

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.227-236>

УДК 721, 727.57

Сало Валерія Володимирівна

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

salo.vav@knuba.edu.ua

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

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація: у статті проведений огляд світового досвіду проєктування підземних лабораторій. Наведені спільні архітектурні риси організації комплексів. Проаналізовані містобудівна, об'ємно-просторова, функціонально-планувальна організація підземного середовища науково-дослідних комплексів. Визначені сучасні тенденції проєктування підземних науково-дослідних комплексів. Наведені характерні особливості містобудівної, об'ємно-просторової, функціонально-планувальної структури підземних науково-дослідних комплексів.

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

Постановка проблеми. Підземні науково-дослідні комплекси повинні забезпечувати необхідні умови для проведення експериментальних досліджень у наукових галузях, на яких вони спеціалізуються. Підземна науково-дослідна установа повинна також забезпечувати комфортне та безпечне перебування науково-технічного персоналу на її території та задовольняти всі його соціальні, фізіологічні, психологічні та професійні потреби. Містобудівна, об'ємно-просторова та функціонально-планувальна організація регламентуються технічними вимогами проведення експериментів і досліджень у конкретних наукових галузях: астрофізиці, фізиці елементарних частинок та інших.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему розвитку підземного простору та його містобудівну організацію вивчали у своїх наукових працях Г.І.Гайко, Х. Адміраал, А. Корнаро, А. Райт, Р. Стерлінг. Стратегії та інструменти організації підземного простору, а також основні системи планування об'єктів підземної урбаністики висвітлені в роботах Л. Фон дер Танн. Питання оптимізації підземного простору порушене в роботах Пола Х. Гілберта, П. Стоунза. [1, 14-18]

Рекомендації з містобудівної та архітектурно-планувальної організації підземних просторів зустрічаються в докторській дисертації Джоанни Козицької.

Глобальний досвід проектування підземних просторів висвітлений в роботах Т. Юнг Хенга, Н.А.Бахтадзе, В. Білецького, Н. Д. Панкратової. [14, 18]

Архітектурно-середовищна організація простору підземних науково-дослідних комплексів розглянута в статтях А. Беттіні, Алдо Іанні, Е. Кочії. Сучасні тенденції розвитку підземних будівель та споруд розглянуті в наукових роботах Гайко Г. І. та Панкратової Н. Д. [2-3, 7, 10]

Аналіз останніх наукових публікацій та всесвітніх джерел дозволяє зробити висновок, що кількість літератури, котра займається питаннями підземної урбаністики, є недостатньою. Тема архітектурно-середовищної організації підземних науково-дослідних комплексів потребує подальших досліджень.

Метою публікації є визначення сучасних тенденцій містобудівної, об'ємно-просторової та функціонально-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів.

Основна частина. У 1960-х роках почали з'являтися перші підземні дослідницькі лабораторії: 1965 року перші "природні" нейтрино було виявлено майже одночасно двома групами, що працювали на глибині 2700 м у золотій копальні Колар у Південній Індії та 3200 м у Південній Африці; 1979 року в Гран-Сассо в центральній Італії під горою планувалося побудувати подвійний автодорожній тунель. А. Гічі, тодішній президент INFN, побачив у цьому унікальну можливість побудувати підземну лабораторію світового класу з широким спектром потенційних наукових програм, включно з майбутнім пучком нейтрино CERN [2]. Для більшості наукових досліджень і експериментів, що проводяться в галузі фізики, потрібні спеціальні лабораторні умови, максимально захищені від впливу космічних променів і радіоізотопів [8].

Лабораторія в Гран-Сассо має горизонтальний доступ. Підземна лабораторія складається з трьох основних залів і допоміжного тунелю, який забезпечує додатковий простір для допоміжного обладнання та невеликих експериментів (Рис. 1). Над землею розташовані офіси, майстерні, склади, хімічна лабораторія, електронна лабораторія, актові зали, комп'ютерні та мережеві приміщення, бібліотека, їдальня, житлові камери, конференц-зали та будівля штаб-квартири й адміністрації [1, 11]. Підземна лабораторія Канфранк (Рис. 2) в Іспанії стала першим підземним об'єктом, розташованим поблизу закритого залізничного тунелю під Піренеями. Будівництво підземної частини цього об'єкта було завершено 2005 року. У наземній частині розташовані головний офіс, адміністрація, бібліотека, конференц-зали, офіси, лабораторії, склади та майстерні. Доступ до лабораторій здійснюється через один із горизонтальних автомобільних тунелів. У підвалі розташовані дві зали, 40 x 15 x 12 і 15 x 10 x 8. Площа чистої кімнати становить 45 м², а площа

службового приміщення – 215 м². Площа колишньої лабораторії становить 100 м². Максимальна висота породи становить 850 м [1, 7].

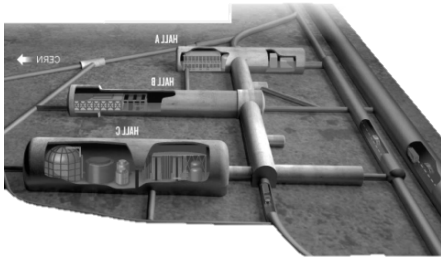


Рис. 1. Аксонометричний розріз лабораторії Гран Сассо, Італія

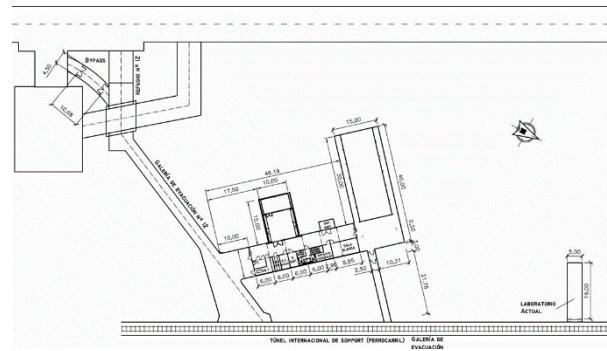


Рис. 2. План підземної частини лабораторії Канфранк, Іспанія

SNOLab (Рис. 3) була побудована 2009 року в Онтаріо, Канада, на глибині 2 км і займає площу 5000 м², з яких 3100 м² використовується для експериментальних установок. Ще 2600 м² використовується для допоміжної інфраструктури. Лабораторія має п'ять основних експериментальних зон. Лабораторія являє собою розгалужену структуру, з'єднану з рівнем землі вертикальними тунелями та горизонтальними тунелями і коридорами. Підземні експериментальні приміщення розташовані в окремих просторах. Для персоналу є окремий вхід, передбачені роздягальні та душові. У лабораторії встановлено системи вентиляції та очищення води [12].

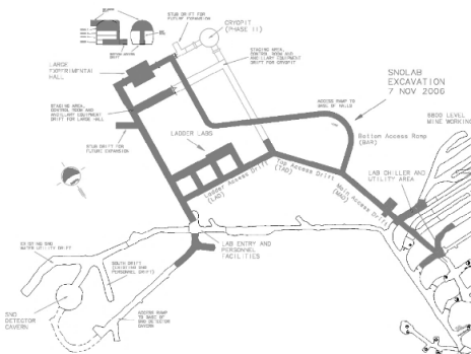


Рис. 3. План лабораторії SNOLab, Онтаріо, Канада

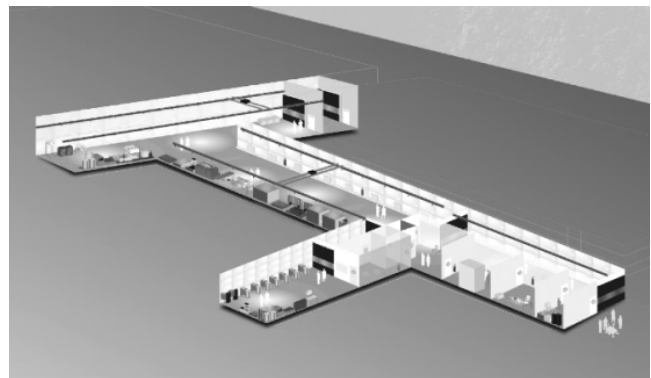


Рис. 4. Аксонометрична схема лабораторії в Булбі, Англія

Підземна наукова лабораторія (Рис. 4) розташована в діючій шахті з видобутку калійної солі на глибині 1100 метрів, недалеко від села Булбі на півночі Англії. Дослідження варіюються від пошуку темної матерії до геології, геофізики, клімату, довкілля та вивчення форм життя в екстремальних умовах на

Землі та за її межами [3]. Під землею розташовано понад 1500 м² чистих лабораторних приміщень із майстернями, складськими та комп'ютерними приміщеннями. Крім того, побудовано наземне приміщення площею 500 м² з наземними лабораторними та складськими приміщеннями, майстернями, офісами, обчислювальною технікою, конференц-залами, кухнею та пральнею [6].

Через дорожній тунель Фреюс є горизонтальний доступ до підземної лабораторії, розташованої недалеко від міста Модан, Франція. Лабораторія складається з головного залу об'ємом 30 x 10 x 11 м³, гамма-залу площею 70 м² і двох малих залів площею 18 м² і 21 м² відповідно. Загальна площа лабораторії становить 400 м². У наземній будівлі розташовані офісні приміщення (100 м²), склад і майстерня (150 м²) та головний офіс [1, 2]. Японська обсерваторія Каміюка також має горизонтальний доступ. Її підземні приміщення включають зал діаметром 50 м, чисту кімнату 10 x 5 м², L-подібну залу 40 x 4 м, L-подібну залу 100 x 4 м і дві нові зали - А (15 x 21 м²) і В (6 x 11 м²). Також є невеликі приміщення в закритій шахті [2].

Особливо слід відзначити підземну лабораторію Цзіньпін (Рис. 5, 6), відкриту 2010 року, яка є найглибшим підземним дослідницьким об'єктом у світі на глибині 2 400 м і найбільшим за обсягом - близько 300 000 м³. Розташована в тунелі Цзіньпін у провінції Сичуань [5]. У 2008 році під горою Цзіньпін було завершено два транспортні тунелі завдовжки 17,5 км для полегшення транспортування будівельних матеріалів; у грудні 2009 року розпочався перший етап будівництва лабораторного комплексу. До лабораторних будівель веде двосмуговий автомобільний тунель, досить широкий для проїзду вантажівок. Головна зала, де проводяться експерименти, має розміри 6,5 м x 6,5 м x 40 м і площу 260 м². Біля західного входу в тунель розташовані гостьовий будинок, гуртожиток, їдальня та офісні приміщення [4].

Слід відзначити Яньянську гідроакумулюючу електростанцію в Яньян-гуні, Гангвон-до, яка є найбільшою енергоакумулюючою станцією в Південній Кореї. Електростанція розташована приблизно за 300 км від Теджона, де розташована штаб-квартира IBS, і почала комерційне вироблення електроенергії в серпні 2006 року, при цьому чотири турбіни працюють на повну потужність, виробляючи до 250 МВт. Основні об'єкти електростанції, включно з турбінами для вироблення електроенергії, розташовані приблизно на 700 м нижче рівня землі. Крім основних підземних споруд, в околицях є кілька робочих тунелів (штолень). Група підземних експериментів обслуговує одну з робочих штолень за згодою енергетичної компанії, що експлуатує електростанцію. У 2003 році Центр дослідження темної матерії Сеульського національного університету завершив будівництво лабораторії Y2L-A6 площею близько 100 м² і глибиною

700 м. У листопаді 2014 року в тунелі А5 поруч з об'єктом А6 був побудований ще один підземний об'єкт площею близько 200 м². Y2L-лабораторії А6 і А5 розташовані на глибині 700 м. Об'єкт Y2L-А5 складається з двох чистих кімнат і кімнати моніторингу для кожного експерименту, а також кількох допоміжних систем, включно з системою зниження вмісту радону, системою охолодження води та електротехнічним приміщенням. Для безпеки співробітників об'єкт також обладнаний системами подачі та відведення свіжого повітря, системою пожежної сигналізації та системою димовидалення на випадок пожежі [13].

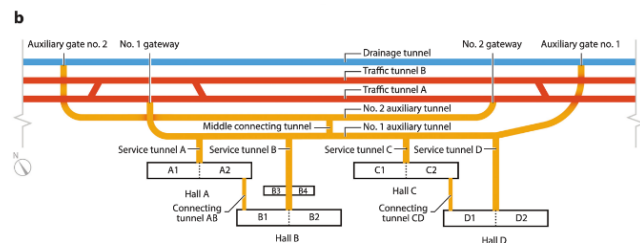
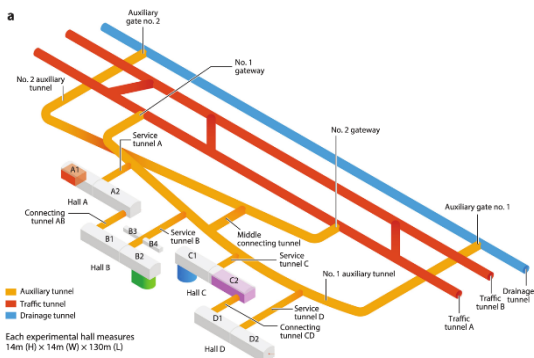


Рис. 5. Аксонометрична схема лабораторії Цзіньпін, Китай
Рис. 6. План лабораторії Цзіньпін, Китай

Проект Індійської нейтринної обсерваторії - це важливий багатоінституційний проект з будівництва підземної лабораторії світового класу площею близько 1200 м² для проведення досліджень у галузі високих енергій та ядерної фізики без використання прискорювачів. Проект передбачає будівництво підземної лабораторії та пов'язаних із нею наземних споруд на пагорбах Бодхі Вест у районі Ченнаї, штат Тамілнад. Підземна лабораторія складатиметься з великого приміщення розміром 132 м x 26 м x 20 м і кількох невеликих печер, до яких веде тунель завдовжки 2 100 м і завширшки 7,5 м. Очікується, що вона перетвориться на повноцінну підземну наукову лабораторію для досліджень у галузі фізики, біології, геології та гідрології [10].

Висновки. Аналіз світового досвіду проектування підземних дослідницьких об'єктів показує, що на організацію цих об'єктів впливає низка чинників, включно з містобудівними, геологічними, гідрологічними та технічними. Слід зазначити, що перераховані вище об'єкти мають деякі спільні риси: експериментальну зону, що є блочною структурою, яка складається з декількох функціональних груп об'єктів, горизонтальний розвиток коридорів і тунелів, які з'єднують експериментальні зони один з одним, і чітке функціональне зонування між підземними і наземними зонами.

Аналіз *містобудівної* ситуації у світовому досвіді проєктування дав змогу виявити основні чинники, що впливають на розміщення підземних науково-дослідних комплексів. Зокрема, характер гірських порід є чинником, що визначає глибину залягання науково-дослідного об'єкта, висоту проєктованої зали і, відповідно, функціональне призначення науково-дослідного об'єкта. Не менш важливою характеристикою є наявність або відсутність дорожніх тунелів (магістралей) чи шахт, що визначають спосіб горизонтального або вертикального доступу до лабораторії.

Аналіз *об'ємно-просторової* структури підземного дослідницького комплексу показав, що просторова структура комплексу тяжіє до блокової структури. Блокова структура характеризується розташуванням різних функціональних груп в окремих об'ємах, з ядром основних експериментальних залів, з'єднаних із допоміжними об'ємами (лабораторіями, службовими та малими експериментальними залами) найкоротшими транзитними шляхами, такими як коридори або тунелі. Однак деякі компактні структури мають обмежену кількість функціональних груп і можуть бути надійно з'єднані без додаткових заходів безпеки.

Аналіз *функціонально-планувальної* структури підземних науково-дослідних комплексів засвідчив, що характерною рисою сучасних дослідницьких комплексів є їхня багатофункціональність, що виражається в доповненні експериментального ядра спеціалізованими приміщеннями. У результаті аналізу було виокремлено підземний і наземний функціональні блоки. До підземної функціональної групи входять переважно експериментальний, дослідницький, сервісний, побутовий, транспортний та охоронний блоки. Функціональні групи наземних об'єктів включають адміністративні, харчові, санітарно-побутові, інженерні та житлові блоки. Залежно від пріоритетних напрямів діяльності науково-дослідного центру та чи інша група об'єктів переважатиме. Однак у більшості випадків виокремлюється переважання групи об'єктів, що включає ядро основних залів для великомасштабних експериментів, допоміжні та службові зали і лабораторії. В деяких випадках може бути бажаним розміщення всіх функціональних груп під землею.

Проведений аналіз підземних науково-дослідних комплексів показує, що основними тенденціями в проєктуванні підземних лабораторних комплексів є багатофункціональність із домінуючими функціональними групами, чітке вертикальне й горизонтальне зонування функціональних зон, переважаючий горизонтальний доступ до підземних просторів, перевага блокової об'ємно-просторової структури та переважаюча горизонтальна організація функціональних процесів.

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: <http://dx.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: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006>
4. Boulby Underground Laboratory. The World's Only Polyhalite Mine | ICL Boulby > Boulby Underground Laboratory URL: <https://www.icl-uk.uk/undergroundlab>
5. Cheng, Jian-Ping, et al. "The China Jinping underground laboratory and its early science." *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 67 (2017): 231-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nucl-102115-044842>
6. CJPL Overview. URL: https://cjpl.tsinghua.edu.cn/column/About_Overview
7. Coccia, E. "Underground laboratories in Europe." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No. 1. IOP Publishing, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134>
8. Description – LSC Canfranc. URL: <https://lsc-canfranc.es/en/description/>
9. Hall, J. "The SNOLAB underground laboratory." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1468. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1468/1/012252>
10. Ianni, Aldo. "Considerations on Underground Laboratories." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1342. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1342/1/012003>
11. India-based Neutrino Observatory. About INO. URL: <https://www.ino.tifr.res.in/ino/index.php>
12. LNGS overview. URL: <https://www.lngs.infn.it/en/lngs-overview>
13. SNOLAB | World-class underground science facility. URL: <https://www.snolab.ca/facility/underground-facilities/>
14. Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. "Underground space development key planning factors." *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709>
15. 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).

16. Yangyang pumped storage power plant. URL: <https://cupweb.ibs.re.kr/en/facilities-and-equipment/underground-labs/y21/>

17. 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.

18. Гайко Г., Білецький В., Мікось Т., Хмура Я.. Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі (нариси з історії). – Донецьк: УКЦентр, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. – 296 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 p. (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: <http://dx.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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006> (in English)

4. Boulby Underground Laboratory. The World's Only Polyhalite Mine | ICL Boulby > Boulby Underground Laboratory URL: <https://www.icl-uk.uk/undergroundlab> (in English)

5. Cheng, Jian-Ping, et al. "The China Jinping underground laboratory and its early science." *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 67 (2017): 231-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nucl-102115-044842> (in English)

6. CJPL Overview. URL: https://cjpl.tsinghua.edu.cn/column/About_Overview (in English)

7. Coccia, E. "Underground laboratories in Europe." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No. 1. IOP Publishing, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134> (in English)

8. Description – LSC Canfranc. URL: <https://lsc-canfranc.es/en/description/> (in English)

9. Hall, J. "The SNOLAB underground laboratory." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1468. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1468/1/012252> (in English)

10. Ianni, Aldo. "Considerations on Underground Laboratories." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1342. No. 1. IOP Publishing, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1342/1/012003> (in English)

11. India-based Neutrino Observatory. About INO. URL: <https://www.ino.tifr.res.in/ino/index.php> (in English)
12. LNGS overview. URL: <https://www.lngs.infn.it/en/lngs-overview> (in English)
13. SNOLAB | World-class underground science facility. URL: <https://www.snolab.ca/facility/underground-facilities/> (in English)
14. Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. "Underground space development key planning factors." *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709> (in English)
15. 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)
16. Yangyang pumped storage power plant. URL: <https://cupweb.ibs.re.kr/en/facilities-and-equipment/underground-labs/y2l/> (in English)
17. 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)
18. Haiko, H., Biletskyi, V., Mikos, T., Khmura, Ya. (2009). *Mining and underground structures in Ukraine and Poland (essays on history)*. [Hirnytstvo y pidzemni sporudy v Ukraini ta Polshchi (narysy z istorii).] – Donetsk: UKTsentr, Donetske viddilennia NTSh, «Redaktsiia hirnychoi entsyklopedii», 296 s. (in Ukrainian)

Annotation

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

Current tendencies of architectural and environmental organization of underground scientific and research complexes

The article provides an overview of the world experience in the design of underground laboratories. Underground research complexes must provide the necessary conditions for conducting experimental research in the scientific fields in which they specialize. An underground scientific research institution should also ensure a comfortable and safe stay of scientific and technical personnel on its territory and satisfy all their social, physiological, psychological and professional needs. Urban planning, volume-spatial and functional-planning organization are regulated by the technical requirements for conducting experiments and research in specific scientific fields: astrophysics, physics of elementary particles and others. The article examines the scientific works of world scientists and architects. The problem of the development of underground space and its urban planning organization was studied in their scientific works by G. I. Hayko, H. Admiral, A. Cornaro, A. Wright, R. Sterling. Strategies and tools for the organization of underground space, as well as the main planning systems of underground urban planning objects, are highlighted in the works of L. Von der Tann. The issue of optimization of the underground space is raised in the works of Paul H. Gilbert, P. Stones. Recommendations on the urban planning and architectural planning organization of underground spaces are found in Joanna Kozytska's doctoral dissertation. The global experience of designing underground spaces is highlighted in the works of T. Jung Heng, N. A. Bakhtadze, V. Biletskyi, N. D. Pankratova. The architectural and environmental organization of the space of underground research complexes is considered in the articles of A. Bettini, Aldo Ianni, E. Kochia. Modern trends in the development of underground buildings and structures are considered in the scientific works of G. I. Hayko and Pankratova N. D. The article presents common architectural features of the organization of complexes. The urban planning, volume-spatial, functional-planning organization of the underground environment of scientific and research complexes is analyzed. Modern trends in the design of underground scientific and research complexes are determined. Characteristic features of the urban planning, volumetric-spatial, functional-planning structure of underground scientific and research complexes are given.

Keywords: underground urbanism; research complexes; underground laboratories; current tendencies.