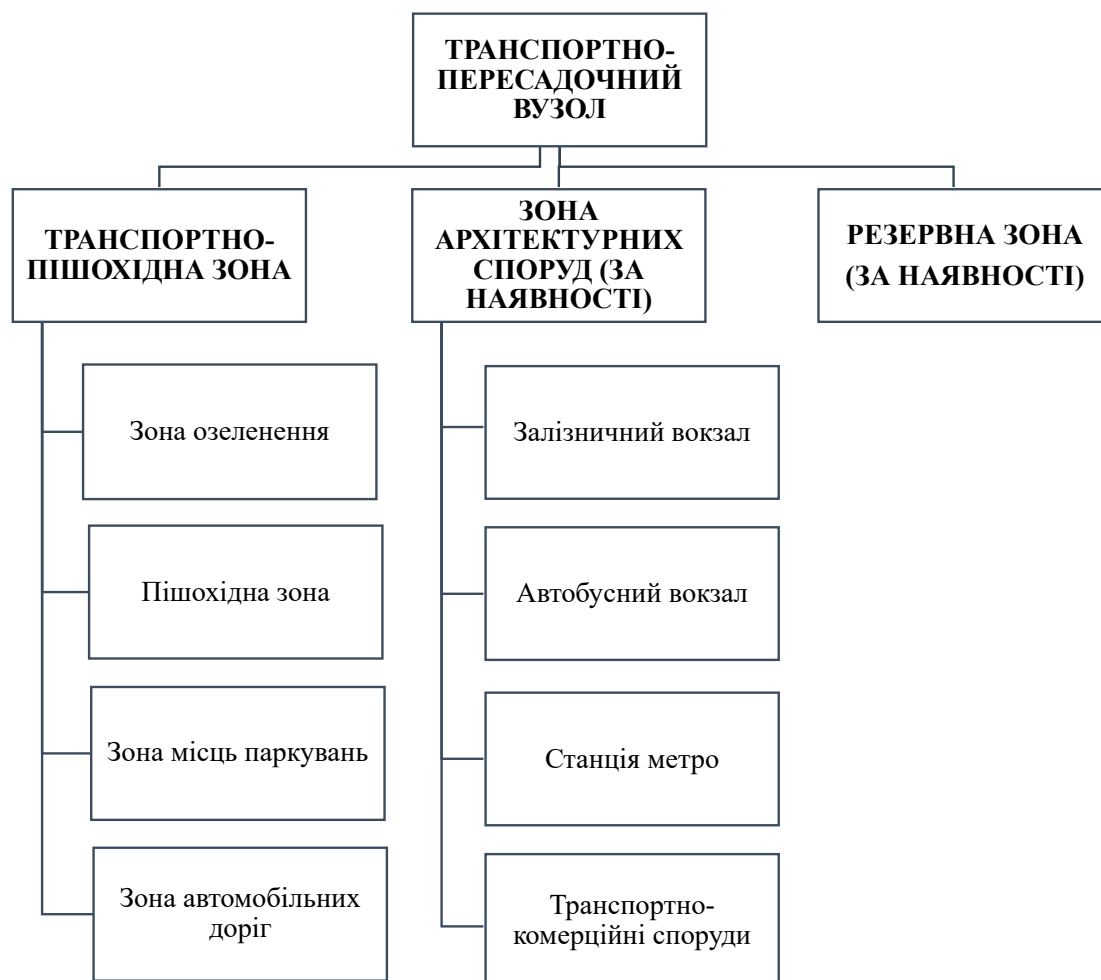


Рис. 1. Структура ТПВ на території аеропорту

з ділянки скупчення пасажирів перед посадкою та місцем зупинки транспорту, то їх можна включити до складу пішохідної зони. Своєю чергою, зупинки громадського транспорту класифікуються на автобусні, трамвайні й залізничні пункти висадки та посадки пасажирів. До приватного транспорту належать зупинки таксі й індивідуальних транспортних засобів.

Зона місць паркування і проїжджих частин складається з паркувальних майданчиків, які можна класифікувати на такі типи:

1. Короткострокові автостоянки для приватного транспорту.
2. Довгострокові автостоянки, що обслуговують приватний транспорт на добу й більше.
3. Стоянки для громадського транспорту (автобусів, трамваїв і таксі).
4. Автостоянки закритого типу (будівлі багаторівневих паркінгів).
5. Стоянка для велосипедів (зазвичай для співробітників аеропорту).
6. Стоянка для співробітників – зарезервована для осіб, які працюють в аеропорту.
7. Паркувальні місця для зони оренди автомобілів – використовуються для зберігання автомобілів, а також для їхнього обслуговування (заправка, мийка тощо).

Зона автомобільних доріг містить транспортні сполучення, які розподіляються на такі типи:

1. Службові дороги аеропорту – громадські та приватні дороги всередині аеровокзального комплексу, що забезпечують доступ до аеровокзалів, паркувальних місць, інших споруд аеропорту й регіональних, магістральних автомобільних доріг/шосе.
2. Під'їзні дороги – забезпечують рух транспорту між мережею доріг області, магістральних доріг і зоною аеровокзального комплексу.
3. Проїзні смуги перед аеровокзалом – це дороги, які розташовані поряд із площами прибуття й відправлення пасажирів і призначені для висадки й посадки пасажирів перед аеровокзалом.
4. Рециркуляційні дороги – це транспортні шляхи, які призначені для приватного та громадського транспорту, для висадки й посадки

пасажирів у межах зупиночних пунктів і на територіях паркувальних майданчиків.

Зона архітектурних споруд (за наявності). Під час формування ТПВ на основі вокзалу, станції громадського транспорту чи транспортно-комерційної споруди на території аеровокзального комплексу до структури ТПВ додається зона архітектурних споруд та об'єктів соціального призначення. До її складу може входити залізничний чи автобусний вокзал, станція метро й інші транспортно-комерційні споруди. Своєю чергою, до кожної транспортної будівлі входять такі основні приміщення: адміністрація, зали очікування, квиткові каси й посадкові платформи. Для надання додаткових послуг можуть виділятися комерційні площі: торгівельні, культурно-розважальні, харчувальні тощо, що підвищує інвестиційну привабливість ТПВ.

Прикладом ТПВ із зоною архітектурних споруд є аеропорт Франкфурта (Німеччина). Головним елементом транспортного вузла аеропорту є центр AIRail, який є офісно-готельним комплексом, що розташовується над національною залізничною станцією. Він є дев'ятиповерховою будівлею загальною площею 185 000 м² із багатьма комерційними площами й об'єктами додаткового обслуговування [11]. Також варто зазначити інші ТПВ, до складу яких входять транспортні споруди, а саме: аеропорт «Мадрид» (Іспанія) – залізнична, багаторівнева станція перед терміналом; аеропорт «Ланьчжоу Чжунчуань» (Китай) – міжнародний транспортний вузол, який розташований між терміналом і станцією міжміської залізниці Чжунчуань і містить різні види транспорту: міжміські автобуси, таксі, трансфер до аеропорту й залізничний транспорт [12]; аеропорт «Інчхон» у Сеулі (Республіка Корея) – транспортний вузол, який містить декілька залізничних систем: легкорейкове сполучення, місцеву залізницю, національну високошвидкісну залізницю та міжтермінальний швидкісний транзит [11].

Резервна зона (за наявності). Розширення й розбудова ТПВ можливе шляхом використання резервної території в разі збільшення пасажиропотоку аеропорту, його попиту

й інтенсивності прибуття транспортних засобів або в разі її відсутності влаштування багаторівневого вузла з відокремленими площами прибуття та відправлення пасажирів.

Підсумовуючи теоретичну частину дослідження складу ТПВ на території аеропортів, можемо стверджувати, що основною зоною є транспортно-пішохідна територія, яка визначає габарити й форму транспортно-пересадочного вузла.

На практичному прикладі проаналізуємо ТПВ термінала В аеропорту «Бориспіль» (рис. 2), визначивши його структуру та складові елементи. ТПВ термінала В найбільшого аеропорту України має в складі лише транспортно-пішохідну зону. Територія транспортного вузла займає значну прилеглу частину привокзальної площі перед будівлею аеровокзалу, що зумовлюється наявністю великого обсягу паркувальних місць. Є доцільним уважати, що наявність різних типів транспортних засобів у процесах пересадок на території ТПВ визначають його межі

та габарити. Таким чином, розмірами ТПВ термінала В є транспортно-пішохідна територія, яка ділиться на такі підзони (рис. 2):

- зона озеленення та благоустрою – 8,2 тис. м²;
- пішохідна зона – 5,3 тис. м²;
- зона місць паркування та проїжджих частин – 21,45 тис. м²;
- зона автомобільних доріг – 13,8 тис. м².

Зона озеленення та благоустрою містить клумби й зелені насадження.

Пішохідна зона складається з доріжок і площі перед аеровокзалом, яка є основною пішохідною територією ТПВ, де формуються основні пасажиропотоки для процесу пересадки з літака на інші види транспорту й навпаки. До складу пішохідної зони також входять зупинки громадського та приватного транспорту, тобто місця скупчення й очікування пасажирів для процесу пересадки на транспортні засоби.

Зона місць паркування і проїжджих частин охоплює автобусну стоянку, короткострокову

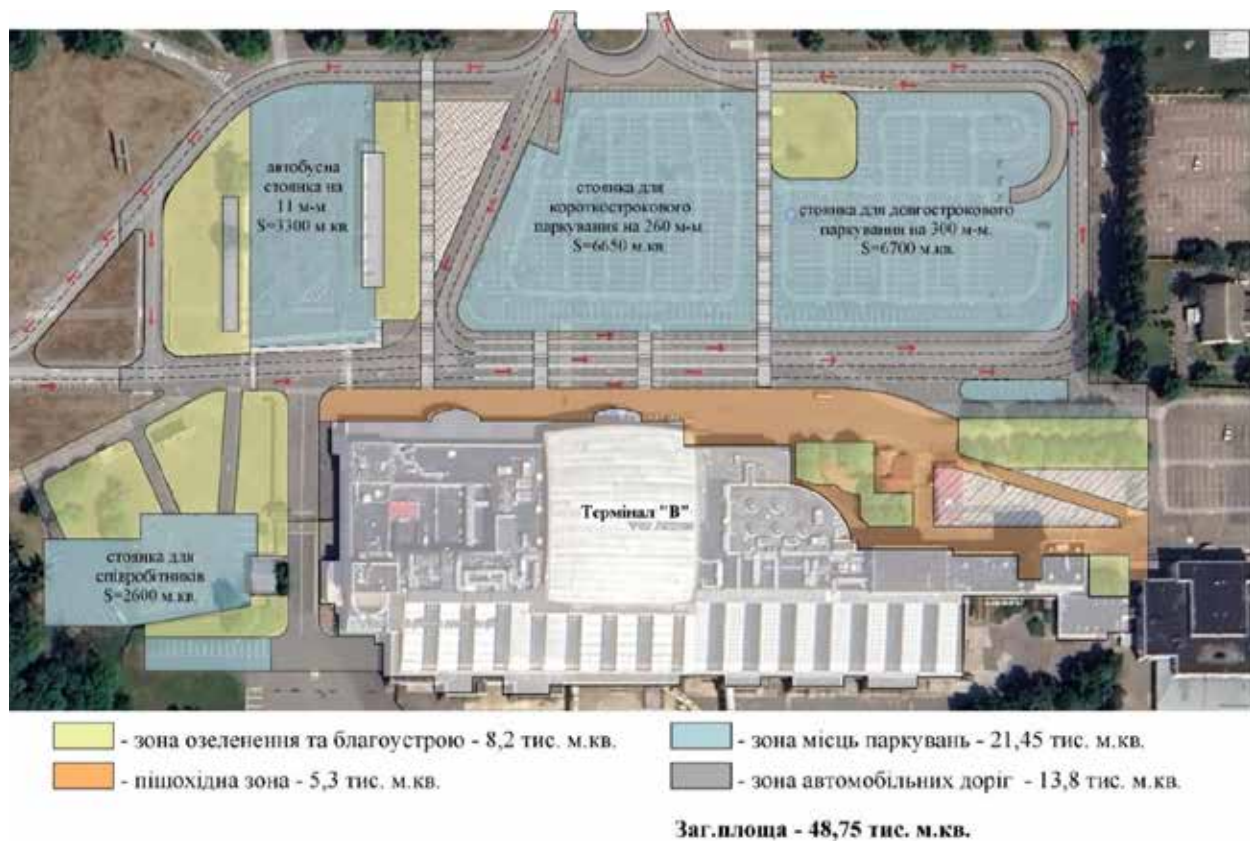


Рис. 2. Функціональне зонування ТПВ термінала В (аеропорт Бориспіль)

й довгострокову стоянку, проїжджі частини й паркування для співробітників.

Зона автомобільних доріг складається з під'їзних, рециркуляційних, службових і проїзних (проїзні смуги привокзальної площі) доріг.

Підсумовуючи аналіз транспортного вузла терміналу В аеропорту «Бориспіль», можемо виділити відсоткові співвідношення площ у ТПВ (рис. 3). З графіка зрозуміло, що найбільший відсоток займає зона паркування – 45,0%, пішохідна зона становить 11,0%, зона автомобільних доріг – 28,0%, зона озеленення – 16,0%. Із проведеного аналізу можна зробити висновок, що 1/2 частина вузла (45,0%) відводиться під зону паркування, пішохідна зона становить 1/9 частину (11,0%), ділянка доріг – 1/3,5 частину (28,0%), зона озеленення – 1/6 частину (16,0%).

Отже, на основі визначених зон функціональної організації ТПВ проаналізуємо зонування територій ТПВ вітчизняних і закордонних аеропортів із пасажиропотоком до 10 млн пас/рік із подальшим визначенням показників площ відповідних зон (таблиця 1).

На основі показників площ зонування (таблиця 1) установлено їх відсоткові значення

(таблиця 2) для розрахунку середніх показників відповідних зон. Узагальнені результати показали, що найбільшу площу ділянки ТПВ займає зона місць паркувань і проїжджих частин (45,0%), другою зоною за площею є зона автомобільних доріг (24,2%), третьою – зона благоустрою (17,3%), четвертою – пішохідна територія (13,5%).

Аналізуючи показники площ ТПВ вітчизняних і закордонних аеропортів, можемо зробити висновок, що аеропорти з пасажиропотоком більше як 2 млн пас/рік у більшості випадків мають загальну площу забудови ТПВ понад 100 тис. м².

Висновки. Підсумовуючи все вищесказане, можемо зробити висновок, що структура ТПВ на території аеропортів є багатоконпонентною та може складатися з трьох зон: транспортно-пішохідної, зони архітектурних споруд (за наявності) і резервної зони (за наявності). Аналіз функціонального зонування ТПВ вітчизняних і закордонних аеропортів дав можливість узагальнити середні відсоткові значення площ відповідних ділянок транспортно-пішохідної зони й виділити найбільшу територію ТПВ – зону паркінгів і стоянок (45%).

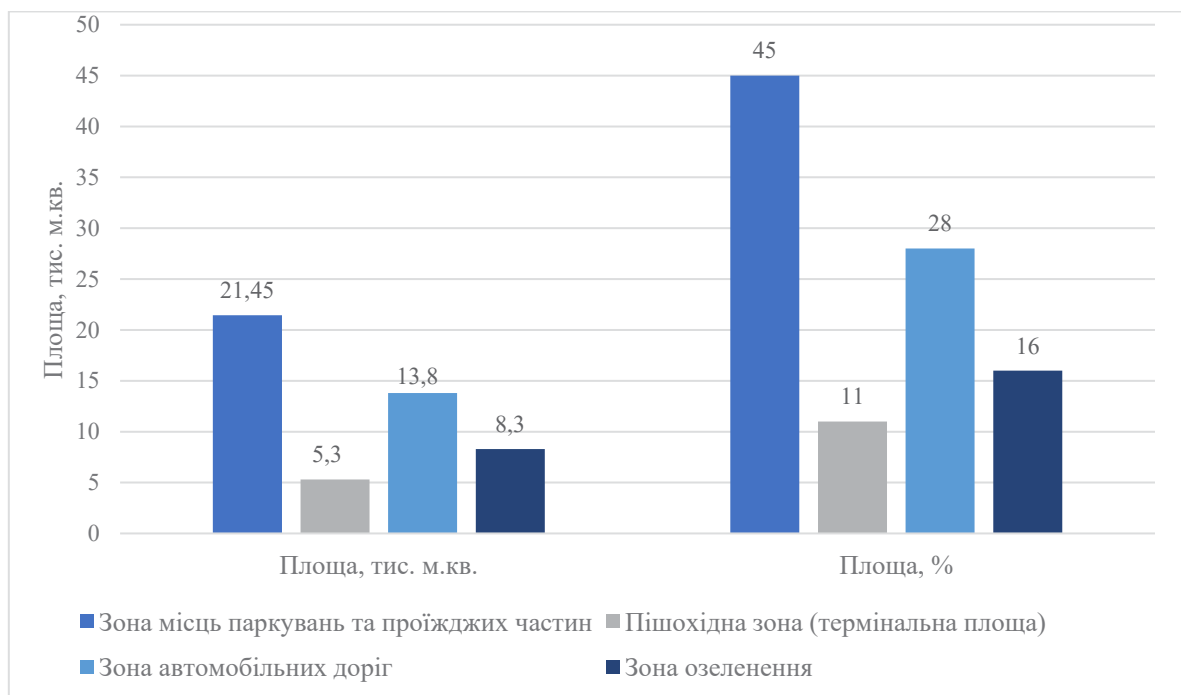


Рис. 3. Відсоткові співвідношення площ у ТПВ терміналу В аеропорту «Бориспіль»

Таблиця 1

Показники площ зонування ТПВ аеропортів

№ з/п	Аеропорт	S пішохідної зони, тис. м ²	S благоустрою, тис. м ²	S паркінгів, тис. м ²	S автомобільних доріг, тис. м ²	S ТПВ, тис. м ²
Українські						
1	«Бориспіль», термінал В	5,3	5,3	18,8	12,0	41,4
2	«Бориспіль», термінал F	3,5	9,5	23,0	9,1	45,0
3	«Харків»	17,05	3,15	20,06	26,7	67,5
4	«Львів» імені Даниїла Галицького	11,8	15,0	37,3	16,2	80,3
Закордонні						
5	Регіональний аеропорт округу Дейн (США)	9,0	25,8	71,0	30,4	136,2
6	«Загреб» (Хорватія)	15,1	14,2	44,4	33,3	107,7
7	«Вільнюс» (Литва)	8,75	5,35	31,95	12,65	58,7
8	Імені короля Шаки (ПАР)	31,2	117,0	162,9	71,0	382,1
9	«Братислава-Іванка» (Словаччина)	10,2	17,3	26,4	16,2	70,1
10	«Гданськ» (Польща)	19,2	59,5	103,2	39,8	221,7

Таблиця 2

Відсоткові показники площ зонування ТПВ аеропортів

		Відсоткові показники функціональних зон ТПВ				
№ з/п	Аеропорт	Пішохідна зона, %	Благоустрій, %	Паркінги (стоянки), %	Автомобільні дороги, %	Пасажиропотік, млн/рік
Українські						
1	«Бориспіль», термінал В	12,8	12,8	45,5	28,9	2,0
2	«Бориспіль», термінал F	8,7	21,1	51,0	20,2	2,6
3	«Харків»	26,0	5,1	31,2	39,7	1,34
4	«Львів» імені Даниїла Галицького	15,7	18,6	46,5	20,2	1,83
Закордонні						
5	Регіональний аеропорт округу Дейн (США)	7,0	18,5	52,1	22,3	2,25
6	«Загреб» (Хорватія)	14,3	13,4	41,2	31,1	3,43
7	«Вільнюс» (Литва)	14,9	9,11	54,4	21,5	5,0
8	Імені короля Шаки (ПАР)	9,7	30,1	42,6	18,6	6,09
9	«Братислава-Іванка» (Словаччина)	14,6	24,7	37,6	23,1	2,29
10	«Гданськ» (Польща)	9,9	26,8	46,5	18,0	5,37
Середні значення		13,5	17,3	45,0	24,2	

Таким чином, зрозуміло, що 1/2 території транспортного вузла відводиться під зону паркування транспортних засобів. Також варто зазначити, що встановлені показники

площ ТПВ можуть використовуватися під час проєктування нових чи реконструкції наявних привокзальних площ на території аеровокзальних комплексів.

Список використаних джерел:

1. Куцина І.А. Принципи і методи формування пішохідних просторів малих і середніх міст (на прикладі м. Ужгорода) : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.20. Київ, 2018. 145 с.
2. Ломотько Д.В., Марасіна І.Є. Аналіз функціонування транспортно-пересадочних вузлів на високошвидкісних залізничних магістралях. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 154. С. 39–47.

3. Самчук Г.О. Підвищення ефективності функціонування транспортно-пересадочних вузлів наземного міського пасажирського транспорту : дис. ... канд. техніч. наук : 05.22.01. Харків, 2018. 206 с.
4. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / В.П. Поліщук, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба та ін. Київ : Знання України, 2014. 467 с.
5. Рейцен Є.О. Організація і безпека міського руху : навчальний посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна, 2014. 454 с.
6. Систематологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. Київ : Знання України, 2007. 452 с.
7. Harrison A. Principles of Experience Design for Airport Terminals. Phd thesis. Queensland University of Technology. Brisbane, 2015. 245 p.
8. Sarah N., Shuchi B.A. Novel Concept for Airport Terminal Design Integrating Flexibility : Phd thesis ; Queensland University of Technology. Brisbane, 2015. 264 p.
9. Касім М.Б. Принципи архітектурно-планувальної організації терміналів аеропортів (на прикладі аеропортів Іраку) : дис. ... канд. арх. : 18.00.02. Київ : КНУБА, 2019. 255 с.
10. Касім М.Б. Розвиток структури сучасних аеропортів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : науково-технічний збірник. Київ, 2018. Вип. 52. С. 328–337.
11. Blow C.J. Transport terminals and modal interchanges. Planning and design. Amsterdam : Architectural Press, an imprint of Elsevier, 2005.
12. Jian Jia, Yingang Fang. Underground space development in comprehensive transport hubs in China. *Procedia Engineering*. 2016. № 165. P. 404–417.

References:

1. Kutsyna, I. A. (2018). Pryntsypy i metody formuvannya pishokhidnykh prostoriv malykh i serednykh mist (na prykladi m. Uzhhoroda) [Principles and methods of forming pedestrian spaces in small and medium-sized cities (using the example of Uzhhorod)]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Lomotko, D. V., & Marasina, I. Ye. (2015). Analiz funktsionuvannya transportno-peresadochnykh vuzliv na vysokoshvydkisnykh zaliznychnykh mahistraliakh [Analysis of the functioning of transport interchanges on high-speed railway lines]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT [Collection of scientific works of UkrDUZT]*. vyp. 154, [in Ukrainian].
3. Samchuk, H. O. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannya transportno-peresadochnykh vuzliv nazemnoho miskoho pasazhyrskoho transportu [Improving the efficiency of the functioning of transport and interchange hubs of the ground passenger transport]: *Candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
4. Polishchuk, V. P., Bakulich, O. O., & Dziuba, O. P. et al. (2014). *Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu [Organization and regulation of road traffic]*. Znannia Ukrainy, Kyiv [in Ukrainian].
5. Reitsen, Ye. O. (2014). *Orhanizatsiia i bezpeka miskoho rukhu [Organization and safety of urban traffic]*. Kyiv: TOV «SIK HRUP [in Ukrainian].
6. Havrylov, E. V., Dmytrychenko, M. F., & Dolia, V. K. Et al. (2007). *Systematolohiia na transporti. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu [Systematology in transport. Organization of traffic]*. Znannia Ukrainy, Kyiv [in Ukrainian].
7. Anna, Harrison (2015). Principles of Experience Design for Airport Terminals. Phd thesis. Queensland University of Technology. Brisbane [in English].
8. Sarah, N., & Shuchi, B. A. (2015). Novel Concept for Airport Terminal Design Integrating Flexibility. Phd thesis, Queensland University of Technology, Brisbane [in English].
9. Kasim, M. B. (2019). Pryntsypy arkhitekturno-planuvanoi orhanizatsii terminaliv aeroportiv (na prykladi aeroportiv Iraku) [Principles of architectural and planning organization of airport terminals (on the example of Iraqi airports)]. *Candidate's thesis*. KNUBA. Kyiv [in Ukrainian].
10. Kasim, M.B. (2018). Rozvytok struktury suchasnykh aeroportiv. [Development of the structure of modern airports]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya – Modern problems of architecture and urban planning: scientific and technical collection*. (pp. 328–337). Kyiv. Vyp. 52 [in Ukrainian].
11. Blow, C.J. (2005). Transport terminals and modal interchanges. Planning and design. Amsterdam : Architectural Press, an imprint of Elsevier [in English].
12. Jian Jia, & Yingang Fang (2016). Underground space development in comprehensive transport hubs in China. *Procedia Engineering* 165, p. 404–417 [in English].

УДК 004:624

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.10>**Родченко Олександр Васильович,**

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7703-4936>
E-mail: oleksandr.rodchenko@npp.nau.edu.ua
Scopus-Author ID: 57195996540
Researcher ID: F-4063-2018

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ПАРАМЕТРА ЖОРСТКОГО АЕРОДРОМНОГО ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. Стаття присвячена особливостям використання штучного інтелекту для визначення класифікаційного параметра жорстких аеродромних покриттів. Штучний інтелект (ШІ) – це поведінка комп'ютерної системи, що імітує процес прийняття рішення людини. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) прийняла новий метод Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating (ACR/PCR), що замінить метод ACN/PCN (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number). ACR – це класифікаційний параметр повітряного судна, що визначається як подвоєне значення допустимого навантаження на колеса, виражене в сотнях кілограмів. PCR – це класифікаційний параметр аеродромного покриття, що визначається як ACR «критичного» або еталонного літака при максимальній допустимій злітній масі. У зв'язку з введенням у дію нового методу ICAO ACR/PCR виникла необхідність в адаптації вітчизняної методики до нових вимог. За допомогою комп'ютерної програми ICAO ACR визначено класифікаційний параметр ACR для різних значень категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору. Однією зі сфер, де ШІ має глибокий вплив, є регресійний аналіз. Розглянуто спосіб використання ШІ ChatGPT для регресійного аналізу під час визначення класифікаційного параметра жорстких аеродромних покриттів. Отримано емпіричні формули для визначення класифікаційного параметра жорсткого аеродромного покриття PCR для чотирьох категорій міцності ґрунтової основи. Чат-бот зі штучним інтелектом ChatGPT можна використовувати для регресійного аналізу, але він не надає відразу потрібну відповідь у вигляді числових значень, і для подальших розрахунків необхідно використовувати розроблену ChatGPT програму. Комп'ютерні технології моделювання будівельних конструкцій і штучний інтелект мають потенціал для вдосконалення будівництва аеропортів.

Ключові слова: комп'ютерні технології, класифікаційний параметр літака, класифікаційний параметр аеродромного покриття, штучний інтелект, метод найменших квадратів, жорстке аеродромне покриття.

Rodchenko Oleksandr. COMPUTER TECHNOLOGIES OF AIRFIELD RIGID PAVEMENT CLASSIFICATION RATING DETERMINING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. This paper is dedicated to the specifics of using artificial intelligence for determining the classification rating of airfield rigid pavements. Artificial intelligence (AI) is the behavior of a computer system that simulates the decision-making process of a human. The International Civil Aviation Organization (ICAO) has adopted a new method called Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating (ACR/PCR), which will replace the Aircraft Classification Number Pavement Classification Number (ACN/PCN) method. ACR is the aircraft classification rating, defined as twice the permissible wheel load, expressed in hundreds of kilograms. PCR is the classification rating of airfield pavement, defined as the ACR of the "critical" or reference aircraft at its maximum permissible takeoff weight. Due to the introduction of ICAO's new ACR/PCR method, there is a need to adapt the Ukrainian methodology to meet these new requirements. Using the ICAO ACR computer program, the ACR classification rating for various values of standard load on a four-wheel support was determined. One of the areas where AI has a significant impact is in regression analysis. The article examines the use of AI, specifically ChatGPT, for regression analysis in determining the classification rating of airfield rigid pavements. Empirical formulas for determining the airfield rigid pavement classification rating (PCR) for four categories of subgrade strength

have been obtained. AI chatbots ChatGPT can be used for regression analysis, it does not provide immediate numerical answers, and further calculations require using a program developed by ChatGPT. Computer modeling technologies and artificial intelligence have the potential to improve airport construction.

Key words: computer technologies, pavement classification rating, aircraft classification rating, artificial intelligence, method of least squares, airfield rigid pavement.

Вступ. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) прийняла метод, що замінить метод ACN/PCN (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number). Новий метод, що отримав назву Aircraft Classification Rating/Pavement Classification Rating (ACR/PCR), включений до Поправки 15 до Додатка 14 ICAO, Том 1 (ICAO, 2020), детально описаний в оновленні до Посібника з проєктування аеродромів ICAO (ADM), Частина 3 (ICAO, 2022). Метод ACR/PCR набув чинності в липні 2020 року і, як очікується, повністю замінить ACN/PCN 28 листопада 2024 року. Протягом перехідного періоду обидва методи залишатимуться доступними [1].

ACR (класифікаційний параметр літака) визначається як подвоєне значення допустимого навантаження на колеса (DSWL), виражене в сотнях кілограмів, замість тисяч кілограмів, як це було у визначенні ACN. Ця зміна у визначенні призводить до того, що значення ACR (і відповідного PCR) приблизно в десять разів більше за величиною, ніж значення ACN (і відповідного PCN). Це лише питання визначення; це не означає, що можна перетворити ACN в ACR (або PCN у PCR), просто помноживши на десять. Причиною цієї зміни було уникнення можливої плутанини під час звітування (наприклад, випадкове порівняння ACR з PCN), особливо в перехідний період, коли обидві системи використовуються [1].

PCR (класифікаційний параметр аеродромного покриття) визначається як ACR «критичного» або еталонного повітряного судна при його максимальній допустимій злітній масі. Таким чином, основна функція методу PCR полягає в ідентифікації критичного повітряного судна й визначенні його максимальної допустимої злітної маси. Після цього можна розрахувати ACR, використовуючи стандартну процедуру ICAO, і призначити його для PCR [1].

У зв'язку з введенням у дію нового методу ICAO ACR/PCR виникла необхідність в адаптації вітчизняної методики визначення PCN до нових вимог.

Оцінювання та звітування про несучу здатність покриттів аеродромів завжди були важливими завданнями в аеропортовій інженерії, оскільки вони підтримують процес прийняття рішень. Офіційна система звітування, що використовувалася в усьому світі протягом останніх чотирьох десятиліть, – це метод ACN/PCN. Однак нещодавно запроваджена оновлена система, метою якої є усунення недоліків системи ACN/PCN, що спостерігалися під час її використання. Ця система, відома як ACR/PCR, покликана враховувати останні досягнення в проєктуванні й оцінюванні аеродромних покриттів. Оскільки відбувається перехідний період, у праці [2] розглянуто критичні аспекти, що виникають під час упровадження оновленої системи, на основі сучасних методів оцінювання покриттів аеродромів Федеральною авіаційною адміністрацією. На цій основі розглядається питання перенесення між двома системами, надаються корисні коментарі й зауваження для аеропортових органів, які хочуть упровадити метод ACR/PCR повою мірою. Аналіз показує, що перенесення між двома системами не є можливим, і впровадження оновленої системи ACR/PCR може призвести до низки проблем, таких як необхідність модифікації наявних звітів про несучу здатність покриття [2].

У науковій праці [3] на прикладі аеропорту Південно-Східної Азії обговорено аномалії між проєктною несучою здатністю покриття за методом розрахунку товщини покриття РТД та методом ACN/PCN. Установлено, що метод ACR/PCR може надавати результати структурної оцінки покриття, що відповідають результатам за методом РТД [3].

Важливість використання неруйнівного контролю для точного оцінювання фактич-

ного стану аеродромного покриття злітно-посадкової смуги й визначення індексу PCR зазначено в праці [4].

Федеральна авіаційна адміністрація (ФАА) США з 2017 року проводить дослідження використання ШІ для вирішення завдань із проєктування аеродромних покриттів [5–11]. Модель машинного навчання, розроблена ФАА, пропонується до використання в новій програмі ANNFAA для проєктування жорстких аеродромних покриттів і визначення класифікаційного параметра аеродромного покриття [12; 13].

Штучний інтелект – це поведінка комп'ютерної системи, що імітує процес прийняття рішення людини [14–16].

Штучний інтелект включає такі підрозділи:

1. Машинне навчання (ML) – дає змогу комп'ютерам навчатися з даних і вдосконалюватися без явного програмування.

2. Обробка природної мови (NLP) – здатність комп'ютерів розуміти й генерувати людську мову, як письмову, так й усну.

3. Комп'ютерний зір – технологія, що дає змогу комп'ютерам «бачити» й розпізнавати об'єкти на зображеннях або відео.

4. Нейронні мережі – це обчислювальні моделі, що копіюють принципи роботи людського мозку, можуть використовуватися для виявлення складних шаблонів у даних.

5. Робототехніка – галузь, що застосовує ШІ для керування роботами, що можуть виконувати завдання автономно або за допомогою людини.

Штучний інтелект застосовується в багатьох сферах: медицині, фінансах, автомобілебудуванні, сільському господарстві, інженерії тощо.

Матеріали та методи. Однією зі сфер, де ШІ має глибокий вплив, є регресійний аналіз. Розглянемо модель поліноміальної регресії $PCR = a \cdot F_n^2 + b \cdot F_n + c$. Припустимо, що маємо результати n пар незалежних спостережень. Суть задачі полягає у визначенні згладжувальної кривої, що «найкращим» чином проходить через множину точок. Найпоширенішим методом при розв'язанні цієї задачі є метод найменших квадратів [17].

Принцип методу найменших квадратів для поліноміальної регресії полягає в знаходженні параметрів регресії a , b та c , для яких сума квадратів відхилень дослідних значень показника від згладжувальних буде мінімальною [17].

Для оцінювання адекватності парної квазілінійної регресії спостережуваним або табличним даним можна використати критерій Фішера [17]:

$$F_p = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot (n - 2).$$

де n – кількість значень фактору, R – коефіцієнт кореляції.

Результати. Суть вітчизняної методики визначення класифікаційного числа аеродромного покриття PCN полягає у визначенні значення максимального категорійного нормативного навантаження, що діє на аеродромне покриття, і встановленні за графіком величини PCN [18; 19].

За допомогою комп'ютерної програми ICAO ACR визначено класифікаційний параметр ACR для різних значень категорійного нормативного навантаження на чотиріколісну опору F_n (таблиця 1) для категорій міцності ґрунтової основи (А – висока міцність, В – середня, С – низька, D – дуже низька).

Визначимо невідомі параметри поліноміальної моделі регресії $PCR = a \cdot F_n^2 + b \cdot F_n + c$. Для вирішення цієї задачі використано ChatGPT. ChatGPT – це штучний інтелект, створений компанією OpenAI на основі мовної моделі GPT (Generative Pre-trained Transformer). Він призначений для обробки та генерації текстів у природній мові. За допомогою ChatGPT можна вести бесіди, отримувати відповіді на питання, перекладати тексти, генерувати ідеї, писати різні типи текстів, програми різними мовами програмування тощо. ChatGPT надав відповідь:

– у вигляді програмного коду мовою Python для визначення невідомих параметрів регресії та побудови графіка,

– у вигляді визначених значень невідомих параметрів a , b та c ,

– у вигляді графіка.

Таблиця 1

**Класифікаційний параметр ACR категорійного нормативного навантаження
для категорії міцності ґрунтової основи А**

F_n , кН	ACR	F_n , кН	ACR	F_n , кН	ACR	F_n , кН	ACR
300	140,32	500	273,87	700	459,52	900	686,85
310	145,87	510	281,87	710	470,00	910	699,09
320	151,52	520	290,08	720	480,58	920	711,41
330	157,28	530	298,45	730	491,08	930	723,80
340	163,15	540	306,98	740	502,04	940	736,26
350	169,13	550	315,68	750	512,94	950	748,79
360	175,23	560	324,49	760	523,93	960	761,40
370	181,44	570	333,22	770	535,27	970	774,07
380	187,77	580	342,24	780	546,37	980	786,80
390	194,21	590	351,38	790	557,55	990	799,60
400	200,79	600	360,64	800	568,80	1000	812,47
410	207,49	610	370,02	810	580,18	1010	825,40
420	214,31	620	379,52	820	591,70	1020	838,39
430	221,27	630	389,13	830	603,31	1030	851,45
440	228,37	640	398,86	840	615,00	1040	864,57
450	235,61	650	408,70	850	626,77	1050	877,47
460	242,99	660	418,65	860	638,63	1060	891,21
470	250,51	670	428,71	870	650,57	1070	904,30
480	258,15	680	438,88	880	662,58	1080	917,67
490	265,92	690	449,15	890	674,68	1090	931,10

Модель поліноміальної регресії з визначеними параметрами для категорії міцності ґрунтової основи А має вигляд:

$$PCR_A = 0,00052 \cdot F_n^2 + 0,28496 \cdot F_n + 3,06987. \quad (1)$$

За аналогією отримано емпіричні формули для інших категорій міцності ґрунтової основи:

– для В

$$PCR_B = 0,0004 \cdot F_n^2 + 0,5764 \cdot F_n - 61,8983; \quad (2)$$

– для С

$$PCR_C = 0,00037 \cdot F_n^2 + 0,75123 \cdot F_n - 87,3057; \quad (3)$$

– для D

$$PCR_D = 0,00032 \cdot F_n^2 + 0,897 \cdot F_n - 97,23. \quad (4)$$

Для графічного визначення величини класифікаційного рейтингу PCR жорсткого аеродромного покриття наведено графіки на рис. 1–4, отримані за допомогою розробленої ChatGPT програми.

Висновки. Отримано емпіричні формули для визначення класифікаційного параметра жорсткого аеродромного покриття PCR для чотирьох категорій міцності ґрунтової основи за допомогою розробленої ChatGPT програми.

При визначенні величини PCR за отриманими емпіричними формулами (1–4) для значень категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору F_n в інтервалі від 300 до 1090 кН розбіжність із результатами, отриманими в комп'ютерній програмі ICAO ACR, знаходиться в межах від 1 до 4% (для категорії міцності ґрунтової основи А), 3–7% (для категорії міцності ґрунтової основи В), 1–3% (для категорій міцності ґрунтової основи С та D).

Отримані емпіричні формули (1–4) дають також можливість визначати величину класифікаційного параметра жорсткого аеродромного покриття PCR для значень категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору F_n в інтервалі від 1100 до 1220 кН із розбіжністю з результатами у програмі ICAO ACR в межах від 0,5 до 3,5%.

При визначенні PCR для значень категорійного нормативного навантаження в інтервалі від 200 до 290 кН розбіжність із програмою ICAO ACR буде в межах від 5 до 10% для категорії міцності ґрунтової основи А.

При визначенні PCR для значень категорійного нормативного навантаження 240–290 кН

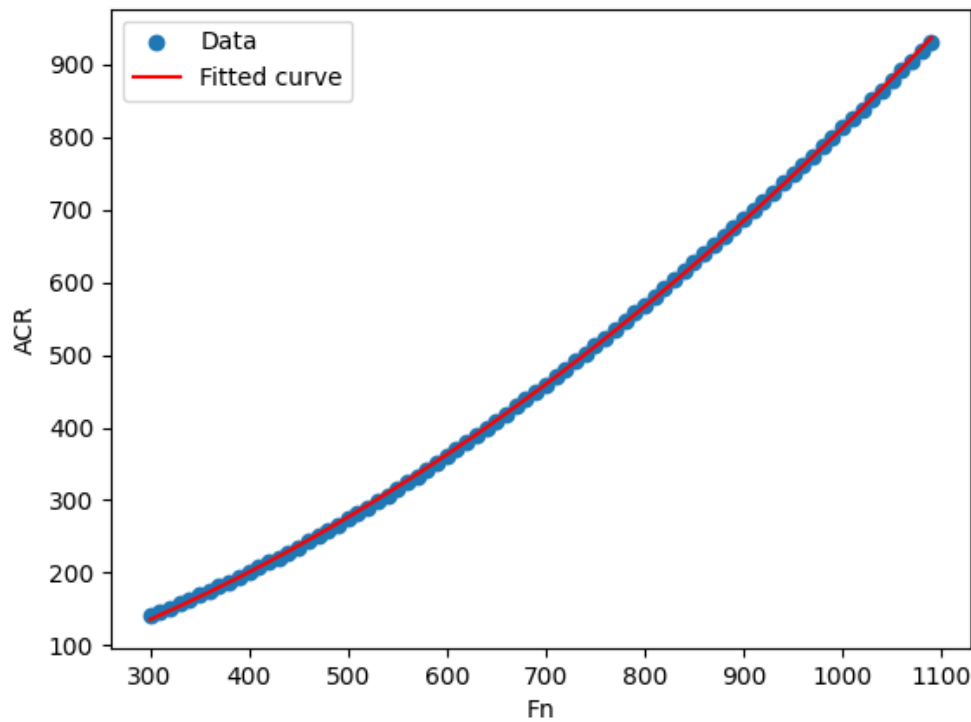


Рис. 1. Графік для визначення *PCR* жорсткого покриття для категорії міцності ґрунтової основи А

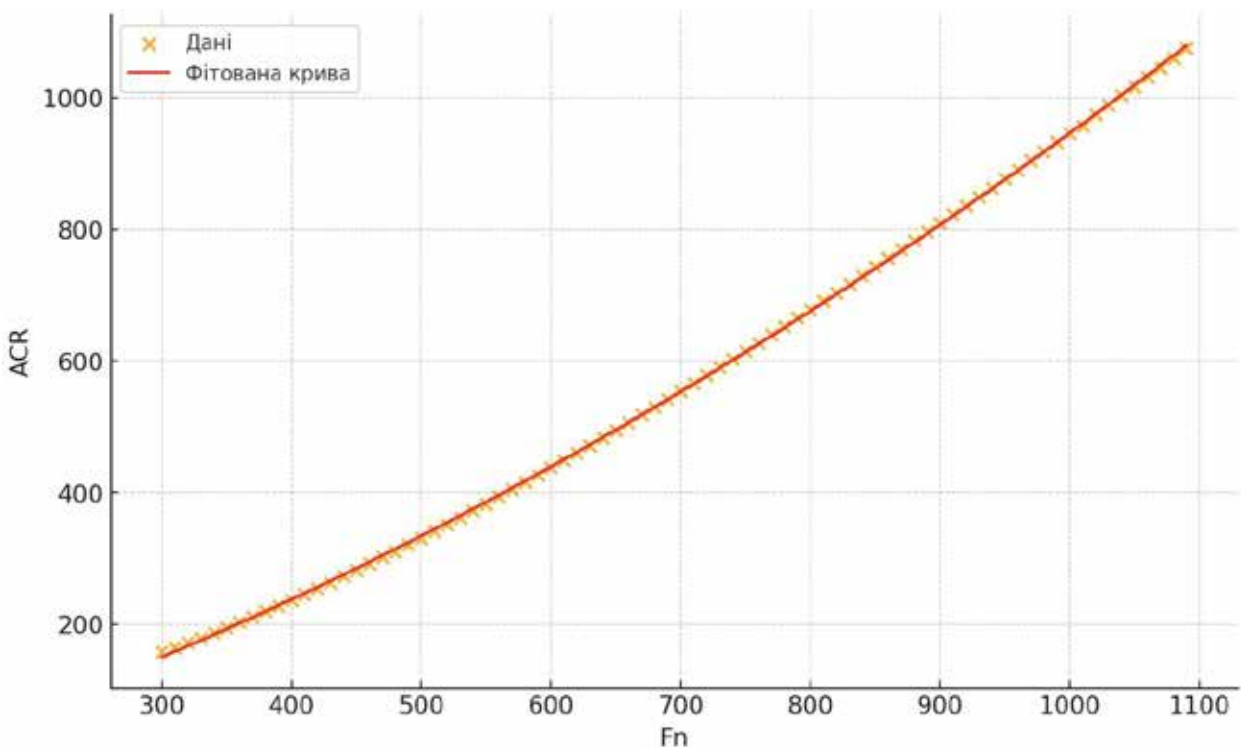


Рис. 2. Графік для визначення *PCR* жорсткого покриття для категорії міцності ґрунтової основи В

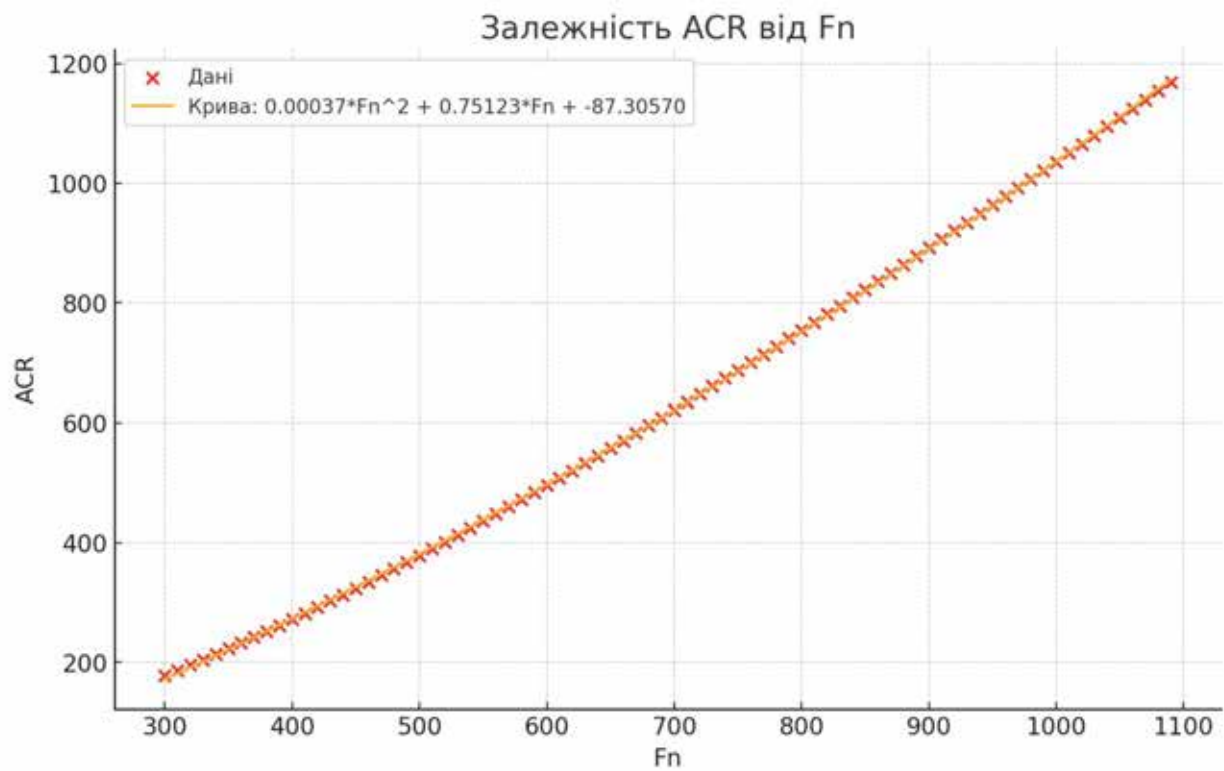


Рис. 3. Графік для визначення *PCR* жорсткого покриття для категорії міцності ґрунтової основи С

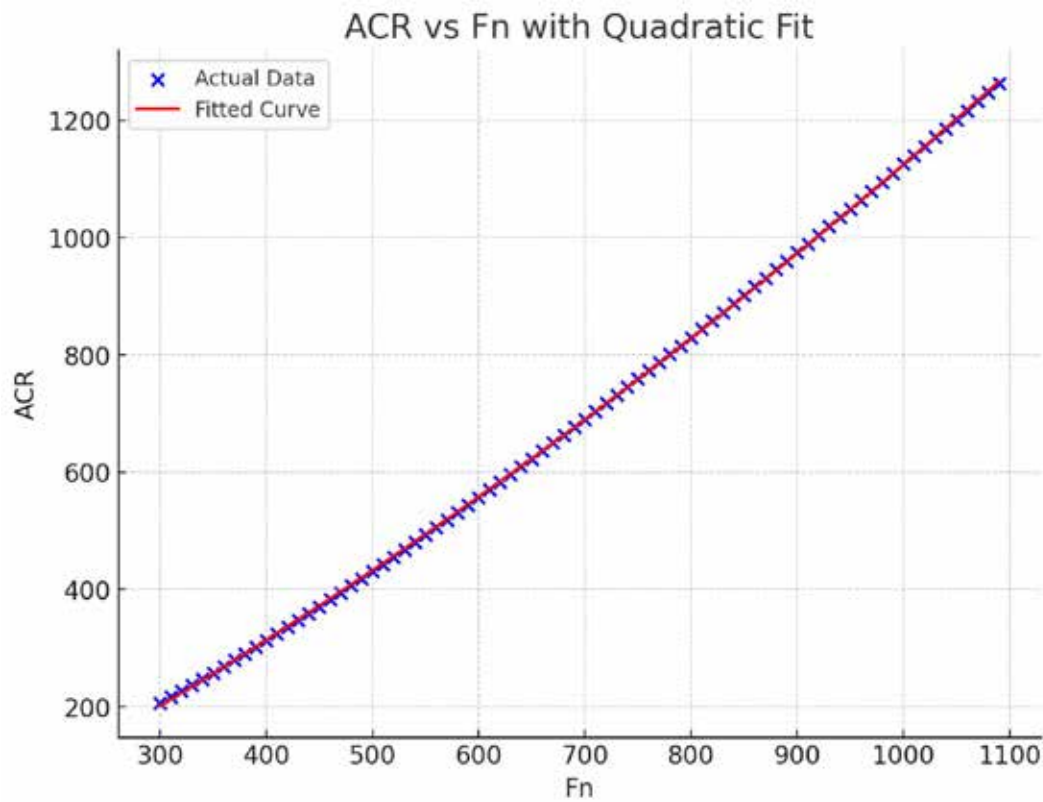


Рис. 4. Графік для визначення *PCR* жорсткого покриття для категорії міцності ґрунтової основи D

розбіжність із програмою ICAO ACR буде вже в межах від 7 до 10% для категорії міцності ґрунтової основи В.

При визначенні параметра PCR для значень категорійного нормативного навантаження 260–290 кН розбіжність із програмою ICAO ACR буде 5–9% для категорії міцності ґрунтової основи С.

При визначенні параметра PCR для значень категорійного нормативного навантаження 240–290 кН розбіжність із програмою

ICAO ACR буде 3–10% для категорії міцності ґрунтової основи D.

Не рекомендується застосовувати формули (2) та (4) для значень категорійного нормативного навантаження в інтервалі від 10 до 100 кН, оскільки результат матиме від'ємне значення.

Не рекомендується також застосовувати формулу (3) для значень категорійного нормативного навантаження від 10 до 110 кН, оскільки отриманий результат матиме від'ємне значення.

Список використаних джерел:

1. Advisory Circular No 150/5335-D. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength-PCR. U.S. Federal Aviation Administration (FAA). Department of Transportation, 2022. 102 p.
2. Angeliki Armeni, Andreas Loizos. Preliminary evaluation of the ACR-PCR system for reporting the bearing capacity of flexible airfield pavements. *Transportation Engineering*. 2022. Vol. 8. P. 2–14.
3. Sun J., Oh E., Chai G., Ma Z., Bell P. Comparison between ACN–PCN and ACR–PCR for rigid airport pavement with case study. *Road Materials and Pavement Design*. 2024. 1–13.
4. Armeni Angeliki, Loizos Andreas. Reporting the Bearing Capacity of Airfield Pavements Using PCR Index, 2024. NDT. 2. P. 16–31.
5. Ali Z. Ashtiani, Thomas Paniagua, Timothy Parsons, Greg Foderaro. Machine Learning Solutions for Top-Down Cracking Design of Airport Rigid Pavement. Final Report DOT/FAA/TC-22/44, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Aviation Research Division, Atlantic City, International Airport, New Jersey, 2022. 74 p.
6. Kaya O., Rezaei-Tarahomi A., Ceylan H.İ., Gopalakrishnan K., Kim S., Brill D.R. Neural Network-Based Multiple-Slab Response Models for Top-Down Cracking Mode in Airfield Pavement Design. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. 2018. № 144 (2). P. 04018009. P. 1–9.
7. Kaya O. Development of Neural Network-Based Asphalt Mix Design Parameters Prediction Tool. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2002. 48. P. 12793–12804.
8. Rezaei-Tarahomi A., Kaya O., Ceylan H., Gopalakrishnan K., Kim S., Brill D.R. Sensitivity quantification of airport concrete pavement stress responses associated with top-down and bottom-up cracking. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2017. № 10. P. 410–420.
9. Rezaei-Tarahomi A., Kaya O., Ceylan H.İ., Kim S., Gopalakrishnan K., Brill D.R. Development of rapid three-dimensional finite-element based rigid airfield pavement foundation response and moduli prediction models. *Transportation geotechnics*. 2017. № 13. P. 81–91.
10. Jing C., Zhang J., Song, B. An innovative evaluation method for performance of in-service asphalt pavement with semi-rigid base. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 235. 117376.
11. Salsilli R., Wahr C., Delgadillo R., Huerta J., Sepúlveda P. Field performance of concrete pavements with short slabs and design procedure calibrated for Chilean conditions. *International Journal of Pavement Engineering*. 2015. № 16. P. 363–379.
12. Rezaei Tarahomi A., Kaya O., Ceylan H.İ., Gopalakrishnan K., Kim S., Brill D.R. ANNFAA: artificial neural network-based tool for the analysis of Federal Aviation Administration's rigid pavement systems. *International Journal of Pavement Engineering*. 2020. Vol. 23. P. 400–413.
13. Tarahomi A.R., Kaya O., Ceylan H., Gopalakrishnan K., Sunghwan Kim S., Brill D.R. ANNFAA: artificial neural network-based tool for the analysis of Federal Aviation Administration's rigid pavement systems. *International Journal of Pavement Engineering*. 2022. № 23:2. P. 400–413.
14. Abambres M., Ferreira A. Application of ANN in Pavement Engineering: State-of-Art. *Mechanical Engineering eJournal*. 2017. P. 1–61.
15. Abed A., Thom N.H., Campos-Guereta I., Airey G. Improved Multi-Layer Analysis of Pavement Response Using Neural Networks to Optimize Numerical Integration. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2024. Vol. 17. P. 549–562.
16. Yang X., Jinchao G., Ling D., You Z., Lee V.C., Hasan M.R., Cheng X. Research and applications of artificial neural network in pavement engineering: a state-of-the-art review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2021. Vol. 8. № 6. P. 1000–1021.

17. John Wolberg. Data Analysis Using the Method of Least Squares. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. 250 p.
18. Karpov V., Stepanchuk O., Dubyk O., Rodchenko O., Prentkovskis O. Improvement of Methodology of Calculation and Assessment of Transport and Operational Condition of Airfield Pavement (on the Example of Airport Pavements of Kyiv and Mykolaiv International Airports). *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. P. 806–823.
19. Rodchenko O. Computer technologies for concrete airfield pavement design. *Aviation*. 2017. № 21 (3). P. 111–117.

References:

1. Federal Aviation Administration (FAA), Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength-PCR, *Advisory Circular No 150/5335-D*, U.S. Department of Transportation, 2022 [in English].
2. Angeliki Armeni, Andreas Loizos. (2022). Preliminary evaluation of the ACR-PCR system for reporting the bearing capacity of flexible airfield pavements, *Transportation Engineering*, Volume 8. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100117> [in English].
3. Sun, J., Oh, E., Chai, G., Ma, Z., & Bell, P. (2024). Comparison between ACN–PCN and ACR–PCR for rigid airport pavement with case study. *Road Materials and Pavement Design*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/14680629.2024.2375604> [in English].
4. Armeni, Angeliki & Loizos, Andreas. (2024). Reporting the Bearing Capacity of Airfield Pavements Using PCR Index. *NDT*. 2. 16–31. 10.3390/ndt2010002 [in English].
5. Ali Z. Ashtiani, Thomas Paniagua, Timothy Parsons, & Greg Foderaro (2022). Machine Learning Solutions for Top-Down Cracking Design of Airport Rigid Pavement [online]. Final Report DOT/FAA/TC-22/44, Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center, Aviation Research Division, Atlantic City, International Airport, New Jersey. Retrieved from: <https://www.airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Pavement-Papers-Publications/Airport-Pavement-Detail/machine-learning-solutions-for-top-down-cracking-design-of-airport-rigid-pavement> [in English].
6. Kaya, O., Rezaei-Tarahomi, A., Ceylan, H.İ., Gopalakrishnan, K., Kim, S., & Brill, D.R. (2018). Neural Network–Based Multiple-Slab Response Models for Top-Down Cracking Mode in Airfield Pavement Design. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000035> [in English].
7. Kaya, O. (2022). Development of Neural Network-Based Asphalt Mix Design Parameters Prediction Tool. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48, 12793–12804. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07579-7> [in English].
8. Rezaei-Tarahomi, A., Kaya, O., Ceylan, H., Gopalakrishnan, K., Kim, S., & Brill, D.R. (2017). Sensitivity quantification of airport concrete pavement stress responses associated with top-down and bottom-up cracking. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10, 410–420. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.001> [in English].
9. Rezaei-Tarahomi, A., Kaya, O., Ceylan, H.İ., Kim, S., Gopalakrishnan, K., & Brill, D.R. (2017). Development of rapid three-dimensional finite-element based rigid airfield pavement foundation response and moduli prediction models. *Transportation geotechnics*, 13, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.08.011> [in English].
10. Jing, C., Zhang, J., & Song, B. (2020). An innovative evaluation method for performance of in-service asphalt pavement with semi-rigid base. *Construction and Building Materials*, 235, 117376. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117376> [in English].
11. Salsilli, R., Wahr, C., Delgadillo, R., Huerta, J., & Sepúlveda, P. (2015). Field performance of concrete pavements with short slabs and design procedure calibrated for Chilean conditions. *International Journal of Pavement Engineering*, 16, 363–379. <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.943129> [in English].
12. Rezaei Tarahomi, A., Kaya, O., Ceylan, H.İ., Gopalakrishnan, K., Kim, S., & Brill, D.R. (2020). ANNFAA: artificial neural network-based tool for the analysis of Federal Aviation Administration's rigid pavement systems. *International Journal of Pavement Engineering*, 23, 400–413. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1748627> [in English].
13. Tarahomi, A.R., Kaya, O., Ceylan, H., Gopalakrishnan, K., Sunghwan Kim, S., & Brill, D.R. (2022). ANNFAA: artificial neural network-based tool for the analysis of Federal Aviation Administration's rigid pavement systems. *International Journal of Pavement Engineering*, 23:2, 400–413. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1748627> [in English].
14. Abambres, M., & Ferreira, A. (2017). Application of ann in pavement engineering: State-of-art. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3351973> [in English].

15. Abed, A., Thom, N., & Campos-Guereta, I. *et al.* (2024). Improved Multi-layer Analysis of Pavement Response Using Neural Networks to Optimize Numerical Integration. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 17, 549–562. <https://doi.org/10.1007/s42947-022-00255-x> [in English].
16. Yang, X., Jinchao, G., Ling, D., You, Z., Lee, V.C., Hasan, M.R., & Cheng, X. (2021). Research and applications of artificial neural network in pavement engineering: a state-of-the-art review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, Vol. 8, № 6, 1000–1021. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.005> [in English].
17. John Wolberg (2006). *Data Analysis Using the Method of Least Squares*. Springer, Berlin, Heidelberg. 250 p. https://doi.org/10.1007/3-540-31720-1_2 [in English].
18. Karpov, V., Stepanchuk, O., Dubyk, O., Rodchenko, O., & Prentkovskis, O. (2023). Improvement of Methodology of Calculation and Assessment of Transport and Operational Condition of Airfield Pavement (on the Example of Airport Pavements of Kyiv and Mykolaiv International Airports). In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Maruschak, P., Karpenko, M. (eds) *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_79 [in English].
19. Rodchenko, O. (2017). Computer technologies for concrete airfield pavement design. *Aviation*, 21(3), 111–117. <https://doi.org/10.3846/16487788.2017.1379439> [in English].

УДК 332.3:631.459

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.11>**Русіна Неля Григорівна,**

кандидат педагогічних наук,
викладач земельно-правового відділення,
Відокремлений структурний підрозділ
«Рівненський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»,
вул. Коперніка, 44, м. Рівне, 33000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5826-8788>
E-mail: RusinaN@i.ua

Люльчик Вадим Олександрович,

кандидат сільськогосподарських наук,
викладач земельно-правового відділення,
Відокремлений структурний підрозділ
«Рівненський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»,
вул. Коперніка, 44, м. Рівне, 33000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6360-6796>
E-mail: midaff80@ukr.net

Петрова Ольга Миколаївна,

викладач земельно-правового відділення,
Відокремлений структурний підрозділ
«Рівненський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»,
вул. Коперніка, 44, м. Рівне, 33000, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1299-3789>
E-mail: po04081964@gmail.com

ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ ЯК ВАЖЛИВИЙ КОМПОНЕНТ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ (НА ПРИКЛАДІ САРНЕНСЬКОГО РАЙОНУ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

Анотація. Інвентаризація земель являє собою інструмент державного контролю, виявлення економічного потенціалу земельних ресурсів адміністративних утворень, територіальних громад, держави загалом. Виділено ключові функції інвентаризації земель – інформаційну, наглядову або моніторингову, контролювальну, планувально-організаційну, державно-управлінську, облікову. Проведення інвентаризації земельних ділянок на території громади відбувається за рішенням органу місцевого самоврядування та згідно з такими стадіями, як обстежувальні, топографо-геодезичні й проектно-вишукувальні роботи, складення й оформлення технічної документації в паперовій та електронній формі, складення електронного документа. Об'єм робіт залежить від мети інвентаризації земель і цільового призначення земельної ділянки. У проведеному дослідженні розглянуто процес інвентаризації земельної ділянки запасу для перспективного розміщення полігону щодо видалення твердих побутових відходів (сміттєзвалища) на території Колківського старостинського округу Дубровицької міської ради Сарненського району Рівненської області. Вивчено земельно-ресурсний потенціал та ефективність його використання в межах територіальної громади й населеного пункту. Розглянуто процес проведення топографо-геодезичних робіт, види зйомок, які використовували для процесу інвентаризації. Проаналізовано Паспорт місця видалення відходів (ММВ), техніко-технологічні характеристики проєктного сміттєзвалища, відповідно для чого вибрана проєктна ділянка. Установлено, що проєктна земельна ділянка за своїми ґрунтово-геоботанічними характеристиками відповідає вимогам розміщення сміттєзвалища. Обґрунтовано необхідність проведення інвентаризації земель з метою вивчення земельних ресурсів для спрощення землепорядного й містобудівного процесу, ефективного здійснення землеустрою шляхом створення електронного ресурсу з матеріалами знімання та

результатами топографо-геодезичних робіт. Зроблено висновок щодо важливості інвентаризації земельних ділянок, яка забезпечує здійснення землеустрою.

Ключові слова: облік земель, інвентаризація земель, управління земельними ресурсами, функції інвентаризації земель, інвентаризація земельної ділянки, процес інвентаризації земельної ділянки.

Rusina Nelya, Lyulchik Vadim, Petrova Olga. LAND INVENTORY AS AN IMPORTANT COMPONENT IN THE LAND MANAGEMENT SYSTEM (THE CASE OF SARNY DISTRICT OF RIVNE REGION)

Abstract. Land inventory serves as a tool for state control, identifying the economic potential of land resources within administrative units, territorial communities, and the state as a whole. Key functions of land inventory include information provision, monitoring, control, planning and organization, state management, and accounting. The conduct of land parcel inventory within a community is based on a decision of the local government and follows stages such as surveys, topographic-geodetic and design-survey works, compilation and formalization of technical documentation in paper and electronic form, and creation of an electronic document. The scope of work depends on the purpose of the land inventory and the intended use of the land plot. This study examined the process of land inventory of a reserve land plot for the prospective placement of a solid waste landfill and the territory of the Kolkyvskyi starostynskyi okruh of the Dubrovytska city council, Sarnenskyi district, Rivnenska oblast. The land resource potential and the efficiency of its use within the territorial community and settlement have been studied. The process of conducting topographic and geodetic works, the types of surveys used for the inventory process, have been considered. The Waste Disposal Site Passport (WDS Passport) has been analyzed, as well as the technical and technological characteristics of the planned landfill, according to which the project site was selected. It has been established that the project land plot, according to its soil-geobotanical characteristics, meets the requirements for landfill placement. The necessity of conducting a land inventory for the purpose of studying land resources to simplify land management and urban planning processes, to effectively carry out land management, by creating an electronic resource with survey materials and the results of topographic and geodetic works, has been substantiated. The conclusion was made regarding the importance of land inventory, taking into account the need to consider the specific characteristics of each individual land plot and thereby ensure the implementation of land management.

Key words: land accounting, land inventory, land resource management, functions of land inventory, land plot inventory, land plot inventory process.

Вступ. Управління земельними ресурсами – це багатогранний процес, що передбачає роботу з великими обсягами різнопланової інформації про земельні ділянки: від їхніх природних характеристик до правового статусу й майбутніх перспектив. Законом України «Про земельний кадастр» визначено, що дані кількісного обліку земель «характеризують земельні ділянки за площею, складом земельних угідь відповідно до затвердженої класифікації, розподілом земель за власниками (користувачами) в обсязі, визначеним Законом» [1]. Результативність управління безпосередньо залежить від якості інформаційної бази, тобто від того, наскільки об'єктивним, точним і повним є облік земель [2]. Важливим засобом обліку є інвентаризація земель як процес перевірки достовірності даних із подальшим описом об'єкта. Вона проводиться з метою «становлення місця розташування об'єктів землеустрою, їхніх меж, розмірів, правового статусу, виявлення земель, що не використовуються, використовуються

нераціонально або не за цільовим призначенням, виявлення і консервації деградованих сільськогосподарських угідь і забруднених земель, встановлення кількісних та якісних характеристик земель, необхідних для ведення Державного земельного кадастру, виявлення та виправлення помилок у відомостях Державного земельного кадастру, здійснення державного контролю за використанням та охороною земель і прийняття на їх основі відповідних рішень органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування» [3]. При цьому створюється повноцінна база даних про всі земельні ділянки в межах громади, населеного пункту на паперових та електронних носіях, забезпечується можливість якісного контролю й організації земель у своїх межах, виявляються всі власники й землекористувачі; уточнюються межі внесених земельних ділянок до Державного земельного кадастру та виявляються ділянки, що не використовуються або використовуються не за цільовим призначенням [4; 5].

Таким чином, інвентаризація земель є одним із головних і першочергових інструментів управління земельними ресурсами для забезпечення користувачів достовірною інформацією про їхній стан, ефективність використання та прийняття управлінських рішень.

Матеріали та методи. Наукові дослідження з методичних підходів до проведення робіт з інвентаризації земель при здійсненні землеустрою відображено в працях А. Третьяка, М. Калюжного, Й. Дороша, А. Мартина, А. Тарнопольського, Б. Аврамчука, О. Дорош та ін. Зокрема, науковці визначали поетапне виконання робіт з інвентаризації земель у логічній послідовності [5], правове обґрунтування здійснення процесу інвентаризації [6], надали пропозиції щодо структури, змісту та складу інвентаризації земель державних установ і підприємств [7]. Д. Кондратенко в дослідженні розглядає інвентаризацію земель як правову форму обліку земель, яка «використовується як елемент моніторингу, інформаційного забезпечення, а також контролю за якістю здійснення суб'єктами земельних відносин своїх повноважень, а щодо органів публічного управління – контролю за ефективністю реалізації ними своїх повноважень у сфері використання земель, які знаходяться в зоні їх відповідальності» [8].

Окремі питання практичної реалізації робіт з інвентаризації земель розкрили Ю. Карпінський і К. Бикова. Учені представили досвід апробації методики інвентаризації зелених насаджень вулично-дорожньої мережі, засвідчивши її ефективність і можливість практичного застосування на об'єктах великої розмірності за допомогою геопорталу «Моніторинг зелених насаджень міста Одеса» [7]. Є. Бутенко в працях розглядає інвентаризацію як ефективний інструмент управління територією громад [10] і подає результати створення й використання ортофотопланів під час інвентаризації земель с. Вишеньки Бориспільського району Київської області [4]. Також науковець пропонує розробляти для рад web-платформи з матеріалами інвентаризації (топографічний план місцевості, робочий і зведений плани місце-

вості) з наповненою атрибутивною інформацією про земельні ділянки.

Проте теоретичне обґрунтування та практичний досвід інвентаризації земельних ділянок на території новоутворених громад як компонент розвитку регіону й держави загалом залишається мало дослідженим в Україні, що може негативно вплинути на реалізацію ефективних рішень щодо раціональної організації території місцевих і регіональних громад.

Мета статті полягає в аналізі науково-практичних засад інвентаризації земельних ділянок територіальної громади й вивченні особливостей, що характеризують її проведення.

Результати. Процес інвентаризації земель як засіб упорядкування й оптимізації ресурсів є частиною ефективного управління земельними відносинами. В умовах дії земельного ринку інвентаризація набуває особливого значення – інструменту державного контролю та виявлення економічного потенціалу земельних ресурсів адміністративних утворень, територіальних громад, держави загалом, доказам чого слугують основні її характеристики [8]:

- «по-перше, інвентаризація дає змогу визначити реальний стан існування земельного фонду, виявивши власників і первинні правовстановлюючі документи, тобто історію становлення правового титулу кожної земельної ділянки;

- по-друге, інвентаризація є способом перевірки законності формування Державного земельного кадастру, достовірності внесених у нього даних і їх відповідності правовстановлюючим документам;

- по-третє, це спосіб уточнення дійсного стану земельних активів держави;

- по-четверте, і це видається найголовнішим, інвентаризація повинна й може розглядатися як управлінська дія, оскільки вона своїми результатами відкриває здатності для виникнення нових юридичних наслідків, тобто дає можливість виправлення фактів протизаконного вибуття земель від їх реальних первинних власників. Відбувається уточнення їхнього правового статусу шляхом отримання підстав для скасування всіх

попередніх протизаконних дій із земельною ділянкою».

Крім того, можна виділити такі ключові функції інвентаризації земель, як інформаційна, наглядова або моніторингова, контролювальна, планувально-організаційна, державно-управлінська, облікова, що забезпечують повноцінне використання економічного потенціалу землі (таблиця 1).

Підкреслимо, що інвентаризація стала необхідним інструментом реалізації державної політики децентралізації, унаслідок якої відбулося проведення фактичної передачі земель із державної в комунальну власність під час реформування системи місцевого самоврядування й утворення об'єднаних територіальних громад [11]. Відповідно, це стало «успішним кроком для того, щоб територіальна громада була інвестиційно привабливою та могла повністю контролювати використання земельних ресурсів громади» [4]. Зокрема, у Регіональній програмі розвитку земельних відносин у Рівненській області

на 2023–2025 роки визначено серед завдань програми «проведення інвентаризації земель усіх форм власності, забезпечення планово-картографічним матеріалом та індексними картами, введення інноваційного механізму управління землями державної та комунальної власності» [12]. Реалізація заходів здійснюється за кошти, передбачені в державному, обласному й бюджетах місцевого самоврядування на відповідний рік в обсязі 12290,70 тис. гривень (таблиця 2).

Виконавцями заходів Регіональної програми щодо інвентаризації земель є сільські, селищні та міські територіальні громади, які, відповідно до даних <https://prozoro.gov.ua>, у 2023 році уклали 853 договори з архітектурних, інженерних і планувальних послуг (рис. 1), серед них – близько 60 договорів про проведення інвентаризації земель. Згідно з договорами про надання послуг, інвентаризації підлягали землі комунальної власності під закладами освіти, культури, охорони здоров'я, під кладовищами та сміттєзвалищами [13].

Таблиця 1

Функції інвентаризації земель

№ з/п	Вид функції	Характеристика функції
1	Інформаційна	Забезпечує достовірність інформації щодо земельної ділянки; одержання первинних відомостей для надання земельних ділянок громадянам, ведення обліку земель; створення «первинного земельного кадастру».
2	Моніторингова	Забезпечує постійний нагляд і сукупність робіт, спрямованих на встановлення правового режиму та фактичного стану використання земельних ділянок, їх меж, розмірів, складу угідь з метою раціонального землекористування й усунення причин можливого порушення земельного законодавства.
3	Контролювальна	Забезпечує встановлення правового статусу земельних ділянок з метою здійснення господарської діяльності, економічного стимулювання, раціонального використання й охорони земель і виконання фіскальної функції держави; контроль за якістю здійснення суб'єктами земельних відносин своїх повноважень, а щодо органів публічного управління – контроль за ефективністю реалізації ними своїх повноважень у сфері використання земель.
4	Планувально-організаційна	Забезпечує формування обсягу можливостей і повноважень територіальних громад і суб'єктів приватного права у сфері управління наявними земельними активами; організацію умов ефективного ринкового механізму для здійснення продажу земельних ділянок, залучення інвесторів.
5	Державно-управлінська	Забезпечує достовірність, повноту й релевантність відомостей щодо всіх без винятку земель в Україні; валідацію картографічних та інших відомостей щодо правовстановлюючих документів на кожен земельну ділянку; інформації щодо чинних обмежень використання земельної ділянки.
6	Облікова	Забезпечує систему захисту прав землекористувачів на підставі інформації, яка вноситься в Державний земельний кадастр України після інвентаризації земель, щодо визначення розмірів збитків і втрат, що завдаються їм неправомірними діями третіх осіб.

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

**Заходи з виконання Регіональної програми розвитку земельних відносин
у Рівненській області на 2023–2025 роки з інвентаризації земель**

№ з/п	Заходи Програми та джерела їх фінансування	Обсяги, тис. га	Загальна вартість робіт, тис. грн	У тому числі за роками			Виконавці
				2023	2024	2025	
1	Інвентаризація земель	114,90	12290,70	5390,70	3350,00	3550,00	Головне управління Держгеокадастру у Рівненській області, департамент агропромислового розвитку обласної державної адміністрації, сільські, селищні та міські територіальні громади, фізичні та юридичні особи
	Державний бюджет	11,10	1190,70	340,70	400,00	450,00	
	Обласний бюджет (кошти спеціального фонду)	48,60	5200,00	3200,00	1000,00	1000,00	
	Бюджети місцевого самоврядування	42,10	4500,00	1500,00	1500,00	1500,00	
	Інші кошти	13,10	1400,00	350,00	450,00	600,00	

Джерело: [12].



Рис. 1. Лист «Показники» Публічного модуля аналітики за даними Рівненської області за 2023 рік
Джерело: [13]

Порядок проведення інвентаризації земель визначає вимоги щодо проведення інвентаризації земель, виокремлюючи державну інвентаризацію земель і земельних ділянок [15]. Результатом робіт є технічна документація із землеустрою щодо проведення інвентаризації земель, яка містить установлений законом перелік необхідних

текстових і графічних документів. Перелік залежить від об'єктів інвентаризації, у тому числі державної інвентаризації земель і земельних ділянок, під час здійснення землеустрою та складання за її результатами, у тому числі державної інвентаризації земель і земельних ділянок. Статтею 57 «Технічна документація із землеустрою

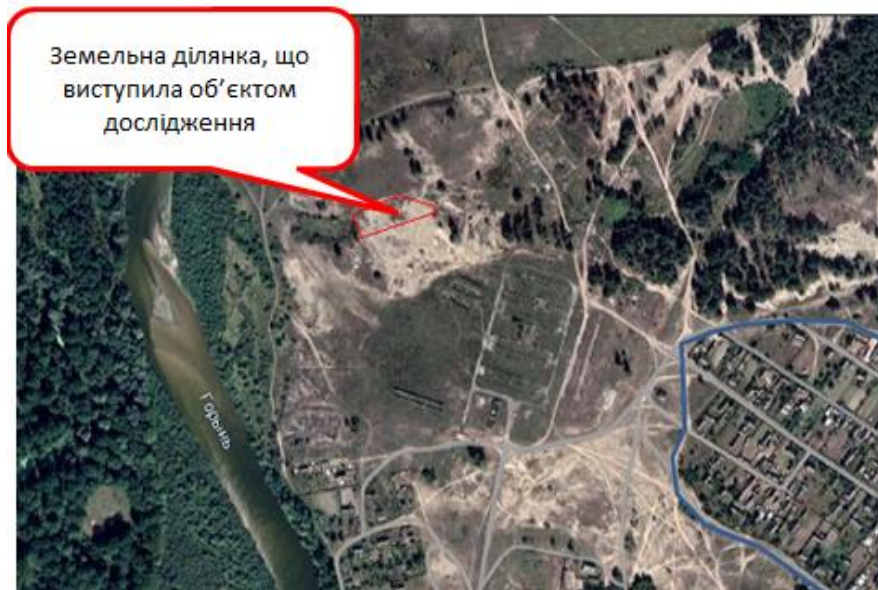


Рис. 2. Ортофотоплан території Колківського старистинського округу Дубровицької міської ради з нанесеними межами села Велюнь і межами земельної ділянки, яка підлягає інвентаризації

Джерело: розробка авторів на основі використання картографічного вебсервісу Google Maps

щодо інвентаризації земель» Закону України «Про землеустрій» установлено перелік документів, які повинні містити технічна документація [13].

Об'єктом дослідження стала територія Колківського старистинського округу Дубровицької міської ради Сарненського району Рівненської області. У ході проведеного аналізу території встановлено, що в межах округу відсутнє сміттєзвалище для твердих побутових відходів. На цей момент для цілей захоронення твердих побутових відходів використовується земельна ділянка, яка знаходиться за 0,5 км на північ від с. Велюнь Колківського старистинського округу Дубровицької міської ради на землях запасу, що використовуються для технічної інфраструктури (код 010.00), загальною площею 1 2000 га.

Відповідно до пункту 3 статті 20 Земельного кодексу України [16], категорія земель і вид цільового призначення земельної ділянки визначаються в межах відповідного виду функціонального призначення території, передбаченого затвердженим комплексним планом просторового розвитку території територіальної громади або генеральним планом населеного пункту. Ці види документації

на земельну ділянку та прилеглу територію не розроблялися.

Зазначимо, що роботи з інвентаризації земельної ділянки включають обстежувальні, топографо-геодезичні та проектно-вишукувальні роботи, складення й оформлення технічної документації в паперовій та електронній формі, складення електронного документа [15]. Роботи з інвентаризації проводяться згідно з рішенням Дубровицької міської ради. За результатами проведення топографо-геодезичних робіт створено планово-картографічні матеріали щодо встановлення меж земельної ділянки з прив'язкою до пунктів державної геодезичної мережі з точністю до 0,5 мм (рис. 3).

Середньоквадратична похибка визначення координат поворотних точок меж земельної ділянки, що знаходиться за межами населеного пункту с. Велюнь, стосовно найближчих пунктів державної геодезичної мережі, а в нашому випадку Селецьк, Висоцьк, не перевищила 0,5 метра, що відповідає вимогам.

Під час виконання топографо-геодезичних робіт проведено обстеження земельної ділянки щодо наявності режимотворюючих об'єктів і встановлення обмежень її використання. Такими об'єктами стали енергетична

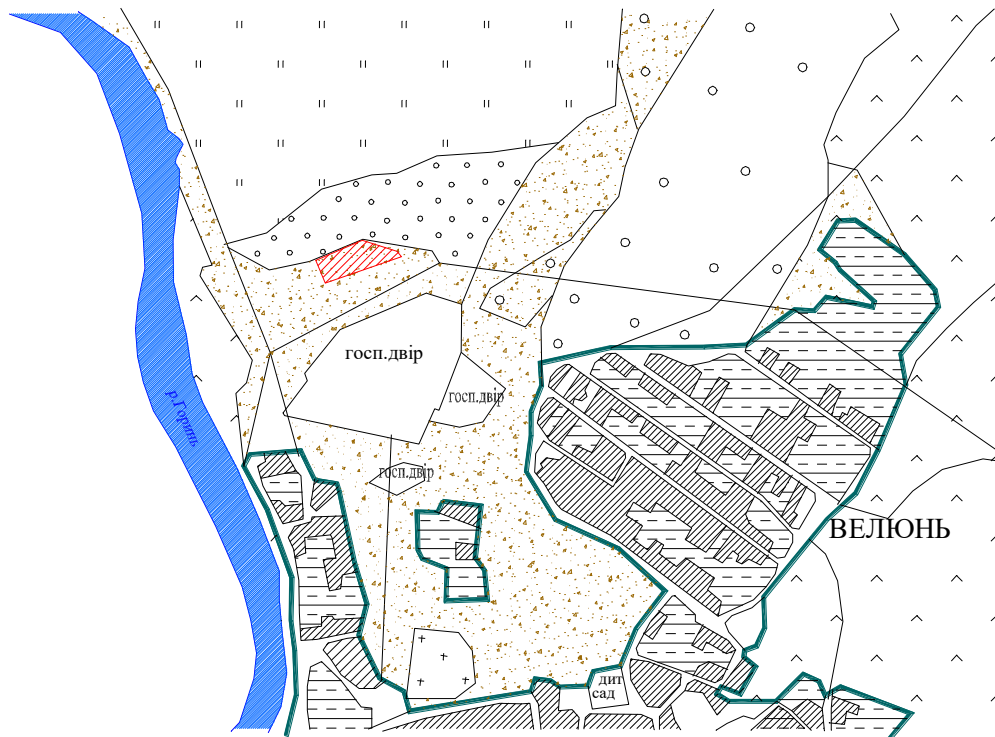


Рис. 3. План землекористування Колківського старистинського округу Дубровицької міської ради з нанесеними межами села Велюнь і межами земельної ділянки, яка підлягає інвентаризації

Джерело: розроблено авторами

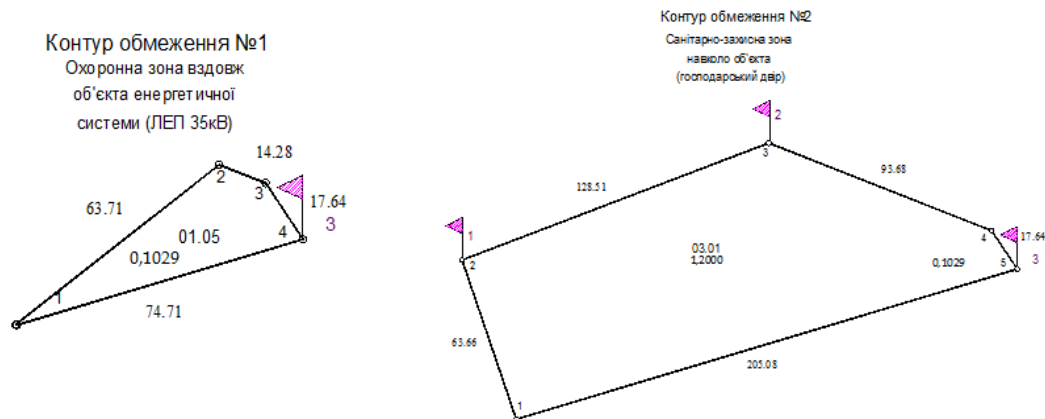
система ЛЕП-35кВ та господарський двір. Відповідно, на земельній ділянці встановлено охоронну зону вздовж об'єкта енергетичної системи (ЛЕП-35кВ) і санітарно-захисну зону навколо об'єкта (господарський двір) (рис. 4).

Важливою частиною проведення інвентаризації земельної ділянки є установлення впливу земельної ділянки на навколишнє середовище. Згідно із Законом України «Про охорону земель» [17], забороняється несанкціоноване скидання й розміщення відходів у підземних горизонтах, на території міст та інших населених пунктів, на землях природно-заповідного й іншого природоохоронного, оздоровчого, рекреаційного й історико-культурного призначення, у межах водоохоронних зон і зон санітарної охорони водних об'єктів, в інших місцях, що може створювати небезпеку для навколишнього природного середовища та здоров'я людини. Проектна земельна ділянка не належить до вищеперерахованих земель і зон.

У складі вихідних матеріалів надано та проаналізовано Паспорт місця видалення від-

ходів (ММВ). Відповідно до відомостей, це сміттєзвалище, що розташоване на обстежуваній земельній ділянці, діючий розміщене за 0,5 км на північ від с. Велюнь. За техніко-технологічною характеристикою – відкрите поверхнєве насипне, дренажний стік відсутній, із елементів інженерної підготовки території наявні лише земляні дренажні канали. Рік початку експлуатації – 2020 р., розрахунковий термін експлуатації не визначено. За природно-геологічними характеристиками глибина залягання ґрунтових вод становить 2–4 м, склад і будова зони аерації – супіски, піски середньозернисті. Земельна ділянка не включена до території обслуговування меліоративної мережі.

Таким чином, визначено, що обстежувана ділянка перебуває в землях, не наданих у власність і користування, і фактично використовується без визначення цільового призначення. Шляхом реєстрації земельної ділянки в Державному земельному кадастрі будуть унесені відомості про формування земельної ділянки та присвоєння їй кадастро-



ПЕРЕЛІК ОБМЕЖЕНЬ У ВИКОРИСТАННІ ЗЕМЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ

№п/п	Код обмеження	Назва обмеження	Основні законодавчі акти	Площа /га/
1	01.05	Охоронна зона вздовж об'єкта енергетичної системи (ЛЕП 35кВ)	Постанова КМУ від 04.03.1997р. №209 "Про затвердження Правил охорони електричних мереж", Закон України "Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів" від 09.07.2010 № 2480-VI	0,1029
2	03.01	Санітарно-захисна зона навколо об'єкта (господарський двір)	ДБН 360-92 "Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. Наказ Міністерства охорони здоров'я "Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів" від 19.06.1996р.	1,2000

Рис. 4. План обмежень у використанні земельної ділянки

Джерело: розроблено авторами.

вого номера з подальшим посвідченням речового права на неї після затвердження технічної документації.

грунтові, геоботанічні обстеження в межах цієї земельної ділянки не проводили, але використано дані Паспорта місця видалення відходів (ММВ) спостереження (моніторинг) за якістю поверхневих вод, ґрунтів та атмосферного повітря, що здійснює ДУ «Рівненський ОЦКИХ МОЗ України» Дубровицького відділення Сарненського районного відділу за встановленими формами. За викопіюванням із перерозподілу земель між землеволодільцями й користувачами на території Велюньської сільської ради Дубровицького району визначено, що на цій земельній ділянці до зміни угідь під розміщення сміттєзвалища класифікувалися як піски (код згідно КВЗУ 003.02). Згідно з ДСТУ 6 В.2.1-2, пісок – це незв'язний мінеральний ґрунт, у якому маса часток розміром менше 2 мм і становить більше 50%. Згідно з Правилами розроблення

робочих проектів землеустрою, затвердженими Постановою КМУ від 02.02.2022. № 86, масова частка гумусу в нижній межі родючого шару ґрунту, що знімається, становить у природно-сільськогосподарській зоні Полісся не менше як 1%; масова частка ґрунтових частинок менше ніж 0,1 мм – 10–75%, а на заплавах, дельтових пісках і піщаних відкладах – 5–10%. Використання їх як сільськогосподарських угідь не виправдане. Проте після завершення використання території як полігонів з видалення твердих побутових відходів рекомендується вжити низку заходів щодо рекультивативної земель за лісгосподарським напрямом – кулісні, куртинні й масивні насадження на пісках, здійснення лісорозведення.

Ця документація із землеустрою погодження не потребує та затверджується органом місцевого самоврядування. Відповідно до земельного законодавства, розпоряджатися земельною ділянкою уповноважена Дубровицька міська рада [16]. До Державного

Таблиця 3

Перелік земельних ділянок, не наданих у власність і користування

№ з/п	Назва сільської ради (розпорядник)	Номер земельної ділянки	Площа, га	Код угідь згідно з КВЗУ	Категорія земель за цільовим призначенням	Код виду цільового призначення
1	Дубровицька міська рада	1	1,2000	010.00	900	11.06

Джерело: розроблено авторами.

фонду документації із землеустрою технічна документація передається в електронному вигляді. За результатами робіт складено електронний документ формату ХМІ та перелік земельних ділянок, не наданих у власність і користування (таблиця 3).

Висновки. Підсумовуючи вищенаведене, зазначимо, що нині на законодавчому рівні процес інвентаризації земель урегульовано, але при проведенні інвентаризації окремих земельних ділянок потребує більш детального розгляду та індивідуального підходу з наповнення інформації.

У результаті аналізу науково-практичних засад інвентаризації земель територіальної громади виокремлено функції інвентаризації земель та особливості, що характеризують її проведення. Вивчивши Регіональну програму розвитку земельних відносин у Рівненській області на 2023–2025 роки, установили, що в області роботи з інвентаризації земель займають важливу частину фінансування, яке забезпечується з різних видів бюджету, що свідчить про зацікавленість держави й органів місцевого самоврядування цим видом робіт і їх важливість. Інвентаризація земель передбачає внесення

даних про земельні ділянки до Державного земельного кадастру, що дасть змогу, по-перше, отримати прибуток від орендної плати (8% від нормативної грошової оцінки в середньому по Україні) [4], по-друге, узаконити використання тих чи інших ділянок для різних цілей. У нашому разі – передачі земельної ділянки для перспективного розміщення полігону з видалення твердих побутових відходів (сміттєзвалища), що забезпечить охорону навколишнього середовища Колківського старистинського округу Дубровицької міської ради села Велюнь і дотримання положень статті 46 Закону України «Про охорону земель», з подальшою розробкою проєкту щодо ведення в експлуатацію сміттєзвалища, документації щодо обліку та видалення відходів і робочого проєкту рекультивациі земельної ділянки після ліквідації об'єкта поводження з відходами.

Проведення інвентаризації земель є передумовою просторового планування й інтегрованого розвитку територіальної громади, що сприяє здійсненню господарської діяльності, цілеспрямованого використання ресурсів, забезпечення сталого розвитку та задоволення потреб суспільства на цій території.

Список використаних джерел:

1. Про Державний земельний кадастр : Закон України від 7 липня 2011 р. № 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
2. Третяк А.М., Третяк В.М., Ковалишин О.Ф. Земельно-кадастровий облік як інформаційна база управління земельними ресурсами та землекористуванням. *Агросвіт*. 2021. № 16. С. 3–11
3. Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/858-15#n8>.
4. Бутенко Є.В., Приходько М.Л. Науково-прикладні засади проведення інвентаризації земель територіальних громад в Україні. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2024. № 1. С. 92–105.
5. Дорош Й.М., Тарнопольський А.В., Аврамчук Б.О. Методичні підходи до проведення робіт із інвентаризації земель при здійсненні землеустрою потребують змін. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2019. № 1. С. 6–15.

6. Мартин А.Г. Інвентаризація земель: як її здійснювати в сучасних умовах. URL: [http://www.zsu.org.ua/index.php?option=com_content &view=article&id=2254:2011-05-27-14-48-38&catid=62:2011-01-12-14-57-08&Itemid=87](http://www.zsu.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2254:2011-05-27-14-48-38&catid=62:2011-01-12-14-57-08&Itemid=87).
7. Дорош О.С. Інвентаризація земель: методичні підходи до її проведення. *АгроСвіт*. 2015. № 11. С. 24–30.
8. Кондратенко Д.Ю. Інвентаризація земель як правова форма обліку земель. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Юриспруденція»*. 2019. № 42. Том 1. С. 124–128.
9. Бакова К.П., Карпінський Ю.О. Досвід інвентаризації зелених насаджень вулично-дорожньої мережі міста Одеси. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. № 79. С. 26–36.
10. Бутенко С.В., Юрченко А.В., Даньшова І.В. Інвентаризація земель як передумова ефективного управління земельними ресурсами. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2020. № 4. С. 14–19.
11. Даугуль В.Я., Алексенко А.А. Актуальні питання використання земель сільськогосподарського призначення органами місцевого самоврядування. URL: <https://is.gd/T94LKK>.
12. Регіональна програма розвитку земельних відносин у Рівненській області на 2023–2025 роки. URL: <https://ror.gov.ua/upload/content/2024/February/F8zN6oM3.pdf>.
13. Публічний модуль аналітики. URL: <https://bi.prozorro.org/sense/app/b22f24e4-0f6a-4702-bdb8-3973d466afa8/sheet/23b2eb3e-e433-4c58-8e61-ca00c92aee0d/state/analysis>.
14. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи управління та дерегуляції у сфері земельних відносин : Закон України від 28.04.2021 № 1423-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#Text>.
15. Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 476. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019-%D0%BF>.
16. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
17. Про охорону земель : Закон України від 19 червня 2003 р. № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>.

References:

1. Pro Derzhavnyi zemelnyi kadastr : Zakon Ukrainy vid 07 lypnia 2011 r. № 3613-VI. [About the State Land Cadastre: Law of Ukraine dated July 7, 2011 No. 3613-VI]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> [in Ukrainian].
2. Tretiak, A.M., Tretiak, V.M., & Kovalyshyn, O.F. (2021). Zemelno-kadaastrovyi oblik yak informatsiina baza upravlinnia zemelnymy resursamy ta zemlekorystuvanniam [Land cadastral accounting as an information base for managing land resources and land use]. *Agroworld*, 16, 3–11 [in Ukrainian].
3. Pro zemleustrii : Zakon Ukrainy vid 22 travnia 2003 r. № 858-IV. [On land management: Law of Ukraine dated May 22, 2003 No. 858-IV]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/858-15#n8> [in Ukrainian].
4. Butenko, Ye.V., & Prykhodko, M.L. (2024). Naukovo-prikladni zasady provedennia inventaryzatsii zemel terytorialnykh hromad v Ukraini [Scientific-applied principles of land inventory of territorial communities in Ukraine]. *Land management, cadastre and land monitoring*, 1, 92–105 [in Ukrainian].
5. Dorosh, Y.M., Tarnopolskyi A.V., & Avramchuk B.O. (2019) Metodichni pidkhody do provedennya robit iz inventaryzatsiyyi zemel' pry zdiysnenni zemleustroyu potrebuyut' zmin [Methodical approaches to carrying out work on land inventory during the implementation of land management need changes]. *Land management, cadastre and land monitoring*, 1, 6–15 [in Ukrainian].
6. Martin, A.H. Inventaryzatsiia zemel: yak yii zdiisniuvaty v suchasnykh umovakh [Land inventory: how to carry it out in modern conditions]. Retrieved from: [http://www.zsu.org.ua/index.php?option=com_content &view=article&id=2254:2011-05-27-14-48-38&catid=62:2011-01-12-14-57-08&Itemid=87](http://www.zsu.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=2254:2011-05-27-14-48-38&catid=62:2011-01-12-14-57-08&Itemid=87) [in Ukrainian].
7. Dorosh, O. (2015). Inventaryzatsiia zemel': metodichni pidkhody do yiyi provedennya [Land inventory: methodical approaches to its implementation]. *Agroworld*, 11, 24–30 [in Ukrainian].
8. Kondratenko, D.Yu. (2019). Inventaryzatsiia zemel yak pravova forma obliku zemel. [Land inventory as a legal form of land accounting]. *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University. Ser.: Jurisprudence*, 42 (1), 124–128 [in Ukrainian].
9. Bakova, K.P., & Karpinskyi, Yu.O. (2022). Dosvid inventaryzatsii zelenykh nasadzen vulychno-dorozhnoi merezhi mista Odesy [Experience of the inventory of green spaces of the street and road network of the city of Odessa]. *Urban planning and territorial planning*, 79, 26–36 [in Ukrainian].

10. Butenko, E.V., Yurchenko, A.V., & Danshova, I.V. (2020) Inventaryzatsiya zemel' yak peredumova efektyvnoho upravlinnya zemel'nymy resursamy [Land inventory as a prerequisite for effective management of land resources]. *Land management, cadastre and land monitoring*, 4, 14–19 [in Ukrainian].
11. Dauhul', V.YA., & Aleksenko, A.A. (2018). Aktual'ni pytannya vykorystannya zemel' sil'skohospodars'koho pryznachennya orhanamy mistsevoho samovryaduvannya. [Current issues of agricultural land use by local self-government bodies]. Retrieved from: <https://is.gd/T94LKK> [in Ukrainian].
12. Rehional'na prohrama rozvytku zemel'nykh vidnosyn u Rivnens'kiy oblasti na 2023–2025 roky. [Regional program for the development of land relations in the Rivne region for 2023–2025]. Retrieved from: <https://ror.gov.ua/upload/content/2024/February/F8zN6oM3.pdf> [in Ukrainian].
13. Publichnyy modul' analityky [Public analytics module]. Retrieved from: <https://bi.prozorro.org/sense/app/b22f24e4-0f6a-4702-bdb8-3973d466afa8/sheet/23b2eb3e-e433-4c58-8e61-ca00c92aee0d/state/analysis> [in Ukrainian].
14. Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo vdoskonalennya systemy upravlinnya ta derehulyatsiyi u sferi zemel'nykh vidnosyn: Zakonu Ukrayiny vid 28.04.2021 roku № 1423-IKH. [On amendments to some legislative acts of Ukraine regarding the improvement of the system of management and deregulation in the field of land relations: Law of Ukraine dated 04/28/2021 No. 1423-IX]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1423-20#Text> [in Ukrainian].
15. Pro zatverdzhennya Poryadku provedennya inventaryzatsiyi zemel' ta vyznannya takymy, shcho vtratyly chynnist', deyakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrayiny : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 05 chervnya 2019 r. № 476 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Procedure for carrying out land inventory and recognition of certain resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine as having lost their validity»: dated June 5, 2019 No. 476 with amendments]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019-%D0%BF> [in Ukrainian].
16. Zemelnyi kodeks Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 25.10.2001 № 2768-III [Land Code of Ukraine: Law of Ukraine dated 25.10.2001 No. 2768-III]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
17. Pro okhoronu zemel' : Zakon Ukrainy vid 19 chervnia 2003 r. № 962-IV [On land protection: Law of Ukraine of June 19, 2003 No. 962-IV]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>.

УДК 621.317: 69.059

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.12>**Скляренко Сергій Олександрович,**

кандидат технічних наук, доцент,

директор, ПП «Полтава-проект»,

вул. Соборності, 71, к. 32, м. Полтава, 36014, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3929-4240>

E-mail: poltpro@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВИРОБНИЧОГО МАЙДАНЧИКА

Анотація. У статті аналізується поточний стан засобів вимірювальної техніки для фіксації переміщень прогинів на ринку України. Подається висновок про відсутність аналогів традиційним приладам прогиномірів. Наведено основні особливості використання цього обладнання в умовах будівельного майданчика чи виробничої площадки заводу. Відмічено важливість установлення вимірювального обладнання із системами захисту від обрушення конструкцій та уникнення сторонніх впливів на вимірювальне обладнання. Розглянуто аналоги, які використовують інші організації. Розроблений прототип на основі лазерних датчиків показав задовільні результати щодо точності. Зазначено низьку надійність цього підходу через недосконалість системи оптичних пристосувань.

Запропоновано власну конструкцію з використанням цифрових пристосувань для станків металообробки. Засіб вимірювальної техніки складається із цифрової місюри, пластикового корпусу, корзини противаги, сталевих пластин вантажу. Виконано порівняння з 2 приладами прогиномірів, що пройшли метрологічний контроль і повірку. Наведено отримані незначні відхилення й розбіжності. Проведено повторну перевірку за допомогою індикаторів годинникового типу. Отримані результати підтверджують високу точність вимірювань.

На основі проведеного дослідження зроблено висновок про допустимість використання запропонованого приладу до вимірювань прогинів. Указано основні напрями вдосконалення електронної системи приладу й розширення його функціоналу. Відмічено перспективи проведення реєстрації та виробництва. Отримано попередні висновки ДП «КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» про точність вимірювань на рівні 0,01 мм.

Ключові слова: прогини, переміщення, прилади, засоби вимірювальної техніки.

Skliarenko Serhii. IMPROVEMENT OF MEASURING EQUIPMENT FOR EXPERIMENTAL CONTROL OF BUILDING STRUCTURES PARAMETERS ON A CONSTRUCTION SITE

Abstract. The article analyzes the current state of measuring devices for recording deflections on the Ukrainian market. It concludes that there are no analogs to traditional deflectometers. The main features of using this equipment on construction sites or factory production sites are presented. The importance of installing measurement equipment with protection systems against structural collapse and avoiding external influences on the measuring equipment has been noted.

The prototypes used by other organizations were reviewed. The prototype developed based on laser sensors showed satisfactory accuracy results. The low reliability of this approach was noted due to the imperfection of the optical system. A new design using digital devices for metalworking machines has been proposed. The measuring instrument consists of a digital micrometer, a plastic case, a counterweight basket, and steel weight plates.

A comparison was made with two deflectometers that passed metrological control and verification. Minor deviations and discrepancies were reported. A repeat test was conducted using clock-type indicators. The results confirmed the high accuracy of measurements. Based on the conducted research, a conclusion was made about the admissibility of using the proposed device for deflection measurements. The main directions for improving the electronic system of the device and expanding its functionality were indicated. Prospects for registration "KYIVOBLSSTANDARTMETROLOGY" indicate measurement accuracy at the level of 0.01 mm.

Key words: deflections, displacements, instruments, measuring equipment.

Вступ. Вимірювання прогинів будівельних конструкцій широко застосовується в практиці наукових досліджень, проектування індивідуальних несучих конструкцій, оцінюванні фактичної несучої здатності елементів будівель і споруд і контролю якості конструкцій заводського виготовлення в ході натурних випробувань, в освітньому процесі під час лабораторних досліджень. Серед відомих і застосованих засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) в Україні й закордоном найбільш часто використовують прогиноміри Аістова 6-ПАО (рис. 1, б) та індикатори стрілочного типу з пристосуванням різного роду месур. Менш застосованими є засоби фотограмметрії або спеціалізованих стереокамер, наприклад, системи «ARAMIS» (рис. 1, а). Основними проблемами застосування останніх методів є досить значна вартість зазначеного обладнання, його незначне поширення та складнощі використання в «польових» умовах будівельного майданчику чи виробничої площадки заводу. Установлення індикаторів стрілкового типу потребує влаштування спеціалізованих месур, точності їх установлення, достатньої жорсткості й забезпечення умов їх роботи без сторонніх впливів. Випробувальні лабораторії досить часто намагаються виконати власні пристосування, що ґрунтуються на оптичних чи лазерних датчиках різного типу (наприклад, рис. 1, в). На практиці виконання різного роду випробувань (наприклад, рис. 2) досить часто виникає ризик обриву кон-

струкцій, що призводить до знищення вимірювальних приладів або викривлення стрижнів месур при значних прогинах, що суттєво впливає на точність отриманих результатів.

Матеріали та методи. У ході оновлення фонду ЗВТ у власній лабораторії будівельних конструкцій і вибухотехніки ПП «Полтава-проект» виявлено значний фізичний знос прогиномірів 6-ПАО й відсутність альтернативи їх заміни. Зазначені прилади (у тому числі з електронними цифровими блоками) виробляються виключно в країні-агресорі та не поширені за кордоном. Дослідження ґрунтуються на аналізі доступних на ринку ЗВТ, передових вітчизняних і закордонних практиках проведення натурних і лабораторних експериментів, власному досвіді виконання науково-технічного супроводу розробок нових конструктивних рішень.

Результати. Першим кроком у пошуку і створенні власних засобів вимірювання стала перевірка досвіду використання спеціальних пристосувань на базі лазерних та оптичних датчиків, що частково використовували в лабораторіях НДІ будівельних конструкцій. Виготовлений прототип замаркований PL-01 створений на базі лазерних датчиків комплекту Vambu LAB. Порівняння проводили з показниками повіреного прогиноміру 6-ПАО із точністю 0,01 мм на зразку дерев'яної дошки перерізом 100x10 мм. Як направляючі використано поле з матовим синтетичним

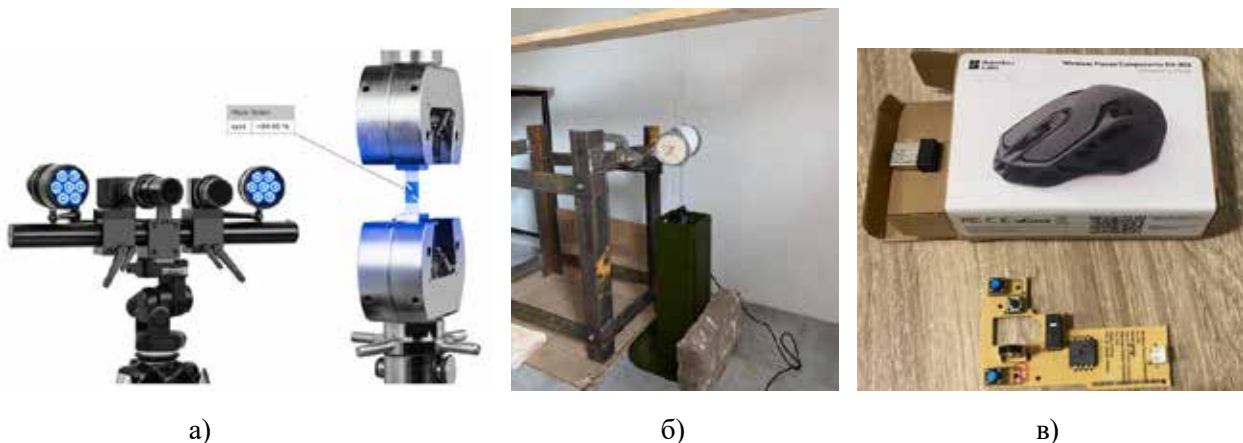


Рис. 1. Загальні пристосування для вимірювання прогинів: а) система стереокамер «ARAMIS»; б) прогиноміри Аістова 6ПАО; в) додаткові пристосування



Рис. 2. Проведення випробувань в умовах виробничого майданчика

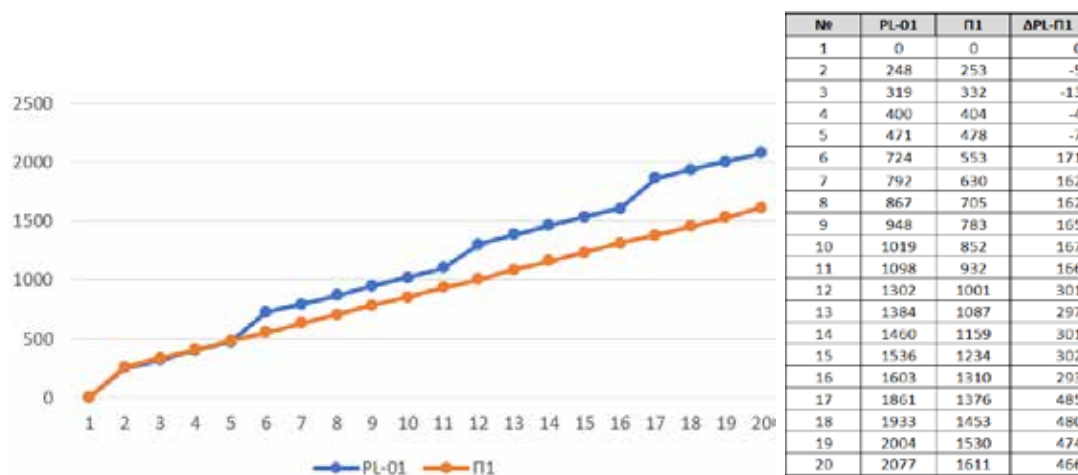


Рис. 3. Випробування переміщення на пристосування PL-01 (лазерний датчик від комплекту Bambu LAB)

покриттям і надійною фіксацією датчика над рівнем поверхні. У ході випробування (рис. 3) відмічено зависання датчика з частковим безсистемним просковзуванням значення переміщення. Основні отримані результати: відхилення між показниками прогиноміра 6ПАО (П1) і зібраного пристосування PL-01 становило 4,66 мм, або 29%. Варто відмітити, що до просковзування датчика на 1–5 ступенях відхилення становило 0,07 мм та 1,46% відповідно.

Другим етапом стало пристосування електронної месоури на базі SHANE 5403-200F із точністю 0,005 мм, що використовується для переобладнання металообробних верстатів у станки ЧПУ. Корпус приладу змодельовано й виготовлено шляхом 3D друку з точністю сопла 0,2 мм, що забезпечило точну співвіс-

ність направляючих для кріплення месоури та корзини противаги. Для перевірки результатів даних використано відразу 2 прогиноміри 6-ПАО. Відхилення між показниками 2 прогиномірів 6ПАО (П1, П2) і зібраного пристосування PP-01 становило 0,08 мм, або 0,3% (рис. 4, 5).

Зважаючи на рознесення точок кріплення струни прогиномірів на 30 мм (для вертикального ходу вантажу противаги) і зафіксоване закручення перерізу елемента, що випробовувався, виконано повторний дослід із порівнянням зібраного пристосування PP-01 і повіреним індикатором годинникового типу ІЧ 0,01 (рис. 6). Відхилення між показниками становило 0,01 мм, або 0,1%. Максимальні відхилення, зафіксовані в ході випробування, становили 0,03 мм та 0,97%.

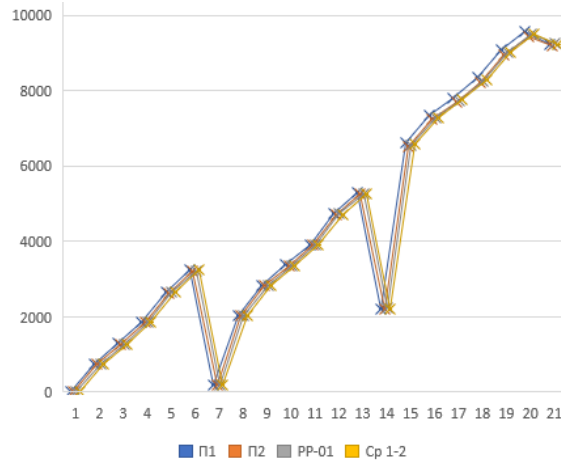


Рис. 4. Випробування переміщення на пристосування PP-01 (електронна меса SHANE 5403-200F)

№ вип.	Фасад		Тил	Центр	ПЕРЕМІЩЕННЯ						Відхилення у %	
	П1	П2	П2	PP-01	П1	Δ1-PP	ΔП1-П2	П2	Δ2-PP	Cr 1-2		ΔCr-PP
1-0	9623	4089		0	0	0	0	0	0	0	0,0	0
1-1	371	3348		745	748	3	7	-741	4	744,5	0,5	0,0672
1-2	914	2820		1281	1291	10	22	-1269	12	1280	1,0	0,0781
1-3	1491	2215		1859	1868	9	-6	-1874	-15	1871	12,0	0,6414
1-4	2282	1462		2645	2659	14	32	-2627	18	2643	2,0	0,0757
1-5	2862	868		3225	3239	14	18	-3221	4	3230	5,0	0,1548
1-Р	9827	3898		200	204	4	13	-191	9	197,5	2,5	1,2658
2-0	1651	2051		2039	2028	-11	-10	-2038	1	2033	6,0	0,2951
2-2	2455	1265		2831	2832	1	8	-2824	7	2828	3,0	0,1061
2-3	2993	737		3367	3370	3	18	-3352	15	3361	6,0	0,1785
2-4	3545	184		3921	3922	1	17	-3905	16	3913,5	7,5	0,1916
2-5	4357	9386		4725	4734	9	31	-4703	22	4718,5	6,5	0,1378
2-6	4905	8839		5276	5282	6	32	-5250	26	5266	10,0	0,1899
2-Р	1840	1895		2232	2217	-15	23	-2194	38	2205,5	26,5	1,2015
3-0	6250	7565		6553	6627	74	103	-6524	29	6575,5	22,5	0,3422
3-1	6969	6865		7271	7346	75	122	-7224	47	7285	14,0	0,1922
3-2	7432	6402		7736	7809	73	122	-7687	49	7748	12,0	0,1549
3-3	7962	5882		8260	8339	79	132	-8207	53	8273	13,0	0,1571
3-4	8700	5153		8994	9077	83	141	-8936	58	9006,5	12,5	0,1388
3-5	9189	4665		9488	9566	78	142	-9474	64	9495	7,0	0,0737

Рис. 5. Результати випробування переміщення на приладах PP-01, П1, П2

Подальший розвиток запропонованого пристосування (рис. 7) наразі зводиться до більш стабільної фіксації та влаштування захисту корпусу PP-01 шляхом установлення в сталеву обойму. Виконується компонування підключення та передача даних відразу з кількох датчиків на плату Arduino з програмуванням можливості ув'язки отриманих даних у часі. Опрацьовано моменти знімання показників примусово (за натисканням кнопки) чи відповідно до закладених у програму співвідношень швидкості розвитку деформацій (необхідно для точної фіксації часу і знімання показників прогинів після стабілізації зразка на ступені навантаження від коливань конструкції або перебігу ластичних деформацій). Додано додаткові виходи для зіставлення зна-

чення прогинів із цифровими показниками навантаження (від електронних ваг чи цифрового блоку пресу). Досліджується вплив на точність датчика просідання показників джерела живлення месаури. Уже проведені попередні заміри фахівцями ДП «КІЇВОБЛ-СТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» зазначили точність вимірювань на рівні 0,01 мм із нульовим відхиленням показів приладу від довжини стандартних еталонів.

Висновки. Отримані результати можуть свідчити про достатню точність отриманого пристосування для проведення випробувань у «польових умовах». Досвід виконання подібних досліджень указує на значну кількість факторів, що впливають на достовірність отриманих результатів: вплив сторонніх фак-

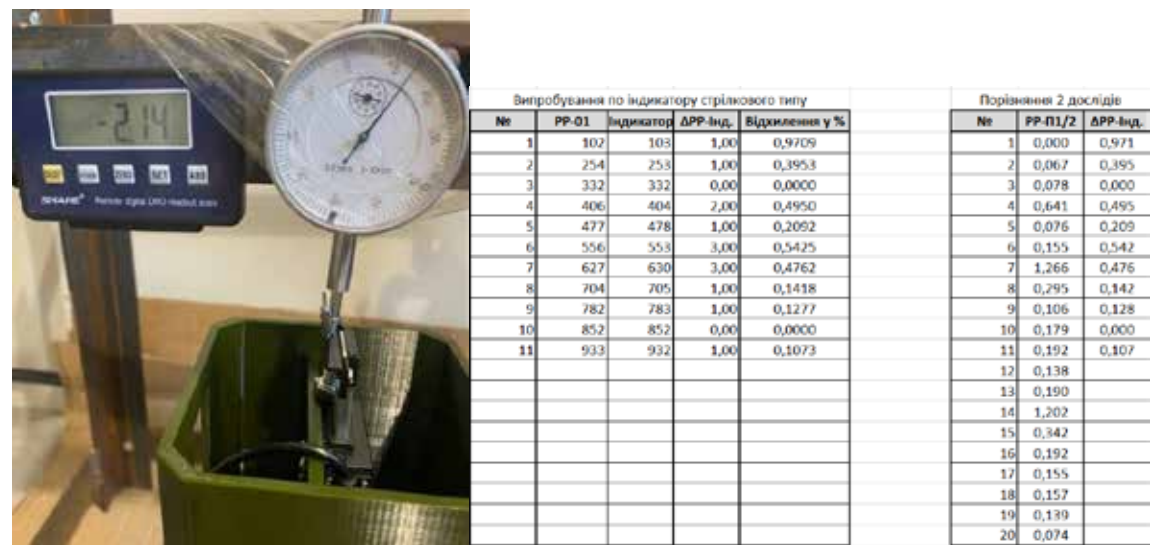


Рис. 6. Результати випробування переміщення на приладах PP-01 та індикаторі стрілкового типу ІЧ 0,01

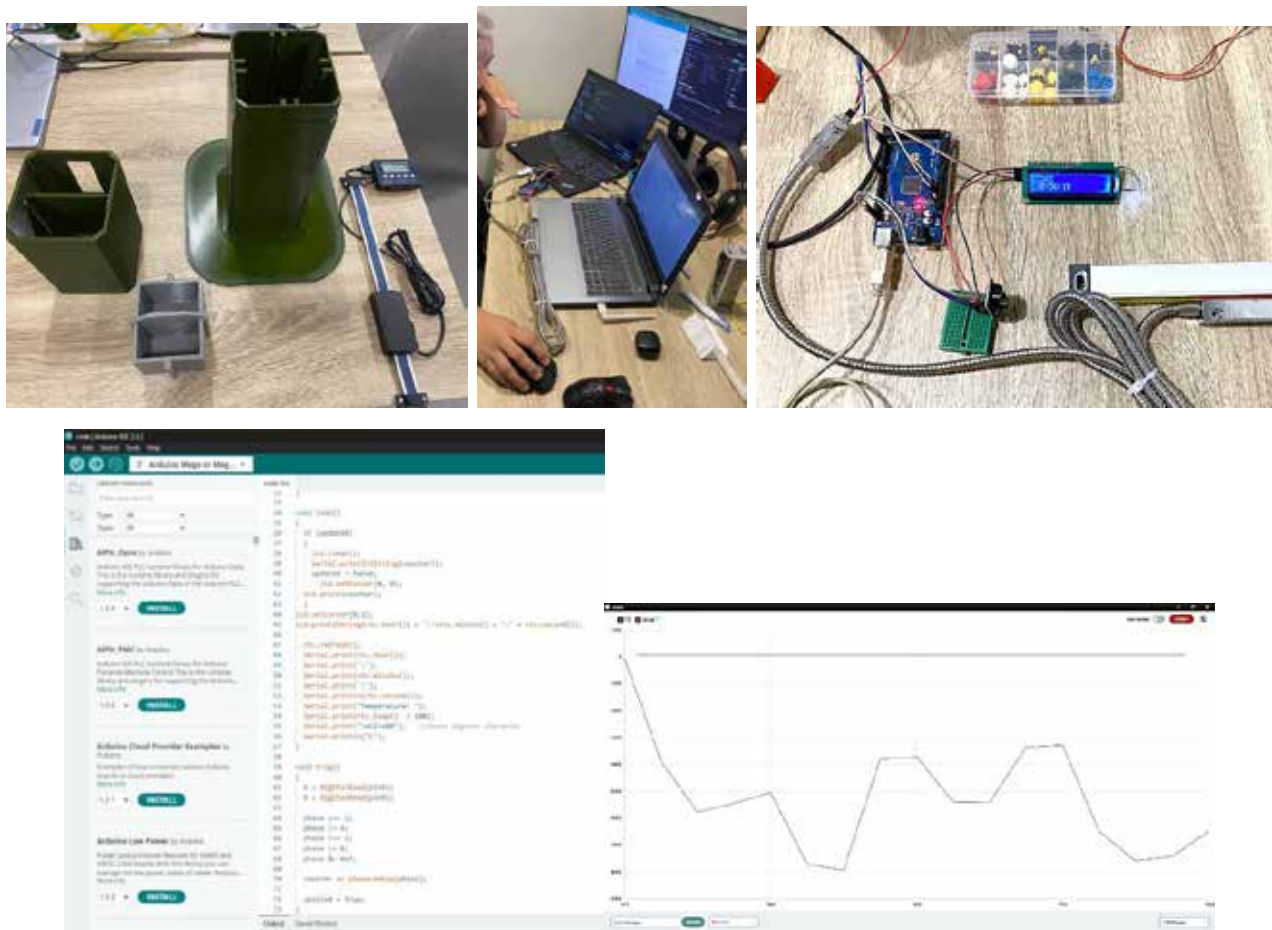


Рис. 7. Подальший розвиток використання цифрових месур у ЗВТ

торів (вібрації конструкцій, вплив вітру на корпус прогиномірів, силові сторонні впливи на конструкції, що досліджуються тощо), точність знімання замірів із циферблатів стрілкового типу в складних умовах випробування, точність установа випробувального стенду і пристосування для випробування тощо. Фактично повторні випробування однотипних конструкцій чи дублювання прогиномірів на одній точці конструкцій у приладах показують розбіжності до 1% із похибками

в межах 0,1 мм. Ці значення замірів є прийнятними, зважаючи на геометричні та параметральні неточності (відхилення) фактичних конструкцій від проектних, у тому числі стосовно проектного й фактичного положення конструкції та способу передачі зусилля на опорні елементи. Найближчим часом наше підприємство запланувало отримання протоколів відповідності, дрібносерійне виробництво й перевірку зазначених засобів виміральної техніки.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2007. 14 с.
2. Системи ATOS Compact Scan. Вимірювальні системи ARAMIS: Дата оновлення: 18.09.2023. URL: <https://oim3d.com/MeasureSystems/> [in English].

References:

1. Vyd. ofits. Kyiv: DP «UkrNDNTs» (2007). DSTU B V.1.2-3:2006: Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia. [DSTU B V.1.2-3:2006: Deflections and Displacements. Design Requirements. Official Edition.], 14 [in Ukrainian].
2. ATOS Compact Scan Systems. ARAMIS Measurement Systems. Retrieved from: <https://oim3d.com/MeasureSystems/> [in English].

УДК 711

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.13>**Степанчук Олександр Васильович,**

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва
факультету наземних споруд та аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2822-3471>
E-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua

Омельяненко Максим Вікторович,

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри архітектури та просторового планування
факультету наземних споруд та аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5692-8890>
E-mail: maksym.omelianenko@npp.nau.edu.ua

Лапенко Олександр Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва
факультету наземних споруд та аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2029-0792>
E-mail: oleksandr.lapenko@npp.nau.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ ПРИВОКЗАЛЬНИХ ПЛОЩ НА ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТІВ

Анотація. Мета дослідження полягає в аналізі вітчизняного досвіду щодо планувальних рішень привокзальних площ аеропортів і їх впливу на рух пішоходів і транспортних потоків. У статті подано типові схеми привокзальних площ українських аеропортів за формою ділянки й розташуванням під'їзних доріг до площ.

Розглянуто напрями вдосконалення та розвитку пішохідного і транспортного руху на привокзальних площах аеропортів.

Подано узагальнені результати схем планувальних рішень привокзальних площ аеропортів і визначено напрями вдосконалення заходів з організації руху пішоходів і транспортних засобів на території аеровокзальних комплексів.

Аналіз поточних планувальних рішень привокзальних площ аеропортів дав змогу сформуванню їх класифікацію за формою площі й виділити типові схеми привокзальних площ за розташуванням під'їзної дороги до самої площі.

Аналіз і дослідження планувальних рішень привокзальних площ на території аеровокзальних комплексів дав змогу виявити, що формування транспортно-пересадочних вузлів відбувається переважно на базі привокзальних площ.

Дослідження планувальних рішень привокзальних площ на території аеропортів виявило, що їх оптимальна планувальна організація сприяє підвищенню ефективності обслуговування пасажирів, зменшенню часу пересування й підвищенню рівня задоволення послугами аеропорту.

Проаналізовано методiku розрахунку рівня обслуговування пішоходів, яка дала б змогу вдосконалити функціонування привокзальних площ із визначенням оптимальних параметрів пішохідних шляхів на території аеровокзальних комплексів. У цій методиці розраховуються мінімальні вимоги щодо пропускної здат-

ності пішохідних шляхів. Ці вимоги призначені для визначення мінімальної ширини пішохідної зони, необхідної для безпечного та зручного руху людей.

Ключові слова: аеропорт, привокзальна площа, пішохідний потік, транспортний потік, пішохідний рух, транспортний рух, транспортний засіб, транспортний вузол.

Stepanchuk Oleksandr, Omelyanenko Maxim, Lapenko Oleksandr. STUDY OF PLANNING DECISIONS OF TERMINAL AREAS ON THE TERRITORY OF AIRPORTS

Abstract. The aim of the study is to analyze the domestic experience regarding the planning solutions of airport forecourts and their impact on pedestrian and transport flows. The article presents typical schemes of Ukrainian airport forecourts by the shape of the site and the location of access roads to the forecourts.

Directions for the improvement and development of pedestrian and transport movements in the airport forecourts are considered.

The article provides generalized results of planning solutions for airport forecourts and identifies directions for improving measures for organizing the movement of pedestrians and vehicles in the areas of airport complexes.

The analysis of current planning solutions for airport forecourts allowed for their classification by the shape of the forecourt and highlighted typical schemes based on the location of the access road to the forecourt itself. The conducted analysis and research of planning solutions for airport forecourts on the territory of airport complexes revealed that the formation of transport interchange hubs mainly occurs based on forecourts.

The study of planning decisions of station areas on the territory of airports established that their optimal planning organization contributes to increasing the efficiency of passenger service, reducing travel time and increasing the level of satisfaction with airport services.

The method of calculating the level of pedestrian service was analyzed, which allowed to improve the functioning of the station areas with the determination of the optimal parameters of pedestrian paths on the territory of the airport complexes. This methodology calculates the minimum requirements for the capacity of footpaths. These requirements are intended to determine the minimum width of the pedestrian zone necessary for the safe and convenient movement of people.

Key words: airport, station area, pedestrian flow, traffic flow, pedestrian traffic, transport traffic, vehicle, transport node.

Вступ. Авіаційні перевезення відіграють важливу роль у забезпеченні мобільності населення, розвитку міжнародної торгівлі й туризму. Щороку кількість пасажирів, які користуються послугами аеропортів, невідомо зростає, що ставить перед авіаційними хабами нові виклики щодо забезпечення ефективного та комфортного обслуговування. Одним із ключових складників цього процесу є організація заходів з обслуговування людей на території аеровокзальних комплексів.

Удосконалення транспортного процесу, забезпечення якості обслуговування й підтримки мобільності населення є дуже важливим аспектом розвитку транспортних вузлів на території аеропортів. Сьогодні функціонування більшості аеровокзальних комплексів характеризується значними витратами часу пасажирів під час пересадки, а також скупченням транспортних засобів на зупиночних пунктах, що призводить до збільшення навантаження на довкілля й зниження безпеки виконання транспортних операцій.

Планувальне рішення будівлі аеропорту має забезпечувати зручний, безпечний і швидкий доступ лише до повітряних транспортних засобів, а й до різних видів наземного пасажирського транспорту, включно з таксі, автобусами, приватними автомобілями й іншими засобами пересування. Невдало сплановані привокзальні площі можуть стати причиною заторів, затримок, незручностей і навіть небезпеки для пасажирів.

Тому важливо дослідити наявні проблеми та впровадити планувальні рішення, які сприятимуть оптимізації пасажиропотоків, зменшенню часу на пересування й підвищенню загального рівня задоволеності пасажирів.

У сучасному світі аеропорти є важливими транспортними вузлами, які обслуговують мільйони пасажирів щорічно. Зростання обсягів авіаперевезень створює значний тиск на інфраструктуру аеропортів, зокрема на привокзальні площі, які є першою точкою контакту пасажирів з аеропортом. Ефективність обслуговування пасажирів значною мірою

залежить від планувальних рішень, прийнятих щодо організації цих площ. Невдалі планувальні рішення можуть призвести до заторів, незручностей для пасажирів, збільшення часу на пересування та зниження загального рівня задоволеності послугами аеропорту.

Основними питаннями вдосконалення планувальних рішень є визначення оптимальних розмірів привокзальних площ, які б забезпечували високу ефективність обслуговування пасажирів, зменшували час перебування на привокзальних площах і підвищували комфорт пасажирів.

Для вдосконалення інженерно-планувальних рішень аеровокзальних площ необхідно враховувати різні аспекти, такі як рух транспортних засобів, пішохідні потоки, розташування зупинок громадського транспорту, стоянок таксі, паркувальних зон та інших інфраструктурних елементів.

Таким чином, постає питання: які саме планувальні рішення є найбільш ефективними в організації привокзальних площ аеропортів і будуть сприяти підвищенню якості обслуговування пасажирів? Відповідь на це питання вимагає проведення комплексних досліджень та аналізу наявних підходів до планування привокзальних площ в умовах обсягів пасажиропотоку, що зростають.

Матеріали та методи. Сьогодні містобудівна наука містить достатню кількість нормативних документів, посібників і методичних рекомендацій для проектування аеровокзальних комплексів, у тому числі й привокзальних площ на території аеропортів. Але все ж вони є застарілими. Найбільш відомі рекомендації з проектування привокзальних площ в аеропортах, які впроваджені в дію у 80–90-х роках минулого століття, не можуть повністю відповідати вимогам сучасного проектування, тому що змінилися вимоги до якості обслуговування населення, а також збільшилась інтенсивність руху пасажирського транспорту в містах і на територіях аеропортів.

Однак окремою групою можна виділити дослідження, де привокзальні площі розглядаються в контексті аеровокзального комплексу. Результати таких досліджень відображено в працях таких науковців, як Анна Гаррісон

[1], Сара Н. Шучі [2], М.Б. Касім [3; 4]. Аналіз теоретичних джерел дав змогу виділити такі проблеми проектування й формування привокзальних площ, як специфіка проектування зупиночних пунктів на привокзальних площах аеропортів і концептуальні засади формування аеропортового середовища транспортних вузлів.

Стаття має на меті дослідити вплив планувальних рішень привокзальних площ на ефективність обслуговування пасажирів в аеропортах. У роботі розглянуто сучасні підходи до планування й організації привокзальних територій, проаналізовано наявні проблеми та надано рекомендації щодо покращення їхньої функціональності. Особлива увага приділятиметься досвіду провідних світових аеропортів і можливості адаптації їхніх рішень у контексті українських реалій.

Результати. Привокзальна площа (далі – ПП) є одним із основних складових елементів аеровокзального комплексу аеропорту, пунктом для пересадки пасажирів між різними видами транспорту, в основному між пасажирським наземним і повітряним.

Тому інженерно-планувальна організація привокзальних площ аеропортів є важливим складником у забезпеченні умов ефективного обслуговування пасажирів. Привокзальні площі містять такі елементи, як зупинки громадського транспорту, стоянки таксі, паркувальні зони, пішохідні переходи, місця висадки й посадки пасажирів, а також зони для посадки висадки пасажирів із приватних автомобілів. Планування цих елементів має враховувати кілька важливих аспектів для досягнення максимальної ефективності та зручності.

Зручний доступ до транспорту. Привокзальні площі повинні забезпечувати легкий доступ до різних видів транспорту, таких як автобуси, таксі, орендовані автомобілі та приватні транспортні засоби. Це зменшує час очікування й пересування пасажирів, що сприяє підвищенню якості їх обслуговування.

Розділення транспортних потоків. Одним із ключових аспектів максимальної ефективності й зручності є розділення транспортних потоків для запобігання заторам

і небезпекам для пішоходів і транспорту, зокрема створення окремих зон для громадського транспорту, таксі, приватних автомобілів і службових транспортних засобів.

Зручні пішохідні маршрути. Безпечні та зручні пішохідні маршрути є необхідними для забезпечення комфортного пересування пасажирів. Пішохідні переходи повинні бути добре марковані й обладнані засобами для безпеки, такими як світлофори, пандуси для інвалідних візків та інші допоміжні засоби.

Оптимізація паркувальних зон. Паркувальні зони повинні бути розташовані так, щоб забезпечувати зручний доступ до терміналів аеропорту. Вони повинні мати як короткострокові паркувальні місця для висадки й посадки пасажирів, так і довгострокові паркувальні зони для тих, хто залишає свої автомобілі на тривалий період.

Урахування обсягів пасажиропотоку. Планування привокзальних площ повинно враховувати прогнозовані обсяги пасажиропотоку, що дасть змогу уникнути перевантаження інфраструктури в пікові періоди. Для цього можуть використовуватися моделювання пасажиропотоків та аналітичні інструменти.

Використання сучасних технологій. Сучасні технології, такі як системи автоматизованого керування рухом, електронні табло з інформацією про транспортні засоби й мобільні додатки для навігації, можуть значно підвищити ефективність обслуговування пасажирів на привокзальних площах.

Екологічні аспекти. Важливо враховувати екологічні аспекти під час планування привокзальних площ. Використання екологічно чистого транспорту, створення зелених зон і системи для збирання й утилізації відходів сприяють зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

Привокзальна площа прилягає до споруди аеровокзалу та з'єднується з населеними пунктами під'їзними шляхами й магістральними вулицями та дорогами.

Важливими елементами привокзальних площ є протяжність фронтів висадки-посадки пасажирів наземного транспорту. Їх довжини залежать від пропускної спроможності аеровокзалу. Малі аеровокзали пропускною спроможністю до 400 пас/год мають довжину зони висадки-посадки 15–50 м; великі та найбільші аеровокзали – 70–200 м відповідно (аеропорт «Бориспіль», термінал D, F, В; аеропорт «Львів»).

Виходячи з твердження, що привокзальна площа є обмінним пунктом пересадки пасажирів, можна констатувати, що більшу площу її території займають короткострокові й довгострокові автостоянки для приватного та громадського транспорту, стоянки для співробітників і паркувальні місця для зони оренди автомобілів.

Проектування привокзальної площі потребує певних відомостей у нормуванні допустимих параметрів ділянок. Сьогодні в Україні відсутні нормативні документи, які стосуються саме формування привокзальної площі. Але поряд із цим є нормативна база щодо вокзальних комплексів та зупинних пунктів. З огляду на те що принципи функціонування вокзалу й аеровокзалу є дещо схожими, можна проаналізувати норми ГБН В.2.3-37472062-2:2013 [5] для подальшого розрахунку та визначення необхідних параметрів привокзальної площі (таблиця 1).

Ширина тротуарів уздовж фасаду пасажирської будівлі з боку площі наведена в таблиці 2. З огляду на те що на привокзальній площі пасажири рухаються з багажем, то ширини для однієї смуги руху 0,75 м може бути замало. Тому є актуальним визначення

Таблиця 1

Класифікація вокзалів за місткістю й площею [5]

Групи вокзалів за місткістю	Розміри площі (мінімальні), м ²	Місткість вокзалу, пас.
Малі	3000	50, 100, 150 та 200
Середні	7000	від 200 до 700 включно
Великі	10000	від 700 до 1500 включно
Дуже великі	12500	понад 1500

Таблиця 2

Ширина тротуарів уздовж фасаду пасажирської будівлі з боку площі [5]

Групи вокзалів за місткістю	Ширина, м
Малі	менше ніж 3,0 м
Середні	не менше ніж 4,5 м
Великі	не менше ніж 6,0 м
Дуже великі	не менше ніж 6,0 м

габаритів і параметрів пішохідних шляхів, тротуарів і місць скупчень пасажирів на зупинках на території аеровокзальних комплексів.

Привокзальні площі за своєю конфігурацією можуть мати різноманітні форми ділянки. Найбільш поширеною конфігурацією привокзальної площі є прямокутна зі співвідношенням сторін 1:2.

Досліджуючи привокзальні площі українських аеропортів, можна визначити форми їхніх ділянок (таблиця 3): трапецієвидна (аеропорт «Львів» ім. Данила Галицького), прямокутна (аеропорти «Харків», «Одеса», «Бориспіль» (термінали F, B) і лінійна (аеропорт «Бориспіль» (термінал D)). З усіх вищезазначених форм привокзальних площ найбільш функціональною та оптимальною є прямокутна, тому що вона може забезпечити найкоротший шлях руху людей від аеровокзалу до вибраного виду транспорту.

Продовжуючи аналіз планувальної організації привокзальних площ вітчизняних аеропортів, варто виділити їхні типові схеми планування за розташуванням під'їзної дороги до площі (таблиця 3). З огляду на транспортний рух і планувальну структуру аеровокзального комплексу, привокзальні площі можна поділити на дві групи за розташуванням під'їзної дороги до фронту висадки-посадки пасажирів перед аеровокзалом: транзитні й тупикові.

1. Привокзальні площі з транзитними автомобільними дорогами або вулицями, крім обслуговування пасажирів, які відлітають і прилітають літаком, пропускають різні транзитні потоки пасажирського й вантажного транспорту. Прикладом такого типу площ є аеропорт «Бориспіль» (термінали D та B). Транзитний пасажирський транспорт винесено на сусідні полоси руху біля привокзальної площі. Додаткове завантаження створює

вантажний автотранспорт, який обслуговує товарні й поштові термінали.

2. Привокзальні площі тупикового типу обслуговуються лише пасажирським транспортом, що має тут кінцевий пункт призначення. Прикладами такого типу є аеропорт «Бориспіль» (термінал F), аеропорт «Київ» (термінал A), аеропорт «Одеса».

Недоліками площ із транзитним рухом транспорту є позбавлення пасажирів низки зручностей і створення небезпеки руху транспорту й пішоходів. Зокрема, це можна прослідкувати в терміналі D аеропорту «Бориспіль», де аеровокзал побудували поблизу транзитного руху, так створюючи довгу протяжність фронту з видовженими в плані формами паркувальних майданчиків. Але разом з тим видовжена форма привокзальної площі скорочує шлях від терміналу до зупинок громадського транспорту.

Площі кінцевого типу руху транспорту також мають свої недоліки, які переважно виражені в нерозподіленні привокзальної площі на зони прибуття й зони відправлення пасажирів. Так, наприклад, термінал F аеропорту «Бориспіль» (рис. 1) має спільний транспортний шлях по периметру привокзальної площі, по якому рухаються як пасажирів, що прибувають, так і ті, що відлітають. Це планувальне рішення створює завантаженість і перетин транспортних і пішохідних потоків.

Підсумовуючи вище проаналізовані планувальні рішення привокзальних площ, можемо дати рекомендації щодо їхньої раціональної функціонально-планувальної організації. Тому, повертаючись до питання розподілення пішохідних і транспортних потоків на привокзальних площах, складемо перелік таких заходів:

– влаштування пішохідної зони по периметру привокзальної площі;

Таблиця 3

Типові схеми привокзальних площ за розташуванням під'їзної транспортної дороги до площі

Тип	Приклади	Варіанти планувальних рішень привокзальних площ	
Транзитний	Аеропорт «Бориспіль» (термінал D, B)		
Тупиковий	Аеропорт «Бориспіль» (термінал F), аеропорт «Київ», аеропорт «Одеса»		

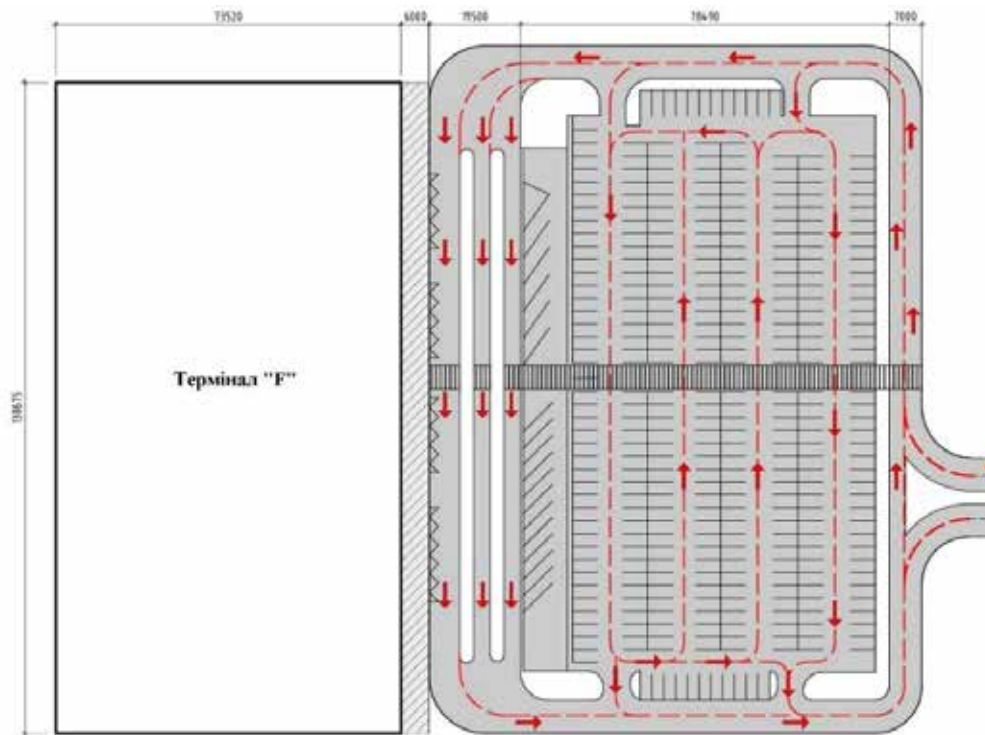


Рис. 1. План привокзальної площі терміналу F аеропорту «Бориспіль»

– планування пішохідної зони півострівного типу в центральній частині привокзальної площі, що розподілить площу на зону прибуття й відправлення;

– організація руху пішоходів і транспорту у двох або декількох рівнях із використанням тунелів, естакад та інших споруд для розподілення їхніх потоків;

– транзитні засоби для посадки й висадки пасажирів повинні бути розташовані ближче до входу в аеровокзал;

– рух громадського пасажирського транспорту має бути відокремленим від легкового автомобільного руху.

Актуальним аспектом удосконалення руху пішохідного та транспортного потоку є планування функціональних схем привокзальних площ кінцевого (тупикового) і транзитного руху (рис. 2, 3). Важливим пунктом організації площ є створення пішохідного простору по їхніх центральних зонах, який розподілить один від одного площу прибуття й відправлення пасажирів (рис. 2). Таке зонування створить сприятливі умови для функціонування транспорту, покращить якість обслуговування пасажирів.

Взявши до уваги наукові дослідження, проведені вітчизняними й іноземними фахівцями, виконані проєктні роботи й техніко-економічні розрахунки [1–4, 6–12], можемо стверджувати, що підвищення ефективності функціонування привокзальних площ аеропортів можливе шляхом удосконалення системи управління та розділення пішохідних потоків на пасажирів, що прибувають, і тих, що відбувають. Таке рішення може бути досягнуто шляхом поділу площі на дві зони: зона прибуття пасажирів і зона відбуття.

Повертаючись до питання планувального рішення схеми привокзальної площі з транзитним рухом транспорту (рис. 3), варто акцентувати увагу на розміщенні зупинок громадського транспорту. Дослідження організації транспортного обслуговування на привокзальних площах українських аеропортів показали, що паркувальні майданчики транспорту розташовуються переважно на значній відстані (більше ніж 200 м) від аеровокзалів. Звідси можна зробити висновок про необхідність розміщення стоянок транспорту, автобусних, трамвайних і залізничних зупинок на відстані не більше ніж 180 м

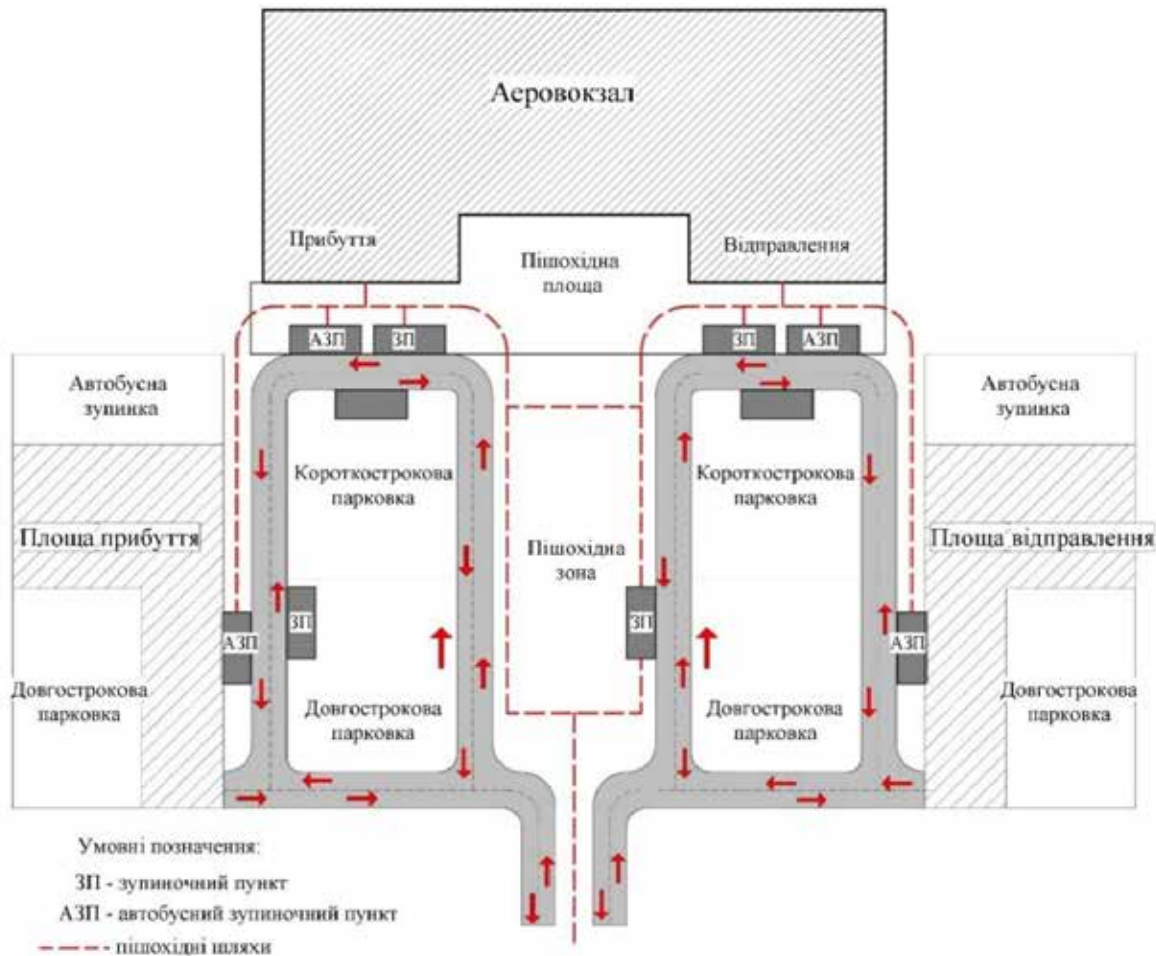


Рис. 2. Планувальна організація тупикової привокзальної площі

від будівлі аеровокзалу, тому що, згідно із закордонним досвідом [12], гранична відстань пересадки від терміналу до відповідного виду транспорту не повинна перевищувати 180 м.

Одним із варіантів вирішення проблеми організації зупинок громадського пасажирського транспорту й майданчиків для стоянок є організація руху громадського транспорту по кільцю, яке розміщується в безпосередній близькості до аеровокзалу та яке буде оточене платформами із зовнішнього боку, на яких зможе обслуговуватися міський пасажирський транспорт. Шлях від платформ до аеровокзалу має бути найкоротшим. Кільце повинно мати спеціалізовані майданчики прибуття й відправлення транспортних засобів, що дасть змогу автобусам та автомобілям під'їжджати до основних розподільчих платформ (рис. 3).

Удосконалення функціонування привокзальних площ неможливе без визначення оптимальних параметрів пішохідних шляхів на території аеровокзальних комплексів. Тому є доречним проаналізувати методику розрахунку рівня обслуговування пішоходів [12]. У цій методиці розраховуються мінімальні вимоги щодо пропускної здатності пішохідних шляхів. Ці вимоги призначені для визначення мінімальної ширини пішохідної зони, необхідної для безпечного та зручного руху людей. Для комфортності руху людських потоків усі пішохідні шляхи й споруди повинні бути спроектовані та, щоб забезпечити належний рівень обслуговування (LOS) у період найбільшої інтенсивності пішохідного потоку.

Існує шість рівнів обслуговування пішоходів (LOS), які базуються на визначенні ширини зони пішохідного руху, кількості

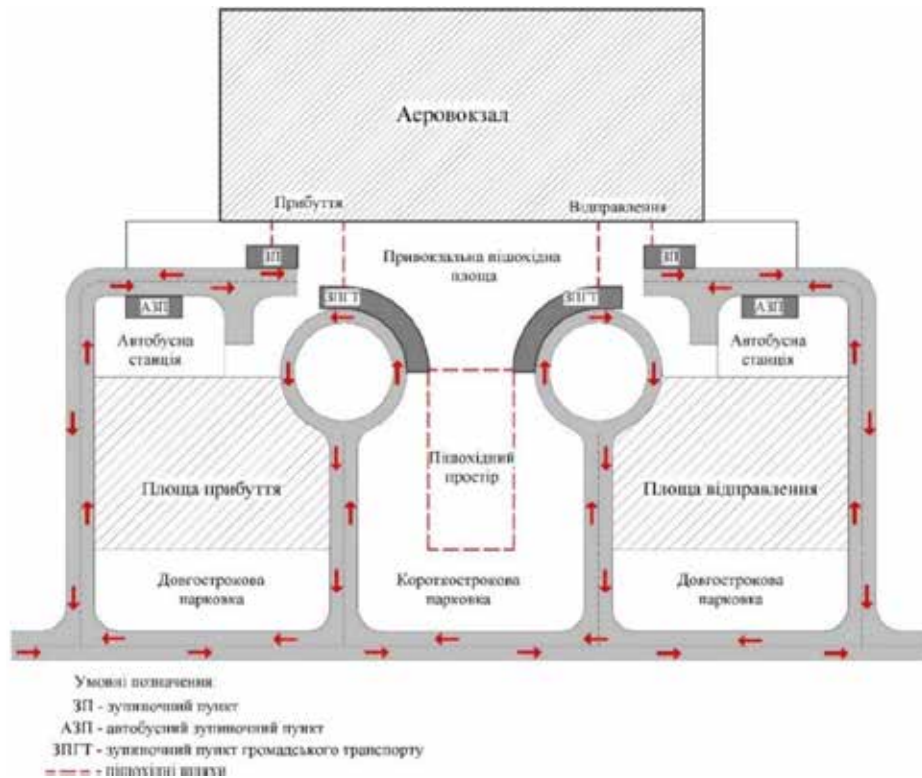


Рис. 3. Планувальна організація транзитної привокзальної площі

Таблиця 4

Рівні LOS пішохідних шляхів

LOS	Ширина пішохідного шляху, м	Середня швидкість, S, м/хв	Кількість пішоходів на одиницю ширини, V, (піш/м/хв)
A	>10,7	79,2	0–7
B	7,6–10,7	76,2	7–10
C	4,6–7,6	73,2	10–15
D	3,0–4,6	68,6	15–20
E	1,5–3,0	45,7	20–25
F	<1,5	<45,7	Змінна

пішоходів і можливих перешкод. Рівень LOS C та вищі вважаються прийнятними для пішохідних шляхів у періоди пікового навантаження. Для переміщення людей з обмеженими можливостями рекомендований рівень LOS B та A.

Покращення стану функціонування привокзальних площ на території аеропортів можливе за рахунок таких заходів:

- поділ площі і планувальному відношенні на дві зони: зону прибуття й зону відправлення пасажирів;
- організація пішохідного простору на центральній частині привокзальної площі, який

розділить зони прибуття й відправлення пасажирів одна від одної;

- необхідність розміщення зупинок маршрутного транспорту і стоянок іншого транспорту на відстані не більше ніж 180 м від будівлі аеровокзалу з можливою організацією кільцевого руху транспорту на привокзальній площі.

Висновки. Дослідження планувальних рішень привокзальних площ на території аеропортів є комплексним завданням, яке вимагає врахування багатьох факторів. Оптимальні планувальні рішення сприяють підвищенню ефективності обслуговування пасажирів,

зменшенню часу пересування й підвищенню рівня задоволення послугами аеропорту. Упровадження сучасних технологій і наукових підходів є невід'ємною частиною цього

процесу. Ретельний аналіз і планування при вокзальних площ є ключем до створення комфортного й безпечного середовища для всіх пасажирів.

Список використаних джерел:

1. Harrison A. Principles of Experience Design for Airport Terminals. Phd thesis. Queensland University of Technology. Brisbane, 2015. 245 с.
2. Sarah N., Shuchi B.A. Novel Concept for Airport Terminal Design Integrating Flexibility. Phd thesis, Queensland University of Technology, Brisbane, 2015. 264 с.
3. Касім М.Б. Принципи архітектурно-планувальної організації терміналів аеропортів (на прикладі аеропортів Ірак) : дис. ... канд. арх. : 18.00.0 / КНУБА. Київ, 2019. 255 с.
4. Касім М.Б. Розвиток структури сучасних аеропортів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування* : науково-технічний збірник. Київ, 2018. Вип. 52. С. 328–337.
5. ГБН В.2.3-37472062-2:2013. Галузеві будівельні норми України. Службово-технічні будівлі і споруди станційно-вокзальних комплексів та зупинних пунктів залізничного транспорту. Київ, 2013. 123 с.
6. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху : монографія / В.М. Першаков, А.О. Белятинський, О.В. Степанчук, Р.В. Кротов. Київ : НАУ, 2015. 176 с.
7. Куцина І.А. Класифікація елементів пішохідної інфраструктури. *Містобудування та територіальне планування*. 2017. № 65. С. 291–297.
8. Куцина І.А. Методика визначення рівня обслуговування пішоходів. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2016. № 44. С. 154–161.
9. Куцина І.А. Модуль організації пішохідного руху в загальноміському центрі на прикладі м. Ужгорода. *Містобудування та територіальне планування*. 2016. № 62. С. 327–332.
10. Пустовойт Р.О., Степанчук О. В. Визначення оптимальної ширини пішохідної зони на території аеровокзальних комплексів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 1(3). С. 40–46.
11. Рейцен Є.О. Організація і безпека міського руху : навчальний посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2014. 454 с.
12. Station Site and Access Planning Manual – Washington Metropolitan Area Transit Authority. URL: <https://www.wmata.com/pdfs/planning/Station/20Access/SSAPM.pdf>.

References:

1. Anna Harrison (2015). Principles of Experience Design for Airport Terminals. Phd thesis. Queensland University of Technology. Brisbane [in English].
2. Sarah, N., & Shuchi, B. A. (2015). Novel Concept for Airport Terminal Design Integrating Flexibility. Phd thesis, Queensland University of Technology, Brisbane [in English].
3. Kasim, M. B. (2019). Pryntsypy arkhitekturno-planuvainoi orhanizatsii terminaliv aeroportiv (na prykladi aeroportiv Iraku) [Principles of architectural and planning organization of airport terminals (on the example of Iraqi airports)]. *Candidate's thesis*. KNUBA. Kyiv [in Ukrainian].
4. Kasim, M.B. (2018). Rozvytok struktury suchasnykh aeroportiv. [Development of the structure of modern airports]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia – Modern problems of architecture and urban planning: scientific and technical collection*. (pp. 328–337). Kyiv. Vyp. 52 [in Ukrainian].
5. Haluzevi budivelni normy Ukrainy. Sluzhbovo-tekhnichni budivli i sporudy stantsiino-vokzalnykh kompleksiv ta zupynnykh punktiv zaliznychnoho transportu. [Industry building standards of Ukraine. Service and technical buildings and structures of station complexes and stops of railway transport]. (2013). HBN V.2.3-37472062-2:2013. Kyiv [in Ukrainian].
6. Pershakov, V. M., Bieliatynskyi, A. O., Stepanchuk, O. V., & Krotov, R. V. (2015). *Doslidzhennia transportnykh potokiv v aspekti zatorovykh staniv dorozhnoho rukhu: monohrafiia [Study of traffic flows in terms of traffic congestion: monograph]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
7. Kutsyna, I. A. (2017). Klasyfikatsiia elementiv pishokhidnoi infrastruktury. [Classification of pedestrian infrastructure elements]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 65, 291–297 [in Ukrainian].
8. Kutsyna, I. A. (2016). Metodyka vyznachennia rivnia obsluhovuvannia pishokhodiv. [Methodology for determining the level of service for pedestrians]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia – Modern problems of architecture and urban planning*, 44, 154–161 [in Ukrainian].

9. Kutsyna, I. A. (2016). Modul orhanizatsii pishokhidnoho rukhu v zahalnomiskomu tsentri na prykladi m. Uzhhoroda. [Module for the organization of pedestrian traffic in the city center on the example of Uzhhorod]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 62, 327–332 [in Ukrainian].
10. Pustovoi, R.O., & Stepanchuk, O. V. (2024). Vyznachennia optymalnoi shyryny pishokhidnoi zony na terytorii aerovokzalnykh kompleksiv. [Determination of the optimal width of the pedestrian zone on the territory of the airport complexes]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1(3), 40–46 [in Ukrainian].
11. Reitsen, Ye. O. (2014). *Orhanizatsiia i bezpeka miskoho rukhu [Organization and safety of urban traffic]*. Kyiv: TOV «SIK HRUP [in Ukrainian].
12. «Station Site and Access Planning Manual» – Washington Metropolitan Area Transit Authority. Retrieved from [https:// www.wmata.com/pdfs/planning/ Station/20Access/SSAPM.pdf](https://www.wmata.com/pdfs/planning/Station/20Access/SSAPM.pdf) [in English].

УДК 72.05

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.14>**Чернишова Оксана Сергіївна,**

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8132-2153>
E-mail: oksana.chernyshova@npp.nau.edu.ua

Степанчук Олександр Васильович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2822-3471>
E-mail: oleksandr.stepanchuk@npp.nau.edu.ua

Дубик Олександр Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8082-7603>
E-mail: oleksandr.dubyk@npp.nau.edu.ua

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ПІШОХІДНИХ ЗОН АЕРОПОРТІВ І ЗАЛІЗНИЧНИХ ВОКЗАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ПОТРЕБ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ

Анотація. У статті розглянуто загальні вимоги до безбар'єрності простору аеропортів і залізничних вокзалів. Проаналізовано вітчизняний і закордонний досвід у формуванні безпечного й зручного середовища з метою забезпечення доступною транспортною інфраструктурою представників маломобільних груп населення. Вивчено досвід щодо формування пішохідних потоків; площ, які займають пасажирів всіх категорій; щільності й швидкості пішохідних потоків. Також проаналізовано взаємодію перелічених факторів і вплив на них наявності в потоці представників маломобільних груп населення.

Проведено експериментальні дослідження й моделювання руху пішохідних потоків з метою визначення комфортного простору для маломобільних груп населення. У ході досліджень зібрано дані про різні сценарії пішохідного руху в умовах, характерних для аеропортів і залізничних вокзалів. Зокрема, ураховано специфіку пересування осіб з обмеженими можливостями, людей на інвалідних візках, мам із дитячими візочками, літніх осіб та інших учасників руху. Для аналізу комфортності руху використано різноманітні методи, зокрема вимірювання швидкості пересування, щільності пішохідних потоків і часу, необхідного для проходження певних ділянок.

Результати досліджень дали змогу виявити критичні моменти, що впливають на безпеку й зручність пересування маломобільних груп населення. На основі отриманих даних сформульовано рекомендовані параметри пішохідних зон у будівлях аеропортів і залізничних вокзалів. Урахування отриманих результатів можливе під час перепланування або модернізації наявних аеро- й залізничних вокзалів або будівництва нових, що дасть змогу створити сучасний безбар'єрний простір у транспортних вузлах.

Ключові слова: вокзали, пішохідний потік, маломобільні групи населення, інтенсивність, швидкість, пропускна спроможність, параметри пішохідних зон, безпека.

Chernyshova Oksana, Stepanchuk Oleksandr, Dubyk Oleksandr. MODERN REQUIREMENTS FOR PEDESTRIAN ZONES AIRPORTS AND RAILWAY STATIONS WITH REGARD TO THE NEEDS OF PEOPLE WITH REDUCED MOBILITY

Abstract. *The article discusses the general requirements for barrier-free space at airports and railway stations. The author analyzes domestic and foreign experience in creating a safe and convenient environment in order to provide accessible transport infrastructure for people with limited mobility. The experience of forming pedestrian flows; areas occupied by passengers of all categories; density and speed of pedestrian flows is studied. The interaction of these factors and the influence of the presence of representatives of low-mobility groups in the flow is also analyzed.*

Experimental studies and modeling of pedestrian flows were conducted to determine a comfortable space for people with limited mobility. The research collected data on various scenarios of pedestrian traffic in conditions typical for airports and railway stations. In particular, the specifics of the movement of people with disabilities, people in wheelchairs, mothers with baby strollers, the elderly and other road users were taken into account. A variety of methods were used to analyze traffic comfort, including measuring the speed of movement, the density of pedestrian flows, and the time required to pass certain areas.

The results of the research made it possible to identify critical issues that affect the safety and ease of movement of people with limited mobility. Based on the data obtained, the recommended parameters of pedestrian zones in airport and railway station buildings were formulated. The results can be taken into account when redeveloping or modernizing existing airport and railway stations or building new ones, which will create a modern barrier-free space in transport hubs.

Key words: *stations, pedestrian flow, low-mobility groups, intensity, speed, capacity, parameters of pedestrian zones, safety.*

Вступ. В умовах сьогодення в усьому світі все більшої актуальності набуває питання важливості безбар'єрності, яке полягає не лише в можливості фізичного доступу до будівель, споруд чи транспорту. Це завдання присвячено створенню суспільства, у якому кожна людина, незалежно від її можливостей, отримує рівні умови для повноцінного життя. Окрім фундаменту соціальної справедливості, безбар'єрність можна назвати інвестицією в майбутнє, оскільки доступне середовище не лише забезпечує потреби суспільства, а й стимулює економічний розвиток держави. Це зумовлено можливостями для більшої кількості людей користуватися різноманітними товарами й послугами. За даними Міністерства соціальної політики України, у нашій країні кількість людей з інвалідністю стрімко зросла внаслідок повномасштабного вторгнення та становить понад 3 млн громадян [1]. Офіційно оприлюднені цифри свідчать про особливу гостроту питання безбар'єрності в усіх сферах життя в нашій країні для забезпечення рівних умов для всіх. Головні транспортні вузли – аеропорти й залізничні вокзали є ключовими елементами формування мобільності населення. Під час вибору виду транспорту для подорожей поряд із безпечністю, швидкістю та зручністю самої

поїздки значну роль відіграє й організація процесу, що передує безпосередньо поїздки. Безбар'єрність аеропортів і залізничних вокзалів дає змогу маломобільним групам населення (пасажирам із дітьми, людям похилого віку, пасажирам з ураженням опорно-рухового апарату, людям з вадами зору чи слуху та ін.) безперешкодно пересуватися й отримувати потрібну допомогу під час подорожей. У роботі автори розглянули загальні вимоги до безбар'єрності простору аеро- та залізничних вокзалів, вітчизняний і закордонний досвід у формуванні зручного й рівного середовища. Проведено експериментальні дослідження щодо можливих переміщень і розташувань дитячих візочків та інвалідних візків на території вокзалів і виконано низку розрахунків, які дають змогу надавати рекомендації щодо формування пішохідних зон з урахуванням потреб маломобільних груп населення.

Матеріали та методи. Для надання допомоги маломобільним групам населення на територіях вокзалів та аеропортів у всьому світі розробляються й упроваджуються потрібні сервіси, спеціальні облаштування простору для зручної навігації, надають спеціальний транспорт для перевезення пасажирів з інвалідністю територіями комплексів. В Україні також розроблено відповідні рекомендації та

нормативні документи [2–5], головні вимоги яких такі. На територіях привокзальних площ повинні передбачатися спеціально облаштовані паркувальні місця для людей з інвалідністю. Наявність перешкод у вигляді гострих кутів, порогів, виступів тощо не допускається в зонах траєкторії руху відвідувачів вокзалів. Ширина проходів і дверних отворів має давати змогу безперешкодний рух дитячих та інвалідних візків. Будівлі доцільно обладнувати пандусами й ліфтами, відповідно, для подолання нерівностей і доступу до всіх поверхів будівлі, а також для швидкої евакуації маломобільних груп населення. Санвузли повинні бути обладнані спеціальними поручнями, кнопками виклику допомоги й мати достатньо простору для маневрування інвалідного візка. Для орієнтації людей із вадами зору та слуху приміщення облаштовуються тактильною плиткою, спеціальними системами оповіщення, табличками зі шрифтом Брайля. Для орієнтації людей з вадами зору та слуху приміщення мають бути оснащені тактильною плиткою, спеціальними системами оповіщення й табличками зі шрифтом Брайля. Важливу роль також відіграє висота розташування інформаційних табло й доступ до кас та обслуговуючих сервісів, щоб не створювати перешкод для людей на інвалідних візках.

Україна у вирішенні питань безбар'єрності останніми роками суттєво відставала від світового досвіду, але наслідки повномасштабного вторгнення, зокрема велика кількість травмованих серед населення й ветеранів війни, стали каталізатором для розробки комфортних і рівних умов для всіх. Так, за попередніми даними, як мінімум 50 тис. людей в Україні втратили кінцівки з початку повномасштабного вторгнення [6]. З метою забезпечення людей гідними та рівними умовами життя розпочато роботи з вирішення питань безбар'єрного простору загалом і забезпечення вільного доступу до інфраструктури зокрема.

Працівники залізничної інфраструктури одні з перших долучилися до створення комфортних умов для маломобільних груп населення. Так, наприклад, на залізничному вокзалі м. Києва введено в експлуатацію

ліфти для зручного прослідування на деякі платформи, облаштовані зручні зали очікування для людей з інвалідністю, організовані дитячі куточки, приміщення санітарно-гігієнічного призначення запроектовані з урахуванням потреб пасажирів, що користуються інвалідними візками, і пасажирів із маленькими дітьми, запроваджені сервіси для людей з вадами слуху й низку інших заходів. У деяких містах обласного значення (наприклад, Львів, Дніпро) спуски до платформ облаштовані пандусами, забезпечені спеціальні паркувальні місця на привокзальних площах, чергові працівники залізничних вокзалів надають кваліфіковану допомогу пасажирам з інвалідністю, які цього потребують. Незважаючи на закритий повітряний простір і зруйновану частину авіаційної інфраструктури, працівники галузі розробляють рішення для забезпечення доступності аеропортів водночас із відновленням польотів. Так, розробляються рекомендації щодо облаштування доступної навігації, доступного простору, сервісних (або самообслуговування) кімнат, кімнат тиші для пасажирів з інвалідністю, облаштування кімнат для дорослих із дітьми, рекомендації щодо функціональних зон і їх наповнення [5]. Але, незважаючи на великі обсяги робіт, які постійно виконуються, в Україні недостатньо рішень щодо забезпечення інклюзивного простору, особливо це стосується невеликих населених пунктів. Під час планування безпечного й комфортного простору одним із важливих факторів є розміри пішохідних зон. Тому в роботі автори проаналізували досвід щодо формування пішохідних потоків; площ, які займають пасажирів всіх категорій; щільності й швидкості пішохідних потоків; а також взаємодії перелічених факторів і коригування їх за наявності в потоці представників маломобільних груп населення.

Для безпечного й комфортного перебування пасажирів на територіях вокзалів важливу роль відіграє планування простору пішохідних зон. Як відомо, при визначенні параметрів пішохідних зон керуються поняттями пропускної спроможності, щільності й швидкості потоку, на які безпосередньо впливає площа, яку займає той чи інший паса-

жир у потіці, і кількість відвідувачів у години з найбільшим навантаженням.

Під час аналізу наукових праць окрему увагу приділено роботам [7–11]. У колективній науковій праці [7] детально розглядаються основні характеристики пішохідних потоків, їх залежність від різних факторів і вплив на формування пішохідних зон.

У роботі [8] надано рекомендації щодо встановлення мінімальної ширини пішохідної зони для аеровокзальних комплексів, виходячи з площі, яку займає пасажир із вантажем різноманітного габариту. Але при цьому простір, який може займати представник маломобільної групи населення, не розглядався. У сучасних умовах питання рівних можливостей набуває особливої гостроти, тому процес проєктування, реконструкції чи переоблаштування споруд транспортних вузлів із дотриманням вимог організації безбар'єрного простору є необхідним складником будь-яких проєктів.

Під час вивчення матеріалу особливий інтерес становили наукові праці закордонних учених [9–11], які присвячені вибору міського транспорту людьми з інвалідністю, а також аналізу результатів експерименту щодо встановлення площі, яку займає користувач інвалідного візка на платформі метрополітену з різними особливостями платформ і виходами до них, скільки простору потрібно для безпечного маневрування або здійснення розвороту.

Виходячи з результатів, отриманих науковцями в роботах [8–9], пішохід займає певну

площу еліптичної форми, як показано на рис. 1, величина якої залежить від декількох факторів.

На площу, яку людина займає в пішохідному потоці, впливає вік, фізичні особливості, вид одягу (наприклад, літній, зимовий), швидкість руху (зі зростанням швидкості буде зростати й площа), наявність ручної поклажі та її розмірів тощо. У роботі [8] площа горизонтальної проєкції людини залежно від віку й одягу, а також наявності багажу й дітей поряд розрахована в діапазоні 0,26...0,98 м²/люд. Але проведені дослідження [8] не враховували наявності в пішохідних потоках людей з інвалідністю, а дослідження [9–10] не враховували інші маломобільні групи населення, таких як літні люди, люди з ходунками та пасажирів з дітьми, особливо за наявності дитячих візочків. Тому автори провели додаткові дослідження, які дають змогу враховувати зазначені групи пасажирів під час формування пасажирських зон і визначення їхніх оптимальних розмірів.

Результати. Ключовим фактором, що забезпечує безпеку, комфорт і пропускну здатність аеро- й залізничних вокзалів, є ширина пішохідної зони. Під час обслуговування маломобільних груп населення вимоги до розмірів приміщень і пішохідних зон можуть відрізнятися. Для визначення оптимальних параметрів варто орієнтуватися на чинні нормативи, міжнародні стандарти й рекомендації виробників спеціалізованого обладнання (дитячі візки, інвалідні візки, милиці, ходунки тощо).



Рис. 1. Умовна площа, яку займає людина в пішохідному потоці

Ширина пішохідного простору безпосередньо впливає на безпеку руху пасажирів, особливо тих, хто переміщується з дітьми, на інвалідних візках або з великим багажем, що допомагає знизити ризик зіткнень і забезпечити комфортний і вільний рух. У години пік широка пішохідна зона гарантує належну пропускну здатність, зменшує ймовірність заторів і затримок. Якщо простір для пересування обмежений, швидкість потоку визначається найповільнішими учасниками, що призводить до скупчень і загального дискомфорту. У надзвичайних ситуаціях, які вимагають швидкої евакуації, недостатня ширина пішохідних зон створює додаткову загрозу для життя та здоров'я.

Відвідувачі з дитячими візками, діти, літні люди й пасажирів з обмеженнями руху потребують більшого простору для маневрів. Достатня ширина пішохідних зон дає змогу кожному обирати комфортну швидкість пересування, не заважаючи іншим учасникам руху.

Автори провели дослідження щодо особливостей формування пішохідних потоків за наявності маломобільних груп населення в структурі потоку. Експериментальні дослідження проводили на залізничних вокзалах таких міст, як Київ, Львів, Дніпро, а також у торговельних центрах, на зупинках громадського транспорту, вулицях міста.

Результати експерименту дають змогу стверджувати, що наявність у складі потоку людей з інвалідністю, пішоходів із дитячими візочками й літніх людей суттєво впливає на характер руху пішохідного потоку: змінюється не лише розподіл за площею, швидкість і щільність, а й загальна організація руху. Маломобільні групи населення сприймаються як уразлива категорія, тому інші пішоходи часто намагаються інтуїтивно змінювати траєкторії, звільняючи більше простору для їх пересування. Це явище особливо помітне у вузьких проходах або при високій щільності потоку.

Крім того, наявність маломобільних груп змушує пішоходів змінювати свої звичні траєкторії, що може призвести до тимчасового зниження швидкості потоку або утворення локальних скупчень. Зазначене явище

підсилюється в умовах обмеженого простору або великих транспортних вузлів, де пішоходи повинні швидко адаптуватися до змін у потоках.

Модель поведінки пішоходів за наявності маломобільних груп зображена на рис. 2. Так, на рис. 2а показано хаотичний рух пішоходів на території вокзалу, обмежений межами пішохідних зон і напрямками дозволеного руху. На рис. 2б продемонстровано, як змінюються траєкторії руху пішоходів у разі появи маломобільних груп: інші пішоходи починають маневрувати, утворюючи ширші проходи для маломобільних учасників потоку, що, своєю чергою, впливає на загальну динаміку руху.

Установлені закономірності зумовили потребу в додаткових дослідженнях щодо переміщень маломобільних груп населення з метою встановлення впливу на такі параметри, як щільність потоку, швидкість, пропускну спроможність пішохідної зони та її оптимальна ширина. Із цією метою встановлено площі горизонтальних проєкцій людей із дітьми, а також людей з інвалідністю. Для проведення розрахунків прийнято параметри дитячих візочків із каталогу [12], а інвалідних візків і ходунків з каталогу [13]. Окремі результати розрахунків у вигляді площ горизонталь-

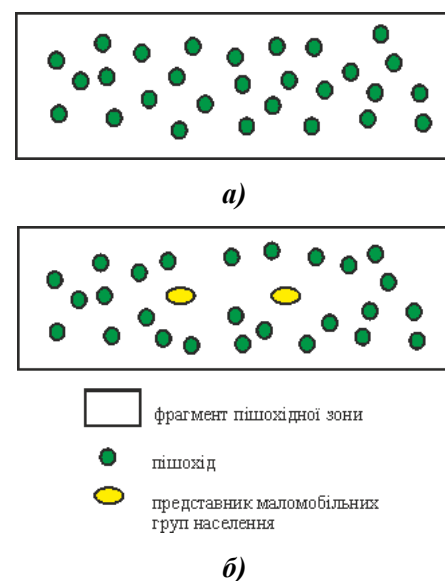


Рис. 2. Модель зміни траєкторії руху пішохідних потоків за наявності представників маломобільних груп населення

них проєкцій маломобільних груп населення, а також щільність людей на одиницю площі, виходячи зі щільного потоку ($0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$ згідно з [7–8]), наведено в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, площа горизонтальної проєкції пасажирів із дітьми й дитячими візочками коливається в досить широкому діапазоні, що зумовлено різними габаритами дитячого транспорту (для однієї дитини, двійні чи трійні, залежно від установленого блоку – прогулянкового чи люльки для новонародженого), а також віком дітей, які рухаються поряд, і потребує більше простору в $1,6 \dots 5,5$ разів. Також отримані результати вказують на те, що простір, потрібний для безпечного переміщення осіб із проблемами опорно-рухового апарату, вадами зору та слуху, в $1,2 \dots 2$ рази може перевищувати аналогічний простір для нормотипової людини.

Залежно від величин площ буде коливатися й щільність розташування певної кількості людей на одиницю площі пішохідної зони.

При оцінці потрібних параметрів пішохідних зон, окрім зайнятих площин і щільності потоку, потрібно враховувати й швидкість руху, яка ув'язана такою залежністю [7–8]:

$$N = V \cdot q \cdot b \quad (1)$$

де N – інтенсивність руху пішоходів; V – швидкість руху пішоходів; q – щільність людського потоку; b – ширина пішохідної зони.

Швидкість руху пішохода суттєво залежить від його фізичного стану, вікової категорії, наявності багажу, погодних умов та інших факторів. У ході експерименту проводили заміри часу руху, за який різні категорії пішоходів долали певні відстані, що дало змогу обчислити середні швидкості для подальших розрахунків. Так, здорова людина середнього віку самостійно може переміщуватися зі швидкістю $1,2 \dots 1,8 \text{ м/с}$, люди з дитячими візочками – $1,1 \dots 1,4 \text{ м/с}$, діти (залежно від віку) – $0,5 \dots 1,5 \text{ м/с}$, люди похилого віку й люди на протезах – $0,5 \dots 1,1 \text{ м/с}$, на інвалідних візках

Таблиця 1

Площі горизонтальних проєкцій і щільність на одиницю площі деяких представників маломобільних груп населення

Представники маломобільних груп населення	Площа горизонтальної проєкції, $\text{м}^2/\text{люд}$	Щільність, $\text{люд}/\text{м}^2$	Представники маломобільних груп населення	Площа горизонтальної проєкції, $\text{м}^2/\text{люд}$	Щільність, $\text{люд}/\text{м}^2$
	0,78...1,16	1,18...0,79		1,06	0,88
	0,86...0,94	1,07...0,98		1,26	0,73
	0,94...1,1	0,98...0,77		0,44	2,1

(залежно від конструкції, фізичного стану й наявності помічника) – 0,5...1,4 м/с, з ходунками – 0,5...0,8 м/с. Виходячи з усереднених швидкостей руху пішоходів різних категорій, визначили інтенсивність руху й подали її в графічному вигляді на рис. 3.

Наведені результати розрахунків характеризують залежність між різними категоріями маломобільних груп населення й потрібною шириною пішохідної зони. При вузьких пішохідних зонах 1...1,5 м інтенсивність руху буде надто низькою для всіх розглянутих категорій. Суттєве підвищення пропускної спроможності спостерігається за умови забезпечення ширини пішохідної зони від 3 м.

З метою встановлення раціональних параметрів пішохідних зон з урахуванням вимог безбар'єрності автори проаналізували особливості траєкторії руху відвідувачів із дитячими візочками й на інвалідних візках. З огляду на дослідження та нормативні вимоги [2–5], на рис. 4 зображена імітація маневрування інвалідного візка.

На рис. 4 відображено потрібні межі для здійснення маневрів користувачем інвалідного візка. Так, мінімально допустима ширина для цього потрібна 1,5 м, а рекомендована – 1,8 м.

У роботі пропонується визначати ширину пішохідної зони, виходячи з кількості візків у потоці, їхніх параметрів та інтенсивності руху:

$$b = \frac{N}{q} + n \cdot c + a, \quad (2)$$

де n – кількість візків у потоці;

c – ширина візка (у роботі прийнято 0,8 м);

a – відстань безпеки (0,5...1 м).

Користуючись наведеним виразом (2), порахували мінімально допустиму ширину пішохідної зони за умови наявності в потоці маломобільних груп населення. Результати розрахунку фрагментально представлено на рис. 5.

Виходячи з умови, що в потоці наявний хоча б один візок, а відстань безпеки прийнято 0,5 м, то мінімальна ширина однієї смуги руху повинна становити 1,9 м (див. рис. 5), а пішохідної зони загалом – не менше ніж 3,8 м. Отримані дані не суперечать мінімально потрібному простору для маневрування візків (див. рис. 4). З підвищенням інтенсивності руху, особливо в «пікові» години при прийманні чи відправленні поїздів на залізничних вокзалах та обслуговуванні рейсів в аеропортах, установлювати раціональну ширину пішохідної зони потрібно виходячи з потрібної пропускної спроможності каналів і кіль-

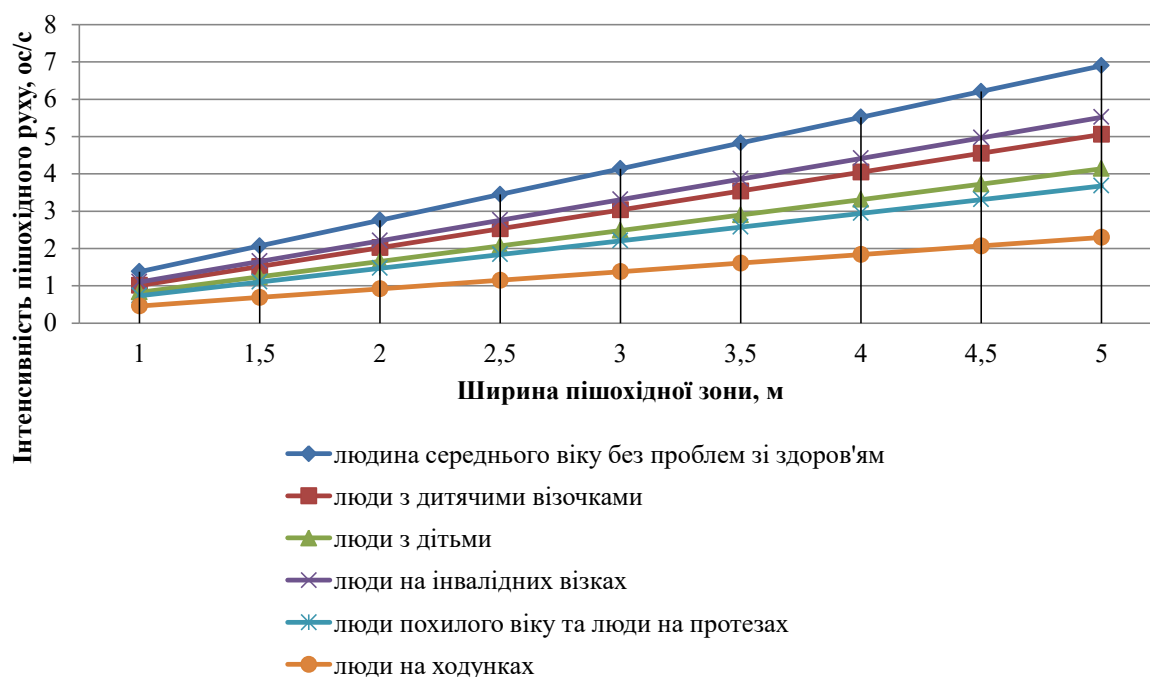


Рис. 3. Взаємозв'язок між швидкістю руху, інтенсивністю й шириною пішохідної зони



Рис. 4. Простір, потрібний для маневрування інвалідного візка

кості представників маломобільних груп населення в потоці.

Висновки. Виконані авторами дослідження дають змогу стверджувати, що для комфортного перебування на території аеропортів і залізничних вокзалів рекомендована ширина пішохідної зони становить 1,90 м

в одному напрямку й не менше ніж 3,80 у двох напрямках. Ці показники обумовлені габаритами інвалідних візків і дитячих візочків із суттєвими габаритними розмірами й обчислені виходячи з вимог безпеки та показників комфорту в разі не лише руху по наміченій траєкторії, а й потреби в маневруванні та зміні напрямку руху.

Дотримання рекомендованих параметрів не лише забезпечить ефективність руху, а й суттєво підвищить безпеку та комфортність пересування для всіх пасажирів і відвідувачів, зокрема для маломобільних груп населення, таких як люди на інвалідних візках і мами з дитячими візочками. Завдяки достатній ширині пішохідних зон, можна запобігти скупченню людей і створити умови для вільного маневрування, що є особливо важливим у стресових ситуаціях, таких як евакуація або надзвичайні ситуації. Таким чином, реалізація цих рекомендацій не лише сприятиме підвищенню якості обслуговування, а й забезпечить безбар'єрність у публічних просторах, що є ключовим чинником для сучасного суспільства.

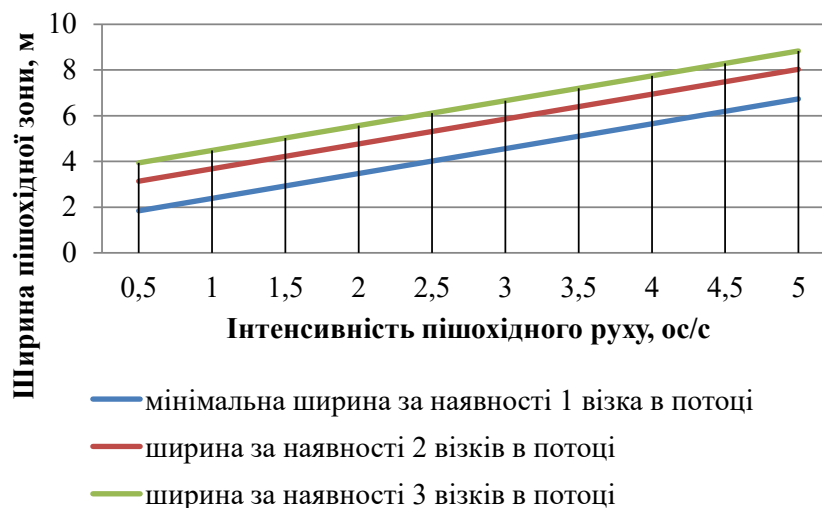


Рис. 5. Залежність потрібної ширини пішохідної зони від кількості інвалідних візків у потоці

Список використаних джерел:

1. В Україні понад 3 млн людей з інвалідністю. URL: <https://www.msp.gov.ua/news/23795.html?PrintVersion>.
2. ДБН В.2.2-40:2018: Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонів України, 2018. 70 с.
3. Альбом безбар'єрних рішень. URL: <https://bcl.com.ua/albomrozdil1/>.

4. Організація та реалізація процесу надання фізичного супроводу та допомоги на транспорті пасажирів з інвалідністю : методичні рекомендації для працівників транспортної інфраструктури / за заг. ред. Ю.В. Патлань. Київ : Ресурсний центр «Безбар'єрна Україна», 2021. 134 с.
5. Доступність аеропортів. URL: <https://kbp.aero/wp-content/uploads/2024/05/Accessibility-of-airports.pdf>.
6. Близько 50 тисяч українців втратили кінцівки через війну. URL: <https://suspilne.media/542023-blizko-50-tisac-ukrainciv-vtratile-kincivki-cerez-vijnu-wsj/>.
7. Сталлий розвиток авіаційної інфраструктури : колективна монографія / за заг. ред. В.В. Карпова. Львів-Торунь : Liha-Pres, 2023. 530 с.
8. Пустовойт Р.О., Степанчук О.В. Визначення оптимальної ширини пішохідної зони на території аеро вокзалних комплексів. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 1 (3). С. 40–46.
9. Valdivieso J., Seriani S. Study of the Space Occupied by a Wheelchair User at Metro de Santiago Platforms by Laboratory Experiments. *Journal of Advanced Transportation*. 2021. Article 1789241.
10. Seriani S., Fujiyama T. Experimental study for estimating the passenger space at metro stations with platform edge doors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2018. № 8. P. 307–315.
11. Márquez L., Poveda J. C., Vega L.A. Factors affecting personal autonomy and perceived accessibility of people with mobility impairments in an urban transportation choice context. *Journal of Transport & Health*. 2019. № 14, 100583.
12. Каталог дитячих візочків. URL: <https://kidzer.com.ua/product-category/koljaski/>.
13. Каталог товарів для реабілітації. URL: <https://baldinelli.ua/ua/reabilitaciya/>.

References:

1. V Ukraini ponad 3 mln liudei z invalidnistiu [There are more than 3 million people with disabilities in Ukraine]. Retrieved from: <https://www.msp.gov.ua/news/23795.html?PrintVersion> [in Ukrainian].
2. Published by the officer: Minregion of Ukraine (2018) DBN V.2.2-40:2018: Inkluzyvnist budivel i sporud. Osnovni polozhennia. [DBN V.2.2-40:2018: Inclusiveness of buildings and structures. Main provisions], 70 [in Ukrainian].
3. Albom bezbarierykh rishen [Album of barrier-free solutions]. Retrieved from: URL: <https://bcl.com.ua/albomrozdil1/> [in Ukrainian].
4. Orhanizatsiia ta realizatsiia protsesu nadannia fizychnoho suprovodu ta dopomohy na transporti pasazhyram z invalidnistiu: metodychni rekomendatsii dlia pratsivnykiv transportnoi infrastruktury (2021). [Organization and implementation of the process of providing physical support and assistance in transport to passengers with disabilities: methodological recommendations for transport infrastructure workers] / za zah. red. Yu.V. Patlan. K.: «Resursnyi tsentr «Bezbarierna Ukraina», 134 pp. [in Ukrainian].
5. Dostupnist aeroportiv [Accessibility of airports]. Retrieved from: <https://kbp.aero/wp-content/uploads/2024/05/Accessibility-of-airports.pdf> [in Ukrainian].
6. Blyzko 50 tysiach ukraintsiv vtratyly kintsivky cherez viinu [About 50 thousand Ukrainians lost their limbs because of the war]. Retrieved from: <https://suspilne.media/542023-blizko-50-tisac-ukrainciv-vtratile-kincivki-cerez-vijnu-wsj/> [in Ukrainian].
7. Stalyi rozvytok aviatsiinoi infrastruktury (2023). [Sustainable development of aviation infrastructure]: a collective monograph / Za zah. red. Karpova V. V. Lviv-Torun: Liha-Pres, 530 pp. [in Ukrainian].
8. Pustovoi, R.O., & Stepanchuk, O.V. (2024). Vyznachennia optymalnoi shyryny pishokhidnoi zony na terytorii aerovokzalnykh kompleksiv [Determination of the optimal width of the pedestrian zone on the territory of airport complexes]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*, 1 (3), 40–46 [in Ukrainian].
9. Valdivieso, J., & Seriani, S. (2021). Study of the Space Occupied by a Wheelchair User at Metro de Santiago Platforms by Laboratory Experiments. *Journal of Advanced Transportation*. Article 1789241 [in English].
10. Seriani, S., & Fujiyama, T. (2018). Experimental study for estimating the passenger space at metro stations with platform edge doors. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2672, no. 8, P. 307–315 [in English].
11. Márquez, L., Poveda, J. C., & Vega, L. A. (2019). Factors affecting personal autonomy and perceived accessibility of people with mobility impairments in an urban transportation choice context. *Journal of Transport & Health*, 14, Article 100583 [in English].
12. Kataloh dytiachykh vizochkiv [Catalog of baby strollers]. Retrieved from: <https://kidzer.com.ua/product-category/koljaski/> [in Ukrainian].
13. Kataloh tovariv dlia reabilitatsii [Catalog of goods for rehabilitation]. Retrieved from: <https://baldinelli.ua/ua/reabilitaciya/> [in Ukrainian].

Наукове видання

AIRPORT

Planning, Construction and Maintenance Journal

Випуск 2 (4), 2024

Issue 2 (4), 2024

Коректор *І. М. Чудеснова*
Комп'ютерне верстання *М. С. Михальченко*

Підписано до друку 20.12.2024 р.
Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 17,44. Зам. № 1224/851
Наклад 100 прим.

Надруковано: Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.