

УДК 725,727

Сало В. В.

Асистент кафедри Дизайну архітектурного середовища
Київський національний університет будівництва і архітектури
salo.vav@knuba.edu.ua
orcid.org/0000-0002-0695-0731

КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ

© Сало В.В., 2023

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.28.111-117>

Анотація. Стаття присвячена класифікації підземних науково-дослідних комплексів, котрі за останні десятиліття стали важливою інфраструктурою для проведення досліджень в галузях фізики, астрофізики, геології та біології. Окреслені основні переваги підземних комплексів над науково-дослідними комплексами, що розміщені на поверхні. Проаналізовані праці вітчизняних та закордонних вчених свідчать про потребу подальшого дослідження даної теми, оскільки опрацьований матеріал є дотичним до теми дослідження та не розкриває її аспекти в повній мірі. У статті розглянуто основні критерії класифікації, що налічують 5 основних категорій: інженерно-геологічні характеристики; цільове призначення; технічні характеристики; архітектурно-планувальні ознаки; групи ризиків. Деякі з категорій класифікації розділені на підкатегорії. Інженерно-геологічні характеристики запропоновано розділити на критерії розташування за межами міського простору та за типом доступу до комплексу. Категорія технічних характеристик представлена трьома критеріями: кількістю основних залів, глибиною, об'ємом комплексу. За архітектурно-планувальними ознаками підземні науково-дослідні комплекси розділені за композиційно-просторовою схемою на поверхні та під землею, за кількістю рівнів. Класифікація ґрунтується на аналізі світового досвіду проектування глибокопідземних лабораторій, що знаходяться в юрисдикції CERN, систематизації даних про них отриманих зі звітів CERN, котрі знаходяться у відкритому доступі. Представлена в статті класифікація створена з метою поглиблення знань та розуміння організації підземних науково-дослідних комплексів, в тому числі їх містобудівної, об'ємно-просторової та функціонально-планувальної структури. Запропонована класифікаційна система може слугувати для подальшої розробки рекомендації щодо проектування даного типу комплексів.

Ключові слова: підземна урбаністика, науково-дослідні комплекси, класифікація, підземні науково-дослідні комплекси.

Вступ. Дослідження, що проводяться в галузях фізики, фізики елементарних частинок та астрофізики, зазнали значних змін протягом останніх 30 років. Підземні науково-дослідні комплекси стали основною інфраструктурою для проведення експериментів, що виходять за межі Стандартної Моделі фізики, оскільки здатні забезпечити низький радіоактивний фон для дослідження процесу подвійного бета-розпаду та розпаду протона [1]. У порівнянні з науково-дослідними комплексами на поверхні, підземні лабораторні установи мають переваги «надтихого» та «надчистого» середовища, котрі здатні підтримувати високоточне чотиривимірне спостереження мультифізичних полів. Об'ємно-просторова та функціонально-планувальна організація підземних науково-дослідних комплексів визначаються характерними критеріями: цільове призначення, основні функції, інженерно-

геологічні умови, технологічні вимоги. Зазначені аспекти повинні враховуватись під час проектування підземних науково-дослідних комплексів.

Мета статті полягає у визначенні основних критеріїв класифікації підземних науково-дослідних комплексів на основі аналізу та систематизації світового досвіду проектування.

Аналіз наукових публікацій. Концептуальний розвиток підземного простору як комплексної системи висвітлений в працях Х. Адміраала [2,9], А. Корнаро [2], Кеннета Б. Лебса [3], Е. Рейнольдс [4] та А. Райта [5]. Містобудівна організація підземних будівель та споруд розглянута в статтях Г.І. Гайко [6,7], Н. Д. Панкратової [7], Л. фон дер Танн [8], Р. Стерлінга [9]. Особливості об'ємно-просторової організації підземних споруд досліджені в працях П. Стоунза [10], Т. Юнг Хенга [10]. Огляд структури існуючих глибокопідземних лабораторних комплексів представлений в працях А. Беттіні [11,12], А. Іанні [13], Е. Коцці [14]. Специфіка досліджень, габарити експериментальних установок та опис експериментів що проводяться, схематичні моделі світових глибокопідземних лабораторій представлені в звітах Європейської організації з ядерних досліджень (ЦЕРН).

Виклад основного матеріалу. Аналіз літератури за темою дослідження показав, що класифікація підземних науково-дослідних комплексів потребує формування, а вивчення об'єкту дослідження подальшого розвитку. Огляд світових аналогів проектування даного типу комплексів дає змогу визначити основні критерії класифікації:

- інженерно-геологічні характеристики;
- цільове призначення;
- технічні характеристики;
- архітектурно-планувальні ознаки;
- групи ризиків (табл. 1).

На основі проведеного аналізу містобудівної організації світових аналогів проектування визначено, що даний тип комплексів розміщується за межами населених пунктів. Виходячи з цього, запропоновано відповідний поділ розміщення: в шахті, в гірському масиві. Розташування підземних науково-дослідних комплексів в існуючих шахтах практикується з метою зменшення експлуатаційних витрат та можливе лише в тому випадку, якщо видобувні роботи не перешкоджають проведенню експериментальних досліджень. В світовій практиці комплекси даного типу проектуються як в діючих, так і не діючих шахтах, використовуючи раніше створені підземні тунелі та шахтні ліфти.

Одним з важливих критеріїв класифікації є тип доступу з наземної поверхні безпосередньо до підземного комплексу: горизонтальний тунель, вертикальний тунель, похилий тунель. Значні переваги має горизонтальний тип доступу, оскільки дозволяє використання важкої автомобільної техніки та спрощує встановлення експериментального обладнання. Вертикальний тунель є характерним для підземних об'єктів, розташованих в шахтах. Серед його найбільших переваг варто зазначити безпеку його використання та можливість повної ізоляції в разі надзвичайного випадку. Влаштування похилого тунелю є не досить поширеною практикою, втім зустрічаються поодинокі випадки в світовій практиці влаштування похилого типу доступу, який радше виступає додатковим тунелем, аніж основним. В разі влаштування вертикального доступу до підземного комплексу, розміщеного в шахті, доцільно передбачити й горизонтальний доступ для великогабаритного транспорту

Проведений аналіз свідчить, що більшість комплексів зосереджені на дослідженнях темної матерії, подвійного бета-розпаду, космічного випромінювання, а також ґрунтів, біологічних зразків та геотермальних ресурсів. Тому запропоновано класифікувати підземні комплекси за цільовим призначенням: фізики та ядерної фізики, астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарні.

Критерій класифікації	Місце розташування				
	В шахті		В гірському масиві		
Тип доступу	Вертикальний		Вертикальний	Горизонтальний	Похилий
Кількість основних залів	Однозальні	Двозальні	Багатозальні	Багатозальні	
Глибина	Поверхневі	Глибокі	Надглибокі	Надглибокі	
Об'єм	Великі		Надвеликі	Малі	Середні
Композиційно-просторова схема	Компактні		Компактні	Павільйонні	Блоковані
	Павільйонні		Блоковані	Павільйонні	Блоковані
	На поверхні		Під землею		
Кількість рівнів	Багаторівневі			Однорівневі	

Таблиця 1. Зведена таблиця характерних особливостей підземних науково-дослідних комплексів в залежності від критеріїв класифікації

За технічними характеристиками підземні науково-дослідні комплекси доцільно класифікувати: за кількістю основних залів, за глибиною, за об'ємом. На формування об'ємно-просторової організації підземного науково-дослідного комплексу значний вплив мають

функціональні групи: експериментальні зали, науково-дослідницькі лабораторії, обчислювальні лабораторії, технічні та інженерні приміщення, санітарні зони, чисті приміщення, а також транспортні шляхи між окремими об'ємами підземного комплексу. Основним аспектом, що характеризує розмір комплексу є кількість залів призначених для експериментальних досліджень. Таким чином, наступний критерій класифікації визначається кількістю експериментальних залів: однозальні, двозальні, багатозальні.

Спираючись на проектні аналоги та їх технічні характеристики, були визначені два важливих критерії класифікації: глибина та об'єм. Критерій глибини є іншим достатньо важливим аспектом в класифікації, оскільки від товщини ґрунтової породи залежать габаритні розміри експериментальних чарунок та ступінь їх захищеності від природнього радіаційного фону. За параметром глибини пропонується наступний класифікаційний поділ:

- поверхневі – 400 – 700 м;
- глибокі – 1000 – 2000 м;
- надглибокі – понад 2000 м.

Оскільки глибина має вплив на габаритні розміри експериментальних залів, наступним критерієм класифікації є об'єм підземних науково-дослідних комплексів:

- малі – об'ємом від 3000 м³ до 10 000 м³;
- середні – об'єм складає від 10 000 м³ до 50 000 м³;
- великі – об'ємом від 50 000 м³ до 150 000 м³;
- надвеликі, чий об'єм становить від 150 000 м³ до 300 000 м³.

