

Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САЛО ВАЛЕРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 725, 727

ДИСЕРТАЦІЯ
ТИПОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГА-
НІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ В УКРАЇНІ

191 – Архітектура та містобудування

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В.В. Сало

Науковий керівник Праслова Валентина Олександрівна, кандидат архітектури, доцент

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Сало В.В. Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 191 «Архітектура та містобудування». – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2023.

Дослідження присвячене вивченню типологічних особливостей архітектурно-планувальної організації підземного науково-дослідного комплексу, що здатний поєднувати в собі численні функції. Забезпечити розвиток науково-дослідницького, науково-просвітницького та освітньо-туристичного напрямків, задовільняючи потреби сучасних українських та закордонних науковців. Забезпечити розвиток військової та оборонної промисловостей України, сприяючи відновленню ядерного потенціалу.

Обґрунтування актуальності обраної теми дослідження представлено у **вступі**. Досліджено проблему, проведений попередній аналіз наукових праць, що є дотичними до теми, однак в повній мірі не розкривають особливості організації обраного здобувачкою типу підземних споруд. Показано зв'язок теми дослідження з вітчизняними та закордонними нормативно-правовими актами, організаціями, а також з темою діяльності випускаючої кафедри. Визначено мету роботи, задачі дослідження, об'єкт та предмет. Вказані межі, в яких проводиться дослідження: змістові, часові, територіальні, визначені основні методи дослідження. Поданий опис наукової новизни та практичних результатів, що були отримані в ході роботи над дисертаційним дослі-

дженням, їх можливий подальший розвиток. Презентовано апробацію результатів роботи у вигляді виданих статей, а також доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях. Представлено структуру роботи та її повний обсяг.

У першому розділі дисертаційної роботи «**Аналіз досвіду формування підземних науково-дослідних комплексів**» проведений аналіз та систематизація наукових праць з галузей наук, що є дотичними до проблематики обраної теми, визначені основні передумови формування підземних науково-дослідних комплексів. Проведено аналіз вітчизняного та закордонного досвіду освоєння підземного простору, формування підземних будівель та споруд та їх еволюційний шлях, що зумовив появу підземних науково-дослідних комплексів. Проаналізовано міжнародний досвід проектування підземних науково-дослідних комплексів та виявлено основні тенденції розвитку даних комплексів.

Питання комплексного освоєння підземного простору порушене в працях науковців різних галузей: архітекторів, інженерів, екологів, істориків. Тема функціональної організації підземних науково-дослідних комплексів побічно висвітлена в наукових статтях в галузях фізики та астрофізики, у звітах та презентаціях Європейської організації з ядерних досліджень (CERN), коротких оглядах деяких існуючих підземних лабораторних комплексах. Питання архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів не було досліджене належним чином ні вітчизняними вченими, ні закордонними. Поза їх увагою залишаються багато питань, в тому числі класифікаційна система, фактори впливу на формування підземних науково-дослідних комплексів, їх типологія, архітектурно-планувальна організація та принципи організації даних комплексів. Аналіз та систематизація літературних джерел свідчать про необхідність подальшого дослідження підземних науково-дослідних комплексів, їх типізацію та функціонально-планувальну організацію.

В ході аналізу історичної літератури, що базується на процесах освоєння підземного простору на території України та за її межами, було досліджено еволюцію формування та розвитку підземних будівель та споруд від стародавніх часів до сучасності. На основі отриманих даних виокремлено шість ключових етапів освоєння підземного простору від першого печерного житла до концептуальних проєктів підземних міст та існуючих підземних комплексів, зокрема й підземних науково-дослідних комплексів. Додатково проведено порівняльний аналіз досвіду освоєння підземного простору в Україні та за її межами, в процесі котрого були визначені суттєві відмінності в розвитку підземного будівництва.

Серед визначених етапів розвитку підземного будівництва, останнє місце займає період міленіуму від ХХ ст. – до сьогодення. Саме в цей період свій розвиток отримали підземні науково-дослідні комплекси. Досвід їх проєктування був досліджений в країнах Європи, Північної та Південної Америки, країнах Азії та Австралії, а також було досліджено єдину існуючу підземну лабораторію в Україні, що є недіючою на даний момент. В ході аналізу були виявлені особливості містобудівної, об'ємно-просторової та функціонально-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів. Виявлені основні тенденції їх проєктування та визначені перспективні напрямки їх розвитку на території України. Під час аналізу були визначені основні функції, що виконує підземний науково-дослідний комплекс, функціональні групи приміщень та їх попередні взаємозв'язки. Визначена характерна риса даного типу комплексів, котра полягає у багатофункціональності комплексу та домінуючою функціональною групою приміщень, котра й визначає його тип.

Дослідження світового досвіду проєктування підземних науково-дослідних комплексів дало змогу переконатися у відсутності необхідних теоретичних та практичних даних для втілення практики будівництва підземних комплексів на території України. Однак огляд доступних матеріалів, а також проведений аналіз є першим кроком

до реалізації тенденції проектування підземних науково-дослідних комплексів в Україні.

Другий розділ роботи «**Методичні засади архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів**» охоплює загальну методикку дослідження, в основу котрої покладено системний підхід. Виокремлені основні етапи дослідження передбачають застосування загальнонаукових, міждисциплінарних та спеціалізованих архітектурних методів.

Спираючись на методи графоаналітичного аналізу, контент-аналізу та спостереження, були визначені основні групи факторів, що впливають на містобудівну, об'ємно-просторову та архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів. До груп факторів належать: інженерно-геологічні, технологічні, природо-кліматичні, містобудівні, конструктивні, економічні, законодавчі, екологічні, архітектурно-планувальні. Методом оцінки факторів впливу був виявлений тісний взаємозв'язок між факторами, визначено вплив кожної окремої групи факторів на решту.

На основі вивченого досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів та впливу факторів на їх організацію були надані основні критерії класифікації: за цільовим призначенням, за інженерно-геологічними характеристиками, за технічними характеристиками, за архітектурно-планувальними характеристиками, за групами ризиків. Зазначені параметри є головними при проектуванні підземних науково-дослідних комплексів, оскільки мають значний вплив на якісний та кількісний склад приміщень, функціональне зонування комплексу, його об'ємно-планувальну структуру та функціональне наповнення.

Виходячи з даних, отриманих шляхом аналізу, та з метою подальшого дослідження обраної теми, а також для розробки рекомендацій з проектування даного типу

комплексів, були виокремлені основні функції об'єкта та наведені їх характерні особливості. Серед повного переліку функцій підземного науково-дослідного комплексу наступні: експериментальна, науково-дослідна, навчально-просвітницька, науково-туристична, профілактично-безпекова, житлова, медична. Спираючись на характерні функції об'єкта, в ході дослідження було запропоновано вертикальне функціональне зонування комплексу з розподілом груп приміщень на наземні та підземні. Приведений повний перелік функціональних зон, що мають розміститися на поверхні комплексу: вхідна група, адміністративно-побутова, науково-дослідна, навчально-просвітницька, харчова, житлова, службова, технічна, медична, рекреаційно-дозвілєва. Також визначені функціональні групи, що мають бути в підземній частині комплексу: вхідна, експериментальна, науково-дослідна, технічна, санітарно-гігієнічна, службова, інженерна, транспортна, рекреаційна, медична. В пункті експериментальне проектування представлені авторські розробки експериментальних, науково-дослідних та допоміжних модулів, котрі за потреби можуть бути адаптовані під відмінні функції. Також розроблено архітектурно-планувальні схеми з домінуючим горизонтальним однорівневим розвитком підземного науково-дослідного комплексу та домінуючим вертикальним багаторівневим розвитком.

В третьому розділі «**Особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів**» визначені основні містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів та фактори, що впливають на вибір місця розташування комплексу. Спираючись на проведений аналіз світових аналогів проектування, виявлені тенденції містобудівної організації території підземних науково-дослідних комплексів, на їх основі сформульовані основні рекомендації щодо містобудівного розміщення комплексу. Також були сформульовані рекомендації щодо розробки генерального плану наземної території комплексу, визначений повний набір функціональних зон: вхідна зона, науково-дослідна, навчально-просвітницька,

інженерна, адміністративна, господарсько-побутова, житлова, службова, медична, рекреаційна, безпекова, зона паркінгу та транспортних шляхів. Надана характеристика кожної із зазначених зон. В експериментальному проектуванні представлені варіанти авторських розробок генеральних планів наземної території комплексу, передбачений їх розвиток в окремий містобудівний кластер – поселення.

Проведене дослідження, визначені функціональні зони, класифікація та фактори впливу на організацію підземних комплексів, дозволили визначити три основних типи підземних науково-дослідних комплексів: фізики та ядерної фізики, астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарний. Визначені основні функціональні зони, що характерні для кожного типу об'єкту, функціональні зв'язки між зонами та підземною і наземною частинами. Визначені архітектурно-планувальні особливості, характерні для кожного типу. Шляхом експериментального проектування розроблені архітектурно-планувальні схеми кожного з трьох типів, представлені схеми їх функціонального зонування та взаємозв'язку з наземними частинами комплексів.

Спираючись на проведені дослідження, були сформульовані принципи, котрими доцільно керуватися архітекторам при проектуванні підземного науково-дослідного комплексу: принцип наукової відповідності, принцип автономності, принцип ергономічної відповідності, принцип просторового розвитку.

Отримані результати дисертаційної роботи мають потенціал стати фундаментом для подальшого дослідження даної теми, поглиблення та розширення знань, формування рекомендацій та будівельних норм проектування підземних науково-дослідних комплексів.

Ключові слова: підземні комплекси, науково-дослідні комплекси, підземна урбаністика, архітектурно-планувальна організація, міський простір.

ABSTRACT

Salo V.V. Typological features of the architectural and planning organization of underground research complexes in Ukraine. – As in manuscript.

Thesis for scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 191 “Architecture and urban planning”. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine Kyiv, 2023.

The research is devoted to the study of the typological features of the architectural and planning organization of an underground research complex that can combine numerous functions. To ensure the development of research, scientific and educational, educational and tourist areas, meeting the needs of modern Ukrainian and foreign scientists. Ensure the development of Ukraine's military and defense industries, contributing to the restoration of nuclear potential.

The relevance of the chosen research topic is justified in the **introduction**. The problem is studied, a preliminary analysis of scientific works that are related to the topic, but do not fully reveal the features of the organisation of the type of underground structures chosen by the author, is carried out. The connection of the research topic with Ukrainian and foreign regulations, organisations, as well as with the topic of the graduating department, is shown. The purpose of the work, research objectives, object and subject are defined. The boundaries within which the research is carried out are indicated: content, time, territorial. The main research methods are defined. A description of the scientific novelty and practical results obtained in the course of the dissertation research, their possible further development is given. The approbation of the results of the work in the form of published articles, as well as reports at international and Ukrainian scientific conferences is presented. The structure of the work and its full scope are presented.

The first chapter of the thesis "**Analysis of the experience of forming the underground research complexes**" analyses and systematises scientific works in the fields of science that are relevant to the topic, identifies the main prerequisites for the formation of underground research complexes. An analysis of domestic and foreign experience in the development of underground space, the formation of underground buildings and structures and their evolutionary path, which led to the emergence of underground research complexes, is carried out. The international experience of designing underground research complexes is analysed and the main trends in the development of these complexes are identified.

The issue of integrated development of underground space has been raised in the works of scientists in various fields: architecture, engineering, ecology, history. The topic of the functional organisation of underground research complexes is indirectly covered in scientific articles in the fields of physics and astrophysics, in reports and presentations of the European Organisation for Nuclear Research (CERN), and in brief reviews of some existing underground laboratory complexes. The issue of architectural and planning organisation of underground research complexes has not been properly studied by either Ukrainian or foreign scientists. Many issues remain outside their attention, including the classification system, factors influencing the formation of underground research complexes, their typology, architectural and planning organisation and principles of organisation of these complexes. The analysis and systematisation of literature sources indicate the need for further research into underground research complexes, their typology and functional organisation.

In the course of analysing the historical literature based on the processes of development of underground space in Ukraine and abroad, the evolution of the formation and development of underground buildings and structures from ancient times to the present was studied. Based on the data obtained, six key stages of the development of underground space have been identified, from the first cave dwelling to conceptual designs of underground cities and existing underground complexes, including underground research

facilities. Additionally, a comparative analysis of the experience of developing underground space in Ukraine and abroad was carried out, in the course of which significant differences in the development of underground construction were identified.

Among the defined stages of development of underground construction, the last place is occupied by the millennium period from the twentieth century to the present day. It was during this period that underground research facilities were developed. The experience of their design was studied in Europe, North and South America, Asia and Australia, as well as the only existing underground laboratory in Ukraine, which is currently inactive. The analysis revealed the peculiarities of the urban planning, volumetric-spatial and functional-planning organisation of underground research complexes. The main trends in their design have been identified and promising areas for their development in Ukraine have been identified. During the analysis, the main functions performed by the underground research complex, functional groups of premises and their preliminary interconnections were identified. The characteristic feature of this type of complexes is determined, which is the multifunctionality of the complex and the dominant functional group of premises, which determines its type.

The study of the world experience in designing underground research facilities has made it possible to verify the lack of necessary theoretical and practical data for the implementation of the practice of building underground facilities in Ukraine. However, the review of available materials and the analysis is the first step towards implementing the trend of designing underground research facilities in Ukraine. The experimental design section presents the author's developments of experimental, research and auxiliary modules that can be adapted to different functions if necessary. Architectural and planning schemes with a dominant horizontal single-level development of the underground research complex and a dominant vertical multi-level development have also been developed.

The second section of the paper "**Methodological principles of architectural and planning organisation of underground research complexes**" covers the general research

methodology based on a systematic approach. The identified main stages of the study involve the application of general scientific, interdisciplinary and specialised architectural methods.

Based on the methods of graph-analytical analysis, content analysis and observation, the main groups of factors influencing the urban planning, spatial and planning organisation of underground research complexes were identified. The groups of factors include: engineering and geological, technological, climatic, urban, constructive, economic, legislative, environmental, architectural. The method of evaluating the influence factors revealed a close relationship between the factors, and the influence of each individual group of factors on the others was determined.

Based on the studied experience of designing underground research complexes and the influence of factors on their organization, the main classification criteria were provided: by purpose, by engineering and geological characteristics, by technical characteristics, by architectural and planning characteristics, by risk groups. These parameters are the main ones in the design of underground research facilities, as they have a significant impact on the qualitative and quantitative composition of the premises, the functional zoning of the complex, its space-planning structure and functional content. These parameters are the main ones in the design of underground research complexes, since they have a significant impact on the qualitative and quantitative composition of the premises, the functional zoning of the complex, its space-planning structure and functional content.

Based on the data obtained through the analysis, and for the purpose of further study of the chosen topic, as well as to develop recommendations for the design of this type of complexes, the main functions of the facility were identified and their characteristic features were given. The full list of functions of the underground research complex includes the following: experimental, research, educational, touristic, security, residential, medical. Based on the characteristic functions of the facility, the study proposed a vertical functional zoning of the complex with the division of groups of premises into aboveground and underground. A complete list of functional areas to be located on the surface of the complex

is provided: entrance, administrative and household, research, educational, food, residential, service, technical, medical, recreational. The functional groups to be located in the underground part of the complex are also defined: entrance, experimental, research, technical, sanitary and hygienic, service, engineering, transport, recreational, medical.

The third chapter, "**Features of the architectural and planning organisation of underground research complexes**", identifies the main urban planning principles of the formation of underground research complexes and the factors influencing the choice of the location of the complex. Based on the analysis of world analogues of design, the tendencies of urban planning organisation of the territory of underground research complexes were identified, and on their basis the main recommendations for the urban planning location of the complex were formulated. Recommendations were also formulated for the development of a master plan for the above-ground territory of the complex, and a complete set of functional zones was identified: entrance zone, research, educational, engineering, administrative, household, residential, service, medical, recreational, security, parking and transport routes. The research describes each of these zones.

The conducted research, identified functional zones, classification and factors influencing the organisation of underground complexes, allowed to identify three main types of underground research complexes: physics and nuclear physics, astrophysics, multidisciplinary. The main functional zones characteristic of each type of facility and functional links between the zones and the underground and above-ground parts are identified. The architectural and planning features characteristic of each type are identified. Through experimental design, architectural and planning schemes of each of the three types were developed, schemes of their functional zoning and interconnection with the ground parts of the complexes were presented.

Based on the study, the principles that should be followed by architects when designing an underground research complex were formulated: the principle of scientific relevance,

the principle of autonomy, the principle of ergonomic relevance, and the principle of spatial development.

The obtained results of the dissertation have the potential to become the basis for further research on this topic, deepening and expanding knowledge, formulating recommendations and building codes for the design of underground research complexes.

Keywords: underground complexes, research facilities, underground urban planning, urban space.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Сало, В. (2021). АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО СПРИЯЛИ ВИНИКНЕННЮ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ. Містобудування та територіальне планування, (78), 445–454. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.445-454>
2. Сало, В. (2023). ВПЛИВ ЧИННИКІВ НА АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (65), 251–259. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.251-259>
3. Сало, В. (2023). СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (66), 227–236. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.227-236>
4. Salo, Valeriia. КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Архітектурний вісник КНУБА 28 (2023): 111-117. <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.28.111-117>
5. Сало, В. (2023). СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (68), 178-186. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.178-186>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Сало В. В. «Теоретичні передумови виникнення підземних комплексів спеціального та наукового призначення у найкрупніших містах». V Міжнародна науково-

- практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» 20-21 травня 2021, Харків, ХНУБА;
7. Сало В. В. «Історичні особливості освоєння підземного простору» VII Міжнародна науково-технічна конференція «Архітектура історичного Києва. Інформаційні технології», КНУБА, м. Київ, 26-27 жовтня 2021
 8. Сало В. В. «ПІДЗЕМНЕ МІСТО ЯК ВТІЛЕННЯ УТОПІЧНИХ ІДЕЙ СУЧАСНОСТІ» III Міжнародна науково-практична конференція «Філософія науки, техніки і архітектури в гуманістичному вимірі», КНУБА, Київ, 12-13 листопада, 2021;
 9. Сало В. В. «Принципи гармонізації архітектурно-просторового середовища підземних комплексів» BMC-2022 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2022", December 2022, Kyiv, Ukraine.
 10. Сало В.В. «Особливості функціонально-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів», програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму «Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика». Київ. 17 – 18 листопада 2022.
 11. Сало В.В. «Особливості містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів», МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ФОРУМ «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології», 15-16 листопада 2023р., КНУБА, Київ.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

12. Сало В. В. «Аналіз досвіду проектування підземних комплексів спеціального та наукового призначення». VI Науково-практична конференція «Теорія і практика формування розвитку дизайну архітектурного середовища» 21.04.2021, Київ, КНУБА, кафедра ДАС
13. Сало В.В. «Вплив факторів на архітектурно-середовищну організацію підземних науково-дослідних комплексів», VIII Науково-практична конференція «Теорія і

практика формування і розвитку дизайну архітектурного середовища: проблеми відновлення архітектурного і міського середовища в Україні».

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	8
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	14
Статті у наукових фахових виданнях України:	14
Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:.....	14
Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації: ..	15
ЗМІСТ	17
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК	19
ВСТУП	22
РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ФОРМУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ	36
1.1. Теоретичні передумови розвитку підземного простору	37
1.2. Історичний аналіз світового досвіду проектування підземних комплексів	53
1.3. Сучасні тенденції розвитку підземних науково-дослідних комплексів	76
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I	90
РОЗДІЛ II МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ ..	93
2.1. Загальна методика дослідження організації підземних науково-дослідних комплексів	93
.....	95
2.2. Метод оцінки впливу факторів на архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів	101
2.3. Класифікація підземних науково-дослідних комплексів	122
2.4. Архітектурно-планувальна організація підземних науково-дослідних комплексів	132

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II	145
РОЗДІЛ III ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ	
ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ	148
3.1. Містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів	148
3.2. Рекомендації щодо функціональної організації генерального плану території підземного науково-дослідного комплексу	156
<i>Експериментальне проектування.</i>	160
3.3. Типологічні особливості підземних науково-дослідних комплексів	165
<i>Експериментальне проектування.</i>	174
3.4. Принципи архітектурно-планувальної організації середовища підземних науково-дослідних комплексів	179
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III.....	190
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	193
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	201
ДОДАТКИ.....	222
ДОДАТОК А.....	223
ДОДАТОК Б.....	225
ДОДАТОК В.....	230
ДОДАТОК Г.....	235
ДОДАТОК Д.....	241

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

Астрофізика – розділ астрономії, що досліджує фізичні властивості та хімічний склад небесних об'єктів і міжзоряного середовища, а також процесів, що в них відбуваються. Основними напрямками теоретичних та експериментальних досліджень сучасної астрофізики є: елементарні частинки і поля, моделі будови Всесвіту і т.д. [162].

Глибокопідземні лабораторії (Deep underground laboratories – DULs) – підземні структури, що виникли в ХХ столітті. Здатні забезпечити низький радіоактивний фон, необхідний для дослідження найвищих енергетичних масштабів, яких неможливо досягти за допомогою прискорювачів, шляхом пошуку надзвичайно рідкісних явищ [9].

Комплексне освоєння підземного простору – це процес використання підземного простору з метою розвитку транспортної, соціальної, інженерної інфраструктури, який включає в себе будівництво підземних тунелів, станцій метрополітену, паркінгів, торгових центрів та інших об'єктів. *(Авторське визначення)*

Комплексне освоєння підземного простору – це процес освоєння підземного простору в контексті сталого розвитку міст та мегаполісів, який при плануванні підземного середовища враховує стратегічний розвиток наземної території. *(Авторське визначення)*

Космічне випромінювання – нешкідливе високоенергетичне випромінювання, що досягає поверхні Землі [36].

Матерія – це в широкому розумінні все те, що реально існує у Всесвіті, і що може бути виявлене людиною за допомогою органів відчуття або приладів. Матерія є об'єктивною реальністю, тобто вона існує незалежно від свідомості людини (суб'єкта) [168].

Нейтрино - стабільна електрично нейтральна елементарна частинка. Нейтрино, як відомо, не має ні електричного заряду, ні маси спокою. Саме тому воно дуже мало взаємодіє з матерією і здатне пронизувати її з швидкістю світла [142].

Підземний простір (Підземне середовище) – це простір під денною поверхнею, що використовується для розширення середовища проживання городян, реалізації пріоритетів еколого-економічного благополуччя та сталого розвитку, створення умов життєдіяльності людей в екстремальних обставинах [146].

Підземний науково-дослідний комплекс – комплекс з розвинутою підземною та наземною частинами, призначений для проведення експериментальних досліджень в певній науковій галузі. *(Авторське визначення)*

Підземна урбаністика – наука, галузь містобудування, що вивчає процеси використання та розвитку підземного простору мегаполісів [77].

Подвійний бета-розпад – являє собою радіоактивний розпад атомного ядра, який обумовлений слабкою взаємодією і призводить до зміни заряду ядра на дві одиниці [142].

Радіаційний фон - це радіоактивне випромінювання низького рівня, джерелом якого є космічні промені і радіоактивні речовини, які в природних умовах містяться в надрах Землі [165].

Сталий розвиток – економічне зростання, за якого ефективно розв'язуються найважливіші проблеми життєзабезпечення суспільства без виснаження, деградації і забруднення довкілля [166].

Стандартна модель (СМ) у фізиці елементарних частинок – це теоретична конструкція, що описує електромагнітну, слабку і сильну взаємодію всіх елементарних частинок [63].

CERN, Європейська організація з ядерних досліджень (ЦЕРН) – міжнародний дослідницький центр європейської спільноти, найбільша у світі лабораторія фізики високих енергій [2].

Сонячні нейтрино - нейтрино, які утворюються в ядрі Сонця під час термоядерних реакцій [165].

Темна матерія (або прихована маса) – матеріальна складова Всесвіту (маса), що не бере участі в електромагнітній та сильній взаємодіях, її присутність можна непрямо виявити за гравітаційною дією на видиму (світну) речовину [142].

Фізика – одна з основних природничих наук, яка досліджує загальні властивості матерії та явищ у ній, а також виявляє загальні закони, які керують цими явищами [162].

Фізика елементарних частинок (фізика високих енергій) – метою досліджень є з'ясування найбільш загальних фундаментальних закон природи, які лежать в основі усіх інших галузей природознавства, а також ініціюють розвиток нових напрямків науки [162].

Ядерна фізика – розділ фізики, котрий вивчає будову та властивості атомних ядер, механізми ядерних реакцій, зокрема радіоактивний розпад [165].

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Стрімке зростання великих міст в останні десятиліття є закономірним процесом, що передбачає ускладнення їх функціонально-просторової організації. В сучасних містах вже вичерпаний традиційний розвиток «вгору та вшир», а територіальні, транспортні, енергетичні, демографічні, екологічні та низку інших проблем, притаманних сучасним містам, можна вирішити завдяки комплексному освоєнню підземного простору. Активно розвивається підземне будівництво в найкрупніших містах України: Київ, Харків, Одеса, Дніпро, Львів. Однак, потенціал підземного простору використовується недостатньо, що пов'язане з низкою економічних, політичних та містобудівних чинників. Зведення підземних споруд на території українських населених пунктів є поодиноким, а взаємозв'язок між окремими спорудами та об'єктами на поверхні є недостатньо розвинутим, що не дозволяє говорити про комплексне освоєння підземного простору [147]. Перевагами освоєння підземного середовища є здатність забезпечити тривимірне вільне пересування містян, а також забезпечити доступ віддалених або щільно забудованих районів міського простору до матеріальних, водних та енергетичних ресурсів [147]. В сучасних умовах важливими перевагами комплексного освоєння підземного простору України є можливість розміщення об'єктів різного функціонального призначення, зокрема науково-дослідних споруд, об'єктів військової галузі та оборонної промисловості, що здатні сприяти безпеці громадян та розвитку зазначених галузей. Використання технологій, що застосовуються під час зведення та експлуатації підземних комплексів, зокрема науково-дослідних, здатні полегшити видобуток корисних копалин, значно зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Підземні комплекси науково-дослідного спрямування можуть бути використані для зберігання та утилізації токсичних відходів, відпрацьованого ядерного палива, убезпечуючи ефективне управління цими відходами та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище. Комплек-

кси цього типу можуть бути використані для вивчення та розробки технологій в оборонній промисловості, вдосконалення технологій розмінування, відпрацювання рятувальних операцій ДСНС, проведення експериментальних і лабораторних досліджень в галузях хімії, біології та медицини, а також сприяти відновленню ядерного потенціалу України.

З моменту здобуття Україною незалежності, наукова галузь, у тому числі галузь фізики, астрофізики, геології та біології, зазнала значних змін та багатьох викликів. Вони були обумовлені значними політичними, економічними та соціокультурними перетвореннями, котрих зазнавала Україна. На початку двадцять першого століття значно зріс відсоток участі вітчизняних вчених у міжнародних наукових проектах та програмах, що сприяло обміну знаннями та технологіями. В останні роки наукова галузь неодноразово стикалась з фінансовими та кадровими труднощами, що значно обмежує можливість проведення експериментальних досліджень в галузях фізики та астрофізики. Повномасштабне вторгнення росії на територію України створило лише додаткові перепони для стрімкого розвитку науки, руйнуючи науково-дослідницькі установи, інститути та заклади вищої освіти. Попри це, існує тенденція до подальшого розвитку наукової галузі України, розширення спектру діяльності науково-дослідних установ та експериментальних центрів.

Питання актуальності підземних науково-дослідних комплексів доцільно розглянути, перш за все, для експлуатації в галузі наукових досліджень в області фізики, астрофізики, геології, геофізики та біології. Підземні комплекси дають можливість досліджувати глибокі шари Землі, вивчаючи геологічні процеси. Експериментальні дослідження в галузях астрофізики елементарних частинок, що поєднує в собі фізику елементарних частинок, астрофізику та космологію, зазнали значного розвитку за останні 30 років. Підземні лабораторії є основною інфраструктурою, що присвячена астрофізиці елементарних частинок, а підземні експерименти дали перші чіткі докази

фізичним явищам, що виходить за межі Стандартної Моделі. Безнейтринний подвійний бета-розпад, пряме виявлення частинок темної матерії, розпад протона – все це чутливі та рідкісні процеси, котрі вимагають певних умов для їх проведення та спостереження за ними. Підземні науково-дослідні комплекси здатні забезпечити необхідні умови [105]. За підтримки міжнародних партнерів, зокрема Німеччини, в Україні планують створення чотирьох центрів передових досліджень, серед яких Центр передового дослідження квантових матеріалів GU-QuMat, де планують займатися пошуком нових квантових матеріалів для створення передових технологій. В Харкові збираються відкрити Центр передового дослідження плазмових технологій PLASMA-SPIN-ENERGY, у якому спільно з Інститутом мікроструктурної фізики імені Макса Планка (Мюнхен) працюватимуть над використанням плазмових технологій у виробництві спінтронних компонентів, які зокрема є основою для комп'ютерів наступного покоління [143].

Потреба забезпечення особливих умов є актуальною не лише в науково-дослідній галузі, але й у військовій. Підземні комплекси здатні забезпечити необхідні умови для зберігання відпрацьованого ядерного палива та стратегічного запасу ядерних боєголовок, що перебували на території України до 1994 р. З розпадом радянського союзу, на території України залишалось близько 2000 ядерних боєголовок міжконтинентальних балістичних ракет, крилатих ракет та ядерних бомб, а також тактичних ядерних зарядів. Політолог О. Смирнов доводить, що формально Україна була ядерною державою, не зважаючи на те, що рішення по застосуванню ядерної зброї могло прийматись лише на рівні Москви. Однак, при тому, що на території України вироблялись найпотужніші ядерні ракети, повноцінною ядерною державою назвати її було складно, оскільки повна інфраструктура для виробництва, випробовування та обслуговування ядерних боєголовок протягом усього терміну їх експлуатації, була відсутня [134]. Зважаючи на повномасштабне вторгнення Росії на територію України, регулярні погрози із застосуванням тактичної ядерної зброї, ядерний шантаж світових держав, а

також окупацію Запорізької атомної електростанції, питання відновлення ядерного потенціалу нашої держави є як ніколи актуальним та потребує проведення подальших досліджень в галузі ядерної фізики. Підземний науково-дослідний комплекс, зведений на території України, здатен забезпечити надтихе та надчисте, а також безпечне середовище для проведення даних експериментальних досліджень.

Однією з гострих проблем сучасної атомної енергетики, зокрема й в Україні, є проблема утилізації ядерних відходів – відпрацьованого ядерного палива. Згідно з оцінками МАГАТЕ (міжнародне агентство з атомної енергії), в світі накопичено близько 300 тис. тон відпрацьованого ядерного палива, а щорічно ці обсяги збільшуються на 10,5 тис. тон. Переробці підлягає усього третина. Завдання вирішити проблему відпрацювання ядерного палива стоїть перед усією світовою спільнотою, в тому числі й перед Україною, котра була вимушена експортувати сухе ядерне паливо на територію росії для його утилізації до 2021 року [136]. Таким чином, можна стверджувати, що підземний науково-дослідний комплекс є об'єктом потрійного призначення, який забезпечуватиме перспективний розвиток наукових галузей України, слугуватиме укриттям на час війни, а також буде науковим комплексом, що сприятиме відновленню ядерної зброї.

Обрана тема дослідження, зокрема вивчення підземних лабораторій фізики та астрофізики, що проводять дослідження в рамках програм Європейської організації з ядерних досліджень (ЦЕРН), базується на законодавчій складовій. Угоду між Україною та ЦЕРН було ратифіковано Верховною Радою України 2 вересня 2014 року. З 5 жовтня 2016 року Україна має статус асоційованого члена ЦЕРН, що в свою чергу надає унікальну можливість українським вченим брати участь у передових дослідженнях ЦЕРН та працювати у якості співробітників. Крім того, це значно збільшує доступність до проектів та освітніх програм, підвищує ефективність наукових розробок та сприяє підвищенню кваліфікації наукових співробітників. Угода укладена між Україною та ЦЕРН позитивно впливає на розвиток наукового потенціалу серед вітчизняних

вчених для проведення фундаментальних досліджень в галузях фізики та ядерної фізики, сприяє євроінтеграції держави до дослідницького простору Європейських країн [127].

При роботі над бакалаврським дипломним проектом «Астрономічний центр в Івано-Франківській області», захищеному на кафедрі Дизайну архітектурного середовища КНУБА (м. Київ, 2018 р.) з'явилися перші нароби, що стосувались дисциплін фізики та астрономії, були розроблені перші лабораторії фізики Сонця, фізики зірок, астрометрії. Також в проекті були розроблені перші підземні поверхи, що знаходились в гірському масиві. Вивчення теми підземної урбаністики продовжилось під час роботи над магістерським дипломним проектом «Принципи архітектурно-середовищної організації інопланетного багатофункціонального комплексу (на прикладі поселення на Марсі)», захищеного на «відмінно» на кафедрі Дизайну архітектурного середовища КНУБА (м. Київ, 2020 р.). В проекті більше детально були визначені характерні особливості підземних будівель та споруд, досліджено влаштування даних типів будівель на планеті Земля, розглянуті концептуальні проекти підземних багатофункціональних комплексів на Землі та баз на Марсі. Вивчені фізіологічні та психологічні аспекти перебування не лише в підземному просторі, але й в екстремальному середовищі іншої планети. Були поглиблені знання, що стосувались деяких аспектів життєзабезпечення в підземному просторі, розроблені архітектурно-планувальна та функціональна організація підземних лабораторних приміщень, житлових чарунок, а також наземної території, що знаходилась на поверхні Марсу.

Архітектурно-планувальна організація підземних науково-дослідних комплексів є довершеною структурою, котра вимагає комплексного і цілеспрямованого освоєння. Дослідження, що проводились вітчизняними та зарубіжними вченими, є дотичними до обраної теми та потребують подальшого розгляду та вдосконалення аспектів: містобудівних, архітектурно-планувальних, функціонально-планувальних, науково-дослідницьких, екологічних, технологічних, та низки інших важливих питань.

Теоретичною базою питань розвитку підземної урбаністики займалися вчені: Е. Рейнольдс [76,77], Р. Стерлінг [21,22,87,87], Д. Кармоді [21,21], В. Броер [17], Г. Гайко [38,121-124], Х. Адміраал [5-8], А. Корнаро [5-8], К. Б. Лебс [50], Н.Д. Панкратова [65,146,147], Р.М. Тригуб [172]. Особливості об'ємно-просторової та архітектурно-планувальної організації підземних споруд досліджені в роботах Х. Адміраала [5], А. Корнаро [6], П. Стоунза [89], Дж. Беснера [10]. Питанням розвитку підземного простору в Малайзії займались вчені: Нор Айся Джамаллудін, Хадіджа Хуссін [111], Фарах Зайн [111,112].

Л. фон дер Танн, С. Ріттер, С. Хейл, Дж. Ленгфорд та Ш. Салазар [103,104] зробили вагомий внесок у дослідженнях підземного простору, розглянувши підземний простір як комплексну систему сталого розвитку, стверджуючи, що більше уваги має бути приділено взаємозв'язкам наземного міського простору та підземним спорудам під ним. В напрямку досягнення цілей сталого розвитку шляхом освоєння підземного простору працювали також вчені Фанг-Ле Пенг, Йонг-Канг Сяо [69,74], Сохейл Сабрі, Бенам Атазадех, Аббас Раджабіфард, Х. Параскевопулу [67], Сяо Лі [58], Р. Заргаріан [113] Загалом питанням досягнення цілей сталого розвитку в містах та регіонах України займались Зінов'єва О.С.[128,129], Булах І.В. [19-20].

Серед українських науковців свій внесок в розвиток підземної урбаністики зробили С.В. Риндюк та М.А. Максименко [80], котрі досліджували розвиток та перетворення міського середовища в контексті освоєння підземного простору. Перспективи комплексного освоєння та розвитку підземного міського простору розглянуті в роботах Т.О. Ніщик [144], І.О. Савченко [39], Т.О. Матвійчук [39], К.С. Семенюк [161]. Праці Гайко Г.І. [39, 122-124] присвячені оцінці ризиків підземного будівництва, концепції розвитку підземного простору в умовах сталого розвитку великих міст. Історичний розвиток підземних споруд також окреслений в роботах Гайко Г.І. [125,126],

Л.М Коркушко, А.М. Плешкановської [133], Т.М. Апатенко [115]. Вивченням історичного розвитку підземних будівель та споруд займалися Г. Вільсдорф, Т. Мікось, Т. Бобровський.

Особливості типології об'єктів підземної урбаністики представлені в праці Є.О. Гайворонського [120], котрий зосередився на об'єктах Донецького регіону. В дисертаційній роботі В.О. Праслової [72,148, 149] окреслений історичний розвиток підземних торгівельно-розважальних комплексів, основні принципи та прийоми їх організації.

Структура сучасних підземних науково-дослідних комплексів наведена в роботах доктора Алдо Іанні, директора підземної лабораторії Канфранк. Оглядом технічних характеристик підземних лабораторних комплексів представлені в працях А. Беттіні [11-15], Е. Коцці [30], Л. Вотано [105], Ч. Цзяньпін [26,27], Ф. Пікемаля [71], Лі Цзяньмін [27], Джуліет Моралез [61], Хосе Мануеля Кармони [61]. Технічні характеристики, тривимірні моделі та характер експериментальних досліджень, що проводяться в підземних науково-дослідних комплексах представлені у звітах науковців та директорів даних комплексів, а також у звітах та презентаційних матеріалах Європейської організації з ядерних досліджень (CERN).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконується у межах наукової тематики кафедри Дизайну архітектурного середовища Київського національного університету будівництва і архітектури: «Проблеми і методи відновлення і розвитку архітектурно-містобудівного середовища в Україні» №0123U102032.

Робота спирається на низку нормативно-правових актів, що регулюють діяльність в сфері архітектури та містобудування: Закон України від 20.05.1999 № 687-XIV «Про архітектурну діяльність» [150], Закон України «Про Генеральну схему планування території України» від 7 лютого 2002 року N 3059-III [151], Закон України «Про

Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII [152].

Проведене дослідження виконане в рамках угоди між ООН та урядом України «UN-Habitat» [93] та Плану відновлення України, зокрема Проєкт Відновлення та модернізація наукової інфраструктури України спрямований на подолання не лише проблеми руйнування значної частини наукової інфраструктури, але й її модернізації до сучасних стандартів світової науки, що входить в проєкт розвитку системи освіти [153].

Дослідження також спирається на міжнародну кооперацію та стратегічну партнерську програму організації ACUUS (Associated research centers for the urban underground space) з програмою ООН UN-Habitat та меморандум, підписаний ними у 2014 році [4, 31, 101]. Дослідження виконане в рамках угоди підписаної Україною та Європейською організацією з ядерних досліджень (ЦЕРН) у 2016 році стосовно надання Україні статусу асоційованого члена в ЦЕРН [92, 94, 95 174].

Мета дослідження - визначення характерних особливостей архітектурно-планувальної організації, типологічних особливостей підземних науково-дослідних комплексів, розробка рекомендацій щодо організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні.

Задачі дослідження:

- проаналізувати існуючу термінологію та практичний досвід проектування підземних науково-дослідних комплексів;
- визначити основні тенденції проектування підземних науково-дослідних комплексів, спираючись на їх історичний розвиток та функціональні складові;
- виявити основні групи факторів, що впливають на архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів;

- визначити типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів;
- розробити класифікацію підземних науково-дослідних комплексів;
- розробити рекомендації щодо містобудівної організації території підземних науково-дослідних комплексів;
- визначити основні принципи архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів.

Об'єктом дослідження є підземні науково-дослідні комплекси.

Предметом наукового дослідження є типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів.

Межі дослідження охоплюють містобудівні, архітектурно-планувальні, науково-дослідницькі та безпекові аспекти організації підземних науково-дослідних комплексів. Часові межі – досліджено історичний розвиток підземних споруд, починаючи з найдавніших, відомих історії, споруд. Досліджено глибокопідземні лабораторії світу, що були зведені у XX-XXI століттях та ті, що проектуються або знаходяться на стадії розробки. Територіальні межі охоплюють країни Європи, Північну та Південну Америку, Китай, Південну Корею, Японію, Індію, Австралію, Україну. Науково-дослідницькі межі роботи передбачають вивчення та аналіз підземних лабораторій фізики, ядерної фізики, астрофізики та багатопрофільних глибокопідземних лабораторій.

Методи дослідження ґрунтуються на методі системного аналізу архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, до якого були включені загальнонаукові, міждисциплінарні та дисциплінарні архітектурні методи. Під час дослідження використовувались:

- метод аналізу та синтезу літературних джерел для виявлення теоретичних передумов проектування підземних науково-дослідних комплексів, історичного розвитку підземних будівель та споруд, порівняння вітчизняного та закордонного досвіду освоєння підземного простору;
- метод якісного і кількісного аналізу, та графоаналітичний метод застосовуються в роботі для виявлення особливостей функціонально-планувальної та містобудівної організації існуючих підземних науково-дослідних комплексів;
- концептуальний аналіз проектів підземних науково-дослідних комплексів дозволив проаналізувати та систематизувати особливості об'ємно-просторової організації підземних науково-дослідних комплексів;
- метод оцінки факторів впливу для визначення основних груп факторів, що впливають на містобудівну, об'ємно-просторову та архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів;
- метод функціонального аналізу та систематизації типологічних розробок використаний з метою визначення основних типів підземних науково-дослідних комплексів та особливостей їх системної організації;
- метод графічного та функціонального моделювання, експериментального проектування, ергономічний аналіз для визначення параметрів основних функціональних блоків, зв'язків між ними, загальну структуру підземних науково-дослідних комплексів та можливість їх подальшого розвитку в містобудівній одиниці.

Наукова новизна полягає у визначенні типологічних особливостей архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, що стало підґрунтям для отримання нових наукових результатів.

Вперше:

- сформовано три типи підземних науково-дослідних комплексів: фізики та ядерної фізики, астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарні комплекси;
- створено архітектурно-планувальну та функціональну моделі кожного з визначених типів з повним складом приміщень та зонуванням наземної та підземної територій;
- розроблені основні типи модулів (експериментальні, науково-дослідні, транспортні, допоміжні), що можуть бути адаптовані під інші функціональні потреби;
- запропоновано методичні рекомендації щодо містобудівної та архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів на території України;
- розроблено класифікацію підземних науково-дослідних комплексів за 8-ма критеріями: за розташуванням; за типом доступу; за глибиною; за об'ємом; за кількістю експериментальних залів; за цільовим призначенням; за композиційно-просторовою схемою; за факторами ризику;
- виведено основні принципи архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, якими доцільно керуватись при зведенні підземних споруд та комплексному освоєнні підземного простору.

Поглиблено:

- методика дослідження архітектурно-планувальної організації підземних споруд;

Розширено:

- результати теоретичних досліджень в галузі підземної урбаністики, зокрема в проектуванні підземних науково-дослідних комплексів;
- загальну класифікаційну систему підземних будівель і споруд.

Практичне значення результатів дослідження. Теоретичні нароби, визначені в ході дослідження (фактори впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів; класифікаційна система підземних комплексів; типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів; принципи організації комплексів даного типу), можуть бути впроваджені в подальшій розробці будівельних норм, технічно-проектній документації архітектурних студій та наукових інститутів, розробку концептуальних та реальних проектів підземних лабораторій, промислових, військових та спеціальних споруд. Практичні рекомендації щодо архітектурно-планувальної організації даних комплексів можуть бути запропоновані для впровадження в реальні проекти підземних науково-дослідних комплексів, підземних лабораторних, експериментальних приміщень, підземних оборонних комплексів, споруд спеціального призначення. Практична цінність дослідження полягає в можливості впровадження теоретичних та практичних результатів, отриманих в ході дослідження для міжнародних та українських об'єктів підземної урбаністики, зокрема сховищ та укриттів. Модульна система, що розроблена та втілена авторкою під час експериментального проектування на основі теоретичних результатів дослідження, може бути адаптована при розробці проектів підземних будівель та споруд різного функціонального призначення.

Також результати дослідження пропонуються до впровадження в навчальний процес, зокрема дисциплін «Архітектурне проектування» та «Концептуальне проектування», на окремих кафедрах профільних закладів вищої освіти. Окремі положення дисертаційного дослідження були впроваджені при розробці концептуального конкурсного проекту «Президентського університету» на ВДНГ, магістерського дипломного проекту студентки кафедри ДАС Кунь Софії Іванівни на тему «Принципи архітектурно-середовищної організації підземних вокзальних комплексів (на прикладі вокзалу в Київській області)». Результати дослідження можуть бути використані в проектній практиці архітектурних бюро, теоретичні положення дисертаційного дослідження

дження мають змогу стати основою для проектування та створення проектної документації, що підтверджено актом впровадження від ТОВ «АБК «Югма»» та КНП «Ірпінська центральна міська лікарня».

Особистий внесок здобувача. Теоретичні нароби та результати дисертаційного дослідження, що представлене до захисту, отримані авторкою особисто, що засвідчене публікаціями 5 одноосібних статей, 6 публікаціями тез науково-практичних конференцій. В ході дослідження здійснено 11 одноосібних публікацій (Додаток А).

Апробація результатів дослідження.

Результати проведеного дослідження були представлені на 8 науково-практичних конференціях: V Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» 20-21 травня 2021, Харків, ХНУБА; VI Науково-практична конференція «Теорія і практика формування розвитку дизайну архітектурного середовища» 21.04.2021, Київ, КНУБА, кафедра ДАС; VII Міжнародна науково-технічна конференція «Архітектура історичного Києва. Інформаційні технології», КНУБА, м. Київ, 26-27 жовтня 2021; III Міжнародна науково-практична конференція «Філософія науки, техніки і архітектури в гуманістичному вимірі», КНУБА, Київ, 12-13 листопада, 2021; BMC-2022 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2022", December 2022, Kyiv, Ukraine; Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика». Київ. 17 – 18 листопада 2022; VIII Науково-практична конференція «Теорія і практика формування і розвитку дизайну архітектурного середовища: проблеми відновлення архітектурного і міського середовища в Україні»; МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ФОРУМ «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології», 15-16 листопада 2023р., КНУБА, Київ.

Публікації. Результати дисертації були опубліковані в 11 друкованих працях, в тому числі: 5 статтях у фахових виданнях України, що належать до категорії «Б»; 6 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з: анотацій українською та англійською мовами; списку публікацій здобувачки за темою дослідження; термінологічного словника; вступу; 3 розділів з висновками по кожному розділу; загальних висновків по дисертаційній роботі; списку літературних джерел та 5 додатків. Загальний обсяг роботи – 254 сторінки, з яких основного тексту – 142 сторінок, рисунки - 37, список літературних джерел налічує 179 найменувань на 21 сторінці, 5 додатки представлені на 32 сторінках, в тому числі акти впровадження на 4 сторінках.

РОЗДІЛ І. АНАЛІЗ ДОСВІДУ ФОРМУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ

Процес комплексного освоєння підземного простору розпочався на межі ХІХ – ХХ століть з появою першого метрополітену в 1863 році в Лондоні та набув певних рис характерних для різних світових держав. Втім, історія використання підземного простору сягає часів до нашої ери та розпочинається з появи перших житлових осередків в печерах, аналогів сучасних складів і комор, погребальних камер та інженерних комунікацій.

Важливим поштовхом до комплексного освоєння підземного простору стала не лише поява першого метрополітену та стрімкий науково-технічний прогрес, а й Перша та Друга світові війни, що спонукали до розвитку підземних оборонних споруд та найпростіших укриттів, бункерів, підземних військових баз, командних пунктів, що отримали свій найбільший розвиток в період Холодної війни.

Наприкінці ХХ століття значний розвиток спостерігався в галузях фізики елементарних частинок, ядерної фізики та астрофізики, що спонукало до проведення перших підземних експериментальних досліджень та, власне, будівництва глибокопідземних лабораторних комплексів, що розвиваються та вдосконалюються й дотепер.

Мета першого розділу полягає в аналізі та систематизації існуючих наукових праць в галузі підземної урбаністики та суміжних наукових галузях, зокрема фізики та астрофізики; проведення огляду історичного освоєння підземного простору з часів до нашої ери та до сьогодення, виконання порівняльного аналізу світового довіду освоєння підземного простору та вітчизняного; аналіз формування глибокопідземних лабораторій фізики, астрофізики та мультидисциплінарних; виявлення сучасних тенденцій проектування підземних науково-дослідних комплексів та найбільш перспективних напрямків їх розвитку на території України.

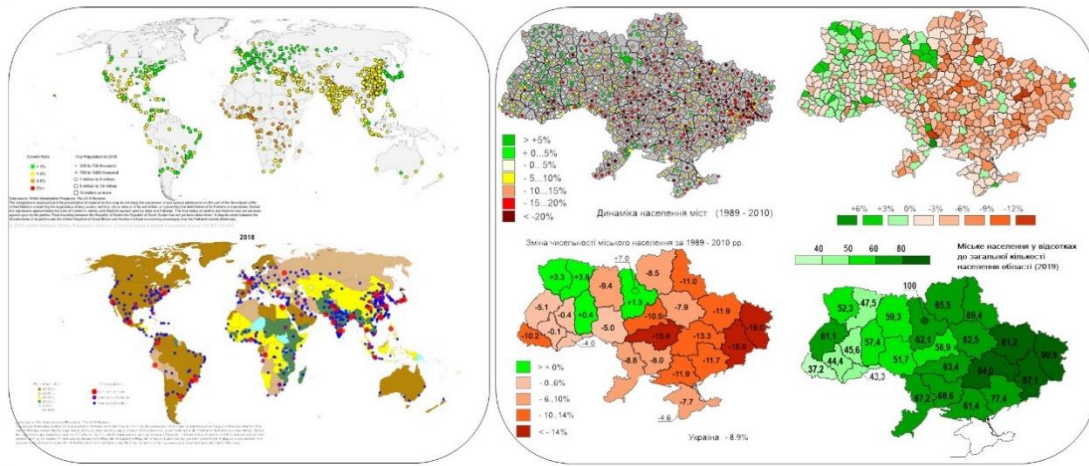
1.1. Теоретичні передумови розвитку підземного простору

Людство має довгу історію використання підземного простору. У глибокій давнині люди жили в печерах, використовуючи підземний простір переважно для побутових задач. Спираючись на досвід людства в минулому, а також на прогнози вчених, пов'язаних зі значним збільшенням людства, зокрема й міського населення, можна зробити висновок, що підземні споруди будуть необхідністю і в майбутньому (рис. 1.1) [97, 161]. Проблеми освоєння та раціонального використання підземних будівель та споруд набувають значної актуальності, про що свідчать концептуальні проекти вертикальних міст майбутнього, а також підземних житлових комплексів. Задля успішної реалізації цих концепцій необхідні не лише сучасні технологічні розробки, а й теоретичне обґрунтування комплексного освоєння підземного простору [161].

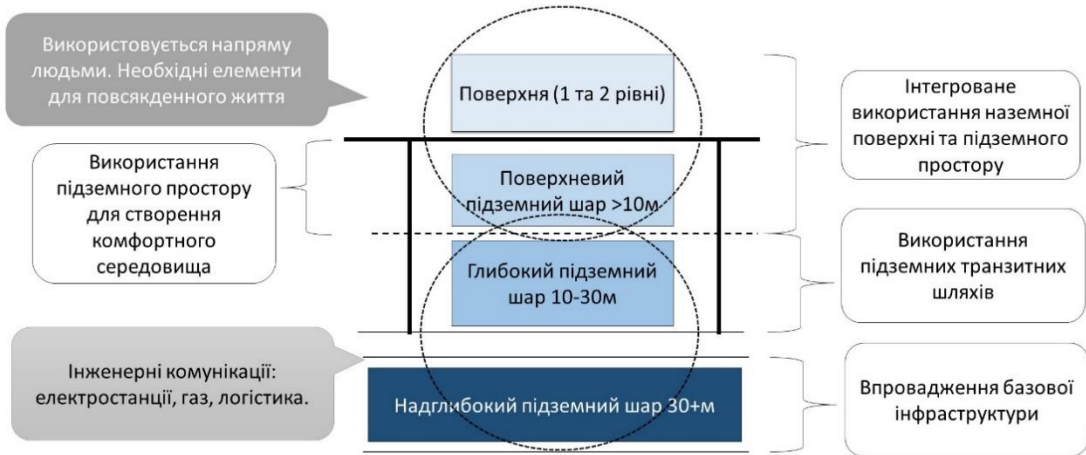
Невдала організація підземного простору часто має малий вплив або взагалі не має його на надземне середовище, оскільки нехтує суттєвим зв'язком між площиною землі, надземним і підземним просторами. В результаті цього упущення, тема освоєння підземного простору часто лишається поза увагою теорії та практики міського проектування. Однак ретельне та ефективне планування може забезпечити міцний зв'язок підземного простору з надземним середовищем. Таке планування має стати попередником розвитку підземного простору, забезпечуючи основу для покращення зв'язків між надземним і підземним просторами, та роблячи позитивний внесок у суспільне надбання, створюючи якісне надземне та підземне середовище [108].



Основні негативні процеси урбанізації та шляхи їх вирішення (за Матвійчук Т.О.)



Процеси урбанізації в Україні та світі



Схематична модель використання поверхні та підземного простору (за Ч. Жангом)

Рис.1.1.

Негативні процеси урбанізації (за Т.О. Матвійчук), шляхи їх вирішення та модель використання підземного простору (за Ч. Жангом)

Ключовим поняттям міського дизайну є «створення місць для людей» [23]. Це широке та всеосяжне значення передбачає охоплення різних принципів та визначень щодо бажаної фізичної та соціальної форми. Однак це єдине ключове поняття, яке є основою кожної архітектурної теорії [108].

Кількість літератури, що стосується підземної урбаністики в аспекті містобудування є відносно малою. Коли згадується підземний простір, його часто фрагментують і обговорюють як окремі простори, які розглядаються як допоміжні приміщення великих будівель або елементів міського дизайну. Це говорить про те, що існує прогалина в знаннях, де підземний простір не виходить за межі цих дещо елементарних атрибутів. Натомість фрагментоване та прагматичне ставлення до підземного середовища обмежує потенціал для активного внеску в поточну літературу та практику містобудування [108].

Аналізуючи праці вітчизняних та закордонних науковців, можна стверджувати, що питання розвитку підземної урбаністики, зокрема розвитку підземних науково-дослідницьких комплексів, потребує подальшого розгляду.

Концептуальні підходи до розвитку підземного простору розглянуті у наукових працях вчених Хана Адміраала та Антонії Корнаро. В книзі 'Underground spaces unveiled' представлений поглиблений огляд концепції розвитку підземного простору. Автори досліджують основні чинники, що визначають майбутнє сучасних міст, а також те, як ми можемо планувати та створювати їх, застосовуючи найкращі практики розвитку підземного простору, щоб забезпечити їх сталість. У дослідженні показані переваги використання підземного середовища та складнощі, що виникають при архітектурно-просторовій організації підземного середовища. Описані можливості проектування та наведені приклади світового рівня розвитку підземного простору та те, як процес активного освоєння підземного простору перетворюється на сталу урбанізацію [6]. Концептуальні підходи та рішення формування та розвитку підземного простору представлені в докторській дисертації Кеннета Б. Лебса 'The Architectural Use of

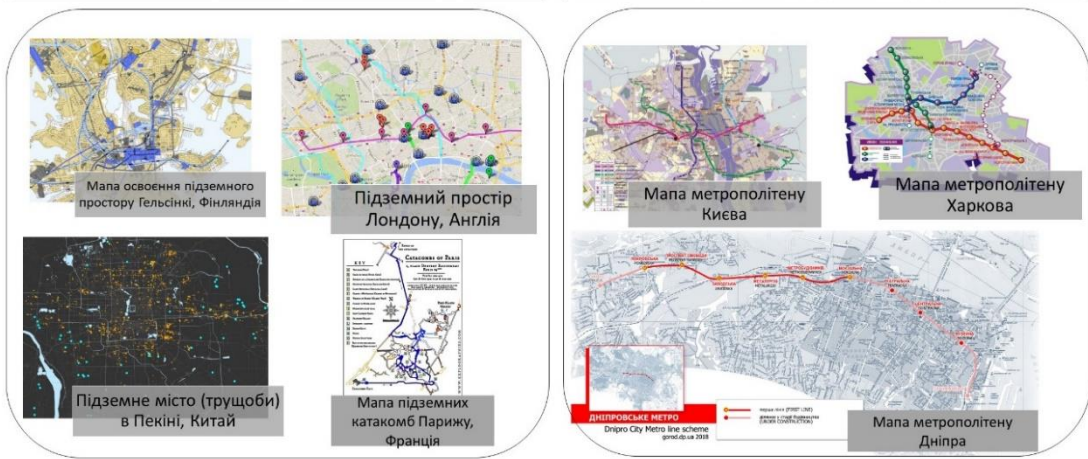
Underground Space: Issues & Applications'. Підземне середовище розглянуто в контексті навколишнього середовища. Приділена увага факторам, що впливають на архітектурно-просторову організацію підземного середовища. Описані переваги освоєння підземного середовища, які мають враховуватися на ранніх стадіях аналізу містобудівного середовища та концептуалізації подальших шляхів розвитку. Досліджено вплив освоєння підземного простору в контексті його впливу на навколишнє середовище та екологічного землекористування [50].

Особливості містобудівної організації підземного простору досліджені в роботах доктора технічних наук Гайко Г.І. У наукових статтях автор неодноразово порушує питання стратегічного планування підземного простору великих міст України та досліджує проблеми, що пов'язані з містобудівною організацією підземного простору. Крім цього, в праці «Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики» [124] автором розглянута концепція сталого розвитку при освоєнні підземного простору великих міст. Сформульовані та запропоновані пріоритетні задачі, вирішення яких сприятиме новій якості та масштабу розвитку підземної урбаністики мегаполісів, виявлені найбільш важливі аспекти проблематики, що гальмують планування та будівництво сучасного «підземного міста» [124].

Проблеми містобудівних рішень досліджені в праці 'Underground Urbanism' архітекторки Елізабет Рейнольдс. Проаналізовано урбаністичні теорії та праці, котрі часто не включали розділ підземної урбаністики, а отже не були досліджені на належному рівні. В роботі представлено фундаментальне переосмислення архітектурно-містобудівної ситуації мегаполісів з урахуванням архітектурно-просторової організації підземного середовища [77]. Проблеми планування міського середовища, зокрема й нераціональне та не ефективне використання підземного простору, розкриті в книзі данського архітектора Яна Гейла 'Cities for people' [34].

У науковій статті Лоретти фон дер Танн та Реймонда Стерлінга 'Systems approaches to urban underground space planning and management' [104] розглянуто літературу, що стосується містобудування підземного середовища (рис.1.2). Описано розвиток та принципи організації підземного середовища, а також представлено основні аспекти системного планування з подальшим обговоренням того, як це планування можна застосувати до підземної урбаністики. Досліджено та проаналізовано стратегії та інструменти, представлені в літературі в галузі організації підземного простору. Побудовані системні підходи для охоплення існуючих і нових складнощів під час планування підземного простору. Порушено проблематику розрізненних пропозицій щодо цілісних рішень залишаються [104].

Питання оптимізації підземного простору в умовах сталого розвитку порушене в науковому звіті Комітету підземної геоінженерії для сталого розвитку під керівництво Пола Х. Гілберта. У звіті зосереджена увага на внеску підземного простору в сталий розвиток, окреслені потреби в дослідницькому, освітньому, нормативному та соціальному середовищах, які здатні максимізувати цей внесок. Представлено загальні спостереження, висновки, потенційні дії та теми досліджень, що пов'язані із проектування та управлінням інтегрованих та міждисциплінарних інфраструктурних систем [97]. Запропоноване радикальне переосмислення інфраструктур задля забезпечення сталого підземного розвитку міст як стійких та інклюзивних структур в праці 'Underground spaces unveiled' [6]. Запропонована нова модель для визначення сталого міського підземного розвитку, що забезпечує цілісний метод оцінки для визначення стійкості або для планування та проектування простору задля досягнення стійкості. Використовуючи розглянуті раніше підходи, представлений чотириетапний підхід, який розглядає як минуле, теперішнє, так і майбутнє. Таким чином, він спрямований на міські підземні розробки, які зберігають минуле, покращують сьогодення та поважають майбутнє [6].



Стан освоєння підземного простору у великих містах світу та України

Місто (площа)	Висота над рівнем моря, м	Населення	Метрополітен		Об'єкти культурної спадщини (глибина, м)
			Протяжність, км / Рік	Кількість станцій	
Закордонний досвід					
Пекін, Китай (3497)	44	21,54 млн (2018)	807/1971	478	Підземне місто – 8 - 18 м
Лондон, Англія (1572)	11	8,982 млн (2019)	402/1863	272	Катакомби
Париж, Франція (105,4)	35	2,161 млн (2019)	226,9/1900	308	Катакомби – 20 м
Гельсінкі, Фінляндія (215)	17	631 695 (2016)	43/1982	30	Підземне місто – 50 м
Монреаль, Канада (485)	98	549 459 (2021)	69,2/1966	68	Підземне місто – 33 км
Шанхай, Китай (6340)	4	26,32 млн (2019)	802/1993	506	36
Вітчизняний досвід					
Київ (847,7)	96-203	2,884 млн (2017)	69,65/1960	52	Лаврські печери 5-15 м
Дніпро (405)	53-185	996 400 (2017)	7,8/1981	6	25-45 (до 70)
Харків (350)	94-205	1,419 млн (2017)	38,45/1975	30	До 26-35
Одеса (162,4)	2-62	993 120 (2017)	-	-	Катакомби – 100 м

Стан освоєння підземного простору у великих містах світу та України

Рис.1.2.

Стан освоєння підземного простору в найкрупніших містах світу та України

Проблема розвитку підземного простору, зокрема розвитку простору лікарень та госпіталів, в умовах сталого розвитку порушене в роботах доктора архітектури, професорки Булах І.В., зокрема в статті «Sustainable Hospital Architecture-Potential of Underground Spaces». Дослідження базуються на комплексному аналізі світових аналогів проектування лікарень та використання їх підземного простору. Розглянуті актуальні питання шляхів підвищення екологічності та енергоефективності даного типу будівель. Запропонований перспективний шлях інтеграції підземного простору медичних закладів: підземне розташування приміщень для пацієнтів, персоналу, влаштування технічного обладнання. Розглянуті й практичні прийоми, що направлені на збалансування відчуття «підземності» [19,20].

В монографії доктора технічних наук, професора М. М. Габреля «Просторова організація містобудівних систем» [119] обґрунтована нова парадигма просторової організації містобудівних систем на засадах загальнонаукової системної методології. Автором ведеться пошук у напрямку розробки міждисциплінарної теорії гармонійного розвитку містобудівних систем, яка забезпечувала б формулювання і розв'язання сучасних задач містобудування з урахуванням показників сталого розвитку суспільства. Автор окреслює можливості залучення методів системного аналізу, системотехніки, теорії прийняття рішень для вирішення завдань містобудівної проблематики [119]. Дослідженнями в аспектах застосування середовищного підходу до проектування займався доктор архітектури, професор Тімохін В.О. В статті «Перспективи і горизонти розвитку середовищного підходу» [166] розглянуті основні напрямки застосування середовищного підходу при проектуванні, а також основні принципи, котрі доцільно впроваджувати в проектній містобудівній практиці.

В статті «Освоєння підземного простору в концепції сталого розвитку великих міст» [123] Гайко Г.І. характеризує основні риси концепції сталого розвитку великих міст і їх відмінності від традиційних підходів містобудування. Розроблено концепти щодо перспектив і способів системного освоєння підземного простору мегаполісів у

середньо- та довгостроковій перспективі. Окреслено задачі системного розвитку підземної урбаністики мегаполісів у відповідності до концепції сталого розвитку.

В науковій роботі ‘Think Deep: Planning, development and use of underground space in cities’ під редакцією Хана Адміраала та Шіпри Наранг Сурі [5] досліджені особливості об’ємно–просторової організації підземних споруд. Досліджено та проаналізовано формування, розвиток та становлення підземного простору, зокрема метрополітену, на прикладі п’яти тематичних досліджень, проведених планувальниками, містобудівниками та архітекторами. Представлені можливості та перешкоди використання підземного простору, особливості просторової організації, що обмежена не лише геологією чи підземною екологією, але й законодавством [5]. У докторській дисертації Джоанни Козицької ‘Архітектурні проблеми проектування марсіанської бази як середовища існування в екстремальних умовах’ [53] досліджено особливості архітектурно-просторової організації комплексу в екстремальних умовах. Надані рекомендації з містобудівної та планувальної організації підземних просторів, їх наземної частини. Досліджено соціально-психологічні умови перебування людини в замкненому просторі, проаналізовано ергономічні особливості організації замкненого простору.

Історичний розвиток підземних споруд досліджений в працях Хана Адміраала. Автором представлені особливості історичного освоєння та розвитку підземного середовища. Досліджені фактори, що впливали на необхідність освоєння та формування підземного простору, особливості планування та розвиток окремих підземних мереж в одну пов’язану між собою мережу, котра має доповнити міську тканину на поверхні. Дослідженням історичного розвитку підземного будівництва присвячена книга «Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі (нариси з історії)» авторства Г. Гайка та В. Білецького [126]. Авторами описані видатні пам’ятки гірництва та історичні підземні споруди, розглянуто початки промислового видобування корисних копалин

і розвиток найбільш відомих гірничопромислових регіонів. Наведена історична, геологічна, гірничотехнічна інформація, показані приклади давніх гірничих технологій. Розповідається про сучасний стан, досвід відновлення та музеєфікації старих шахт і підземних споруд [126].

В статті ‘Underground space development key planning factors’ авторства Пітера Стоунза [89] розглянуто глобальний досвід проектування підземних будівель та споруд. Обговорено ключові фактори для вдосконалення практики підземного планування. Висвітлено такі питання, як ефективне визначення можливостей спільного розміщення, успішна інтеграція підземних і наземних розробок і вимоги до доступності даних, а також пояснюється їх вплив на планування підземного простору [89].

Зв’язок підземного простору із надземним та основні проблеми при розвитку та освоєння міського підземного простору наведені в магістерській дисертації архітекторки Еймі Райт [108]. Її дослідження припускає, що раціональна організація підземного простору може стати основою для його успішного дизайну в контексті міського середовища шляхом встановлення міцних фізичних зв’язків між підземним та наземним громадським простором.

Тенденції сучасного розвитку підземних будівель та споруд у великих містах окреслені в наукових статтях Гайко Г.І. «Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики» [124], «Визначення пріоритетів розвитку підземної інфраструктури мегаполісів на основі системної методології» [146]. Автором сформульовано комплекс пріоритетних задач, вирішення яких сприятиме новій якості та масштабу розвитку підземної урбаністики мегаполісів. Виявлені найбільш важливі аспекти проблематики, що гальмують планування та будівництво сучасного «підземного міста» й розкрито комплексний підхід до позитивної зміни існуючої ситуації.

Питання екологічних аспектів у використанні підземного простору порушено в окремих розділах книги ‘Underground spaces unveiled’ [6], зокрема зменшення ефекту

теплового острова в місті та забруднення атмосфери, а також збільшення кількості зелених громадських просторів для відпочинку, шляхом освоєння підземного простору. В статті «Техніко-економічні аспекти освоєння підземного простору» В.П. Пустовойтенка та О.Р. Гавриша розглянуті екологічні аспекти використання підземного простору, наведена оцінка економічної ефективності використання різних об'єктів розташованих в геологічному середовищі [154]. Основні принципи екологічності пост-індустