

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.251-259>

УДК 721, 727.57

**Сало Валерія Володимирівна**

*асистент кафедри дизайну архітектурного середовища,  
Київський національний університет будівництва і архітектури*

[salo.vav@knuba.edu.ua](mailto:salo.vav@knuba.edu.ua)

<https://orcid.org/0000-0002-0695-0731>

## **ВПЛИВ ЧИННИКІВ НА АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Анотація:** у статті наведені групи чинників, що мають вплив на структурну організацію середовища підземних науково-дослідних комплексів. Проведено аналіз впливу основних факторів на містобудівну, об'ємно-просторову та функціонально-планувальну структуру підземних науково-дослідних комплексів. Встановлено, що на формування підземного середовища мають вплив наступні групи чинників: інженерно-геологічні, технологічні, природо-кліматичні, містобудівні, конструктивні, економічні, законодавчі, екологічні, архітектурно-планувальні. Надано загальну характеристику кожної групи чинників. Запропоновано розглядати наведені фактори з точки зору комплексного підходу у якості тісно взаємопов'язаних структур, котрі впливають одна на одну та на формування кінцевої структури підземного науково-дослідного комплексу.

**Ключові слова:** підземна урбаністика; науково-дослідні комплекси; підземні лабораторії.

**Постановка проблеми.** Історія освоєння та розвитку підземного простору відома з часів перших поселень у печероподібних структурах на території сучасних Туреччини, Тунісу, Кримського півострову. В ході еволюційного розвитку науки та техніки, свого розквіту у ХХ столітті досягли й галузі астрофізики, ядерної фізики та фізики елементарних частинок. Оскільки переважна більшість наукових та експериментальних досліджень, що проводяться в галузі фізики вимагають особливих лабораторних умов, максимально позбавлених впливу космічного випромінювання та радіоактивних ізотопів, активного розвитку досягло й будівництво підземних науково-дослідних комплексів [5]. В Україні дослідження архітектурно-планувальної та містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів не є наразі поширеною практикою. Єдиною підземною лабораторією на теренах України є Солотвинська підземна лабораторія,

збудована в 1984 році під керівництвом Ю. Г. Здесенка відділом фізики лептонів Інституту ядерних досліджень НАН України в соляній шахті [6]. Наземна ядерна підкритична установка «Джерело нейтронів» в Харкові зазнала значних пошкоджень в результаті обстрілу міста зі сторони російської федерації в червні 2022 року [7]. Серед інших підземних науково-дослідних лабораторій можна відзначити лише окремі лабораторні приміщення при університетах, а також допоміжні підземні приміщення в науково-дослідних інститутах, що не здатні сприяти розвитку науково-дослідного потенціалу вітчизняних науковців.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концептуальні підходи до розвитку підземного простору розглянуті у наукових працях вчених Хана Адміраала та Антонії Корнаро, в докторській дисертації Кеннета Б. Лебса. Особливості містобудівної організації підземного простору досліджені в роботах: Гайко Г. І., Е. Рейнольдс, Л. фон дер Танн, Р. Стерлінга, Ш. Наранг Сурі, А. Райта.

Проблематика глобального досвіду проектування підземних будівель та споруд знайшла своє втілення в роботах П. Стоунза, Т. Юнг Хенга, Гайко Г. І., Панкτροвої Н.Д. Міждисциплінарні питання у використанні підземного простору порушено в роботах Х. Браун, Н. А. Бахтадзе, В. Білецького, П. Х. Гілберта.

Просторова та планувальна організація підземних та наземних лабораторій розглянута в роботах А. Беттіні, Алдо Іанні, Е. Кочії, К. Г. Рижкової. Зважаючи на аналіз останніх досліджень та публікацій, варто зазначити, що кількість літератури, що висвітлює проблеми підземної урбаністики є недостатньою [13]. Аналізуючи праці вітчизняних та закордонних науковців, можна стверджувати, що питання розвитку підземних науково-дослідних комплексів, потребує подальшого розгляду.

**Метою публікації** є виявлення основних чинників, що впливають на містобудівну, об'ємно-просторову та функціонально-планувальну структури підземних науково-дослідних комплексів.