Наступною категорією виокремлено архітектурно-планувальні характеристики, що визначаються композиційно-просторовою схемою та кількістю рівнів. Спираючись на проведений аналіз світового досвіду проектування, виокремлено наземну та підземну частини, котрі доцільно класифікувати наступним чином - за композиційно-просторовою схемою підземні науково-дослідні комплекси поділяються: на поверхні – блоковані, компактні, павільйонні; підземні – компактні, блоковані. Композиційно-просторове рішення визначається усіма зазначеними вище критеріями – розташуванням, цільовим призначенням, кількістю основних залів та глибиною. Підземні комплекси, що розміщені в шахтах, характеризуються компактною та павільйонною забудовою на поверхні, і компактною та блокованою забудовою під землею. Просторове вирішення підземної частини в даному випадку залежить від влаштування шахтних тунелів. Для підземних комплексів, що розміщені в гірському масиві, характерний павільйонний тип забудови на поверхні та блокований – під землею (табл. 1).

За кількістю рівнів підземні науково-дослідні комплекси поділяються на однорівневі та багаторівневі. На основі дослідження світового досвіду проектування можна сказати, що переважаючи більшість комплексів, влаштованих у шахтах, мають багаторівневу структури. Підземні комплекси в гірському масиві здебільшого характеризуються однорівневою структурою (табл. 1).

Останньою групою в класифікаційній системі є критерій за групами ризиків, котрі були визначені польськими вченими в ході дослідження вугільних та мідних шахт на території Польщі. Чотири групи небезпек пов'язані з роботою лише тих лабораторій, що розташовані поблизу гірничодобувних шахт. Серед них:

- екологічні ризики мають негативний вплив на робоче середовище. До даної групи належать: сейсмічні поштовхи, наводнення, вибух природних газів, викид каменів;
- робочі ризики пов'язані з виробництвом та технологіями, що використовуються в процесі. Ця група включає: пил, вібрацію, освітлення;
- гірничо-пошукові ризики виникають через експлуатацію та випробуванням гірничого обладнання, в тому числі й з використанням вибухівки;
- соціально-економічні ризики здебільшого викликані зовнішніми факторами та стосуються соціальний та правових проблем, котрі можуть бути пов'язані із місцевою владою громад [15].

Висновки. Результатом проведеного дослідження є систематизація даних про підземні науково-дослідні комплекси за основними параметрами. На основі систематизованих даних було визначено 5 категорій, за котрими можливо класифікувати дані об'єкти. Основною категорією є цільове призначення комплексу, оскільки від галузі науки залежатимуть експериментальні дослідження, котрі вимагатимуть певної глибини, розміру та кількості експериментальних залів, транспортних тунелів, пішохідних та евакуаційних шляхів, що визначають загальний об'єм комплексу. Інженерно-технічні характеристики та місце розташування в свою чергу визначають архітектурно-планувальний критерій: композиційно-просторову схему та кількість необхідних рівнів. Описані в статті параметри класифікації є визначальними під час проектування підземних науково-дослідних комплексів. Сукупність зазначених категорій має вплив на визначення якісного та кількісного складу приміщень, впливають на функціональну організацію комплексу, його планувальну схему та місткість. На основі створеної класифікації можна визначити основні типологічні особливості комплексів, їх архітектурно-планувальну організацію та створення рекомендацій щодо їх проектування.

Бібліографія

- Votano, Lucia. "Underground Laboratories." PATRAS 2010 (2010): 176-179.
- Admiraal, H., & Cornaro, A. *Underground Spaces Unveiled*
- Kenneth B. Labs. (1975). *The Architectural Use of Underground Space: Issues & Applications* (Doctoral dissertation, Washington Univ
- Reynolds, E. (2019). *Underground urbanism*. Routledge
- Wright, A. (2012). *Underground Architecture: connections between ground-level public space and below-ground buildings*
- Гайко, Г. І. (2019). Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики. In *Форум гірників–2019: матеріали міжнар. наук.-техн. конф* (pp. 26-27).
- Панкратова, Н. Д., Г. І. Гайко, and І. О. Савченко. "Визначення пріоритетів розвитку підземної інфраструктури мегаполісів на основі системної методології." (2021). DOI: <https://doi.org/10.20535/2707-2096.6.2021.241820>
- Von der Tann, Loretta, et al. "Systems approaches to urban underground space planning and management—A review." *Underground Space* 5.2 (2020): 144-166 DOI: [10.1016/j.undsp.2019.03.003](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003)
- Sterling, Raymond, and Priscilla Nelson. "City resiliency and underground space use." *Advances in Underground Space Development* (2013): 43-55.
- Admiraal, H. (Ed.). (2015). *Think deep: planning, development and use of underground spaces in cities*. ISOCARP
- Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. "Underground space development key planning factors." *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354 DOI: [10.1016/j.proeng.2016.11.709](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709)
- Bettini, A. "Underground laboratories." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 626(8) January, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017>
- Bettini, Alessandro. "New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas." *Physics of the Dark Universe* 4 (2014): 36-40 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006>
- Ianni, Aldo. "Considerations on Underground Laboratories." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1342. No. 1. IOP Publishing, 2020 DOI: [10.1088/1742-6596/1342/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1342/1/012003)
- Coccia, E. "Underground laboratories in Europe." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No. 1. IOP Publishing, 2006 DOI [10.1088/1742-6596/39/1/134](https://doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134) DOI: [10.1088/1742-6596/39/1/134](https://doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134)
- Pytel, Witold, et al. "Universal approach for risk identification and evaluation in underground facilities." (2020) c. 173-174. DOI: <https://doi.org/10.37190/MS202712>

References

- Votano, Lucia. "Underground Laboratories." PATRAS 2010 (2010): 176-179. (in English)
- Admiraal, H., & Cornaro, A. *Underground Spaces Unveiled* (in English)
- Kenneth B. Labs. (1975). *The Architectural Use of Underground Space: Issues & Applications* (Doctoral dissertation, Washington Univ (in English)
- Reynolds, E. (2019). *Underground urbanism*. Routledge (in English)
- Wright, A. (2012). *Underground Architecture: connections between ground-level public space and below-ground buildings* (in English)
- Haiko, H. I. (2019). *Kompleks prioritytynykh zavdan dlia systemnoho rozvytku pidzemnoi urbanistyky*. In *Forum hirnykiv–2019: materialy mizhnar. nauk.-tekhn. konf* (pp. 26-27). (in Ukrainian)
- Pankratova, N. D., H. I. Haiko, and I. O. Savchenko. "Vyznachennia prioritytiv rozvytku pidzemnoi infrastruktury mehopolisiv na osnovi systemnoi metodolohii." (2021). DOI: <https://doi.org/10.20535/2707-2096.6.2021.241820> (in Ukrainian)
- Von der Tann, Loretta, et al. "Systems approaches to urban underground space planning and management–A review." *Underground Space* 5.2 (2020): 144-166 DOI: [10.1016/j.undsp.2019.03.003](https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003) (in English)
- Sterling, Raymond, and Priscilla Nelson. "City resiliency and underground space use." *Advances in Underground Space Development* (2013): 43-55. (in English)
- Admiraal, H. (Ed.). (2015). *Think deep: planning, development and use of underground spaces in cities*. ISOCARP (in English)
- Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. "Underground space development key planning factors." *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354 DOI: [10.1016/j.proeng.2016.11.709](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709) (in English)
- Bettini, A. "Underground laboratories." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 626(8) January, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017> (in English)
- Bettini, Alessandro. "New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas." *Physics of the Dark Universe* 4 (2014): 36-40 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006> (in English)
- Ianni, Aldo. "Considerations on Underground Laboratories." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1342. No. 1. IOP Publishing, 2020 DOI: [10.1088/1742-6596/1342/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1342/1/012003) (in English)
- Coccia, E. "Underground laboratories in Europe." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No. 1. IOP Publishing, 2006 DOI [10.1088/1742-6596/39/1/134](https://doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134) DOI: [10.1088/1742-6596/39/1/134](https://doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134) (in English)
- Pytel, Witold, et al. "Universal approach for risk identification and evaluation in underground facilities." (2020) c. 173-174. DOI: <https://doi.org/10.37190/MSC202712> (in English)

Salo V.V.

Assistant of the department of Architectural Environment design

Kyiv National University of Construction and Architecture

salo.vav@knuba.edu.ua

orcid.org/0000-0002-0695-0731

CLASSIFICATION CRITERIA FOR UNDERGROUND RESEARCH FACILITIES

© Salo V.V., 2023

Annotation: The article is devoted to the classification of underground research complexes, which over the past decades have become an important infrastructure for research in physics, astrophysics, geology

and biology. The main advantages of underground complexes over research complexes located on the surface are outlined. The analyzed works of domestic and foreign scientists indicate the need for further research on this topic, since the material is tangential to the research topic and does not fully reveal its aspects. The article discusses the main classification criteria, which include 5 main categories: engineering and geological characteristics; intended use; technical characteristics; architectural and planning features; and risk groups. Some of the classification categories are divided into subcategories. It is proposed to divide the engineering and geological characteristics into the criteria of location outside the urban space and the type of access to the complex. The category of technical characteristics is represented by three criteria: the number of main halls, depth, and volume of the complex. In terms of architectural and planning features, underground research and development complexes are divided according to the compositional and spatial scheme on the surface and underground, and the number of levels. The classification is based on the analysis of the world experience of designing deep underground laboratories under the jurisdiction of CERN, systematization of data on them obtained from CERN reports, which are publicly available. The classification presented in this article was created to deepen knowledge and understanding of the organisation of underground research complexes, including their urban planning, volumetric-spatial and functional-planning structure. The proposed classification system can serve for further development of recommendations for the design of this type of complexes.

Keywords: underground urbanism, research facilities, classification, underground research complexes.