**Основна частина.** Перші підземні науково-дослідні комплекси почали з'являтися у другій половині ХХ століття з відкриттям перших «природних» нейтрино [2,3]. Підземні науково-дослідні комплекси мають бути підпорядковані жорстким вимогам для проведення експериментальних досліджень в тій науковій галузі, на якій спеціалізується комплекс. Підземне середовище комплексів має задовольняти весь спектр соціальних, фізіолого-психологічних та професійних потреб наукових та технічних співробітників, а також відвідувачів, які можуть допускатися на територію. Функціонально-планувальні особливості об'єкта, а також його об'ємно-просторова та

містобудівна організація, визначаються не лише технологічними вимогами проведення експериментів та досліджень, а й сукупністю груп факторів.

Серед чинників, що впливають на організацію підземних науково-дослідних комплексів, варто виділити: інженерно-геологічні, технологічні, природо-кліматичні, містобудівні, конструктивні, економічні, законодавчі, екологічні, архітектурно-планувальні. Дані групи чинників тісно взаємопов'язані і мають вплив один на одного, тому варто розглядати їх сукупність комплексно.

Основну роль відіграє вплив групи **інженерно-геологічних** факторів, які включають в себе аспекти властивостей гірських порід або ґрунту, тиск ґрунтових вод і підземних течій, сейсмічні умови [12] Рівень ґрунтових вод визначає допустиму глибину, на якій можуть проводитися будівельні роботи з влаштування підземного об'єкта. Глибина є невід'ємним аспектом при плануванні підземного простору науково-дослідних комплексів, оскільки зі збільшенням глибини зменшується радіоактивний фон та вплив зовнішніх компонентів навколишнього середовища [3]. На глибині понад 1000 м космічне випромінювання зменшується у 10 мільйонів разів [10]. Глибоке підземне середовище, у порівнянні з поверхнею, має переваги «надчистого» та «надтихого» простору, що здатне підтримувати високоточне чотиривимірне спостереження мультифізичних полів [12] Збільшення глибини, як правило, провокує проблеми додаткових витрат, складності доступу, вентиляції, протипожежної безпеки та безпеки життєдіяльності. Сприятливі геологічні умови здатні забезпечити кращу основу для розвитку та використання підземного середовища. У випадку гірших геологічних умов, збільшуються витрати на розкопки та експлуатаційні можливості підземного об'єкта [11].

**Економічні** умови залишаються однією з ключових перешкод для освоєння підземного простору. Оскільки будівництво підземних споруд є достатньо дорогим, освоєнням підземного простору часто займаються в достатньо забезпечених країнах та містах, чий бюджет здатен покрити необхідні витрати [12].

Інженерно-геологічні фактори тісно пов'язані із **технологічними** вимогами влаштування науково-дослідного комплексу. В залежності від галузі науки та експериментальних досліджень у проєкті лабораторії мають бути передбачені зали різних діаметрів та висот. Діаметр та висота 15-20 м необхідні для водяних екранів і для великих рідинних сцинтиляторних детекторів, що застосовуються в дослідженнях сонячних нейтрино і геонейтрино. Такі висоти потребують достатньо товстих шарів якісної породи [2, 3]. Група технологічних факторів визначає архітектурно-планувальну та об'ємно-просторову структуру комплексу, його функціональне зонування та функціональні взаємозв'язки.

Окремі групи функціональних приміщень та види діяльності, що передбачені в лабораторії під землею та на поверхні, визначають необхідний склад приміщень та їх параметри.

До групи **природо-кліматичних** чинників належать характеристики температури і вологості. Температура під землею має тенденцію бути постійною і в основних лабораторних приміщеннях контролюється за допомогою кондиціонування повітря. Вологість у вхідному повітрі змінюється із сезонною складовою [3]. Група природо-кліматичних факторів у сукупності з технологічними та інженерно-геологічними чинниками визначає **конструктивний** чинник, що впливає на організацію підземного об'єкта та обумовлює необхідність додаткового матеріально-технічного забезпечення та систем забезпечення життєдіяльності. Оскільки конструктивне рішення підпорядковується перш за все технологічним вимогам, то конструктивні рішення мають повністю задовольняти всі технологічні та технічні аспекти діяльності підземного науково-дослідного комплексу. Одним з найважливіших аспектів конструктивного рішення має бути питання безпеки. Експериментальні та лабораторні приміщення мають бути герметичними з можливістю повної ізоляції від решти приміщень, горизонтальні комунікації, що сполучають групи приміщень між собою, мають бути забезпечені герметичними тамбурами та шлюзами, комплекс має бути забезпечений евакуаційними тунелями, що ведуть на поверхню.

Група **містобудівних** чинників включає в себе низку аспектів, котрі мають бути враховані при зведенні підземного об'єкта. Першочерговим є розташування підземного комплексу в контексті оточуючої забудови – в центральній частині населеного пункту, на околицях чи поза межами. Проведений аналіз світової містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів показує, що дані об'єкти переважно розміщуються за межами населених пунктів та залежать від наявності поблизу підземних транспортних тунелів чи вертикальних шахт [11]. Доступ до підземного науково-дослідного комплексу може бути забезпечений через вже існуючий горизонтальний тунель або вертикальну шахту. В деяких лабораторіях під'їзний тунель може бути побудований виключно під потреби лабораторії [3].

Іншим не менш важливим містобудівним аспектом є вплив навколишнього середовища на підземний об'єкт: шахтні роботи, дорожній рух тощо. Також варто врахувати і вплив підземного середовища на наземну поверхню:

- вплив на транспортно-пішохідний рух;
- шумовий чи вібраційний вплив;
- вплив на якість повітря;
- вплив на здоров'я (потенційне поширення хвороби);

- вплив на безпеку (вибух/отруєння);
- експлуатаційні вимоги (особливі вимоги до обслуговування) [11].

Ще одним ключовим аспектом містобудування є наявність історичної забудови, підземних комунікацій, зокрема, системи водопостачання, дренажу та каналізації, енергетичні і газові мережі та телекомунікаційні системи; та будівель, в тому числі підвальні приміщення, підземні пішохідні мережі, транспортні та логістичні тунелі і печери [11].

Не менш важливою групою чинників, що впливає на структурну організацію підземного науково-дослідного комплексу, є **законодавчі** чинники, оскільки на рівні державного законодавства має бути регламентоване питання власності на георесурси надр. Згідно з Конституцією України право власності на надра має не тільки держава, але й органи місцевого самоврядування, що значно спрощує використання надр місцевим громадам [14].

Групу **екологічних** чинників варто розглядати в аспекті сталого розвитку, котрого можна досягти шляхом збалансування експлуатації надр з їх збереженням. Перший крок полягає у визначенні придатності надр для використання з точки зору антропогенного втручання, придатності геологічного та просторового середовища. Другий крок зосереджений на аналізі впливу підземного об'єкту на існуючі екосистеми та підземні споруди, в тому числі й підземні інфраструктури, що можуть бути розвинені в майбутньому. При проектуванні підземного об'єкту має бути врахований майбутній розвиток наземної території, оскільки вертикальний розвиток підземного простору та переважаючий горизонтальний розвиток наземного середовища може спровокувати перешкоди в подальшому розвитку території [1].

Остання, проте не менш важлива, група чинників – **архітектурно-планувальні**, що передбачають вирішення об'ємно-композиційної структури підземного комплексу, функціонально-планувального зонування підземної та наземної групи приміщень. Об'ємно-композиційна та функціонально-планувальна структури підземного науково-дослідного комплексу визначаються технологічними та інженерно-геологічними умовами, містобудівною організацією території. Однак, вплив функціонально-планувального фактору полягає в реалізації трьох основних аспектів: мінімізації транспортних зв'язків в межах комплексу, компактне розташування функціональних зон, безпека транспортних шляхів. Функціонально-планувальний чинник передбачає також ефективну експлуатацію площі, організацію генерального плану, влаштування вертикальних та горизонтальних комунікацій.

Проаналізувавши групи чинників, що впливають на структурну організацію підземного середовища науково-дослідного комплексу, можна стверджувати, що процес проєктування підземного комплексу є складним завданням, вирішення котрого передбачає врахування сукупності визначених груп факторів.

**Висновки.** Характерною рисою підземних науково-дослідних комплексів є їхня багатофункціональність з домінуючою групою приміщень у вигляді експериментального ядра та додаткових просторів, призначених для досліджень в галузях біології, геології, хімії та ін.

Спираючись на аналіз світового досвіду виникнення та розвитку підземних науково-дослідних комплексів, були визначені основні фактори, що впливають на містобудівну, об'ємно-просторову та функціонально-планувальну організацію досліджуваних об'єктів. Серед основних чинників, що мають вплив на структуру підземних науково-дослідних комплексів були виокремлені: інженерно-геологічні, технологічні, природо-кліматичні, містобудівні, конструктивні, економічні, законодавчі, екологічні, архітектурно-планувальні. Групи вищезазначених факторів мають тісний взаємозв'язок і впливають один на одного, що дає змогу розглянути їх з точки зору комплексного підходу. Врахування даних чинників дасть змогу архітекторам досягнути процеси, котрі є характерними для організації комфортного та безпечного середовища для наукових співробітників, відвідувачів науково-дослідних комплексів, а також забезпечити протікання експериментальних досліджень згідно з технологічними вимогами.

#### Список джерел

1. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. "Building for people—valued underground spaces." *Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future*. ICE Publishing, 2018. 210 p.
2. Bettini, A. "Underground laboratories." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 626(8) January, 2011. DOI: [10.1016/j.nima.2010.05.017](https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017)
3. Bettini, Alessandro. "New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas." *Physics of the Dark Universe* 4 (2014): 36-40. DOI: [10.1016/j.dark.2014.05.006](https://doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006)
4. 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)

5. Hall, J. "The SNOLAB underground laboratory." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1468. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: [10.1088/1742-6596/1468/1/012252](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1468/1/012252)
6. Solotvina Underground Laboratory. URL: [http://lpd.kinr.kiev.ua/LPD\\_SUL.htm](http://lpd.kinr.kiev.ua/LPD_SUL.htm) (дата звернення 01.03.2023)
7. Російські окупанти обстріляли ядерну підкритичну установку. URL: <https://snriu.gov.ua/news/rosijski-okupanti-obstrilyali-yadernu-pidkritichnu-ustanovku-dzherelo-nejtroniv-u-harkovi> (дата звернення 01.03.2023)
8. 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)
9. Kenneth B. Labs. (1975). *The Architectural Use of Underground Space: Issues & Applications* (Doctoral dissertation, Washington Univ.)
10. Science and Discovery. URL: <https://sanfordlab.org/feature/science-and-discovery> (дата звернення 01.03.2023)
11. 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)
12. Wang, Xia, et al. "Factors influencing the development potential of urban underground space: Structural equation model approach." *Tunnelling and Underground Space Technology* 38 (2013): 235-243. DOI: [10.1016/j.tust.2013.06.005](https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.06.005)
13. Wright, A. (2012). *Underground Architecture: Connections Between Ground-Level Public Space and Below-Ground Buildings* (Doctoral dissertation, Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington).
14. Гайко, Г. І. "Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики." Ф79 Форум гірників–2019: матеріали міжнар. конф., 26–27 вересня 2019 р., м. Дніпро: Журфонд, 2019. – 379 с.

#### References

1. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. "Building for people–valued underground spaces." *Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future*. ICE Publishing, 2018. 210 pp. (in English)
2. Bettini, A. "Underground laboratories." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 626(8) January, 2011. DOI: [10.1016/j.nima.2010.05.017](https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017) (in English)
3. Bettini, Alessandro. "New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas." *Physics of the Dark Universe* 4 (2014): 36-40 pp. DOI: [10.1016/j.dark.2014.05.006](https://doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006) (in English)

4. 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) (in English)
5. Hall, J. "The SNOLAB underground laboratory." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1468. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: [10.1088/1742-6596/1468/1/012252](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1468/1/012252) (in English)
6. Solotvina Underground Laboratory. URL: [http://lpd.kinr.kiev.ua/LPD\\_SUL.htm](http://lpd.kinr.kiev.ua/LPD_SUL.htm) (access date 01.03.2023) (in English)
7. The Russian occupiers fired at a nuclear subcritical installation. [Rosiiiski okupanty obstrilialy yadernu pidkrytychnu ustanovku] URL: <https://snriu.gov.ua/news/rosijski-okupanti-obstrilyali-yadernu-pidkritichnu-ustanovku-dzherelo-nejtroniv-u-harkovi> (access date 01.03.2023) (in Ukrainian)
8. 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)
9. Kenneth B. Labs. (1975). *The Architectural Use of Underground Space: Issues & Applications* (Doctoral dissertation, Washington Univ.) (in English)
10. Science and Discovery. URL: <https://sanfordlab.org/feature/science-and-discovery> (access date 01.03.2023) (in English)
11. Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. "Underground space development key planning factors." *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354 pp. DOI: [10.1016/j.proeng.2016.11.709](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709) (in English)
12. Wang, Xia, et al. "Factors influencing the development potential of urban underground space: Structural equation model approach." *Tunnelling and Underground Space Technology* 38 (2013): 235-243 pp. DOI: [10.1016/j.tust.2013.06.005](https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.06.005) (in English)
13. Wright, A. (2012). *Underground Architecture: Connections Between Ground-Level Public Space and Below-Ground Buildings* (Doctoral dissertation, Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington). (in English)
14. Hayko, G. I. (2019) "Complex of priority tasks for the systematic development of underground urbanism." [Kompleks priorytetnykh zavdan dla systemnoho rozvytku pidzemnoi urbanistyky] F79 Forum hirnykiv-2019: materialy mizhnar. konf., 26-27 veresnia 2019 r., m. Dnipro: Zhurfond, 2019-379 s. (in Ukrainian)



## Annotation

**Valeriia Salo**, assistant, Department of Design of architectural environment, Kyiv National University of Construction and Architecture.

**The influence of factors on the architectural and environmental organization of underground scientific and research complexes**

The history of development and development of the underground space is known since the time of the first settlements in cave-like structures on the territory of modern Turkey, Tunisia, and the Crimean Peninsula. In the course of the evolutionary development of science and technology, the fields of astrophysics, nuclear physics, and elementary particle physics reached their peak in the 20th century. Since the vast majority of scientific and experimental research carried out in the field of physics requires special laboratory conditions that are as free as possible from the influence of cosmic radiation and radioactive isotopes, the construction of underground research complexes has also achieved active development. During the research, the fundamental works of a number of scientists were analyzed. Conceptual approaches to the development of underground space are considered in the scientific works of Han Admiral and Antonia Cornaro, in the doctoral dissertation of Kenneth B. Lebs. Peculiarities of the urban planning organization of the underground space are studied in the works of: G. I. Hayko, E. Reynolds, L. von der Tann, R. Sterling, Sh. Narang Suri, A. Wright. The problems of global experience in the design of underground buildings and structures were embodied in the works of P. Stones, T. Yung Heng, G.I. Hayko, and N.D. Panktrova. Interdisciplinary issues in the use of underground space are discussed in the works of H. Braun, N.A. Bakhtadze, V. Biletskyi, P. Kh. Gilberta. The spatial and planning organization of underground and surface laboratories is considered in the works of A. Bettini, Aldo Ianni, E. Kochia, K. G. Ryzhkova. The article presents groups of factors that have an impact on the structural organization of the environment of underground research complexes. The analysis of the influence of the main factors on the urban planning, spatial and functional structure of underground research complexes was carried out. It was established that the formation of the underground environment is influenced by the following groups of factors: engineering-geological, technological, natural-climatic, urban planning, constructive, economic, legislative, ecological, architectural and planning. A general description of each group of factors is given. It is proposed to consider the above factors from the point of view of a complex approach as closely interconnected structures that influence each other and the formation of the final structure of the underground research complex.

Keywords: underground urbanism; research facilities; underground laboratories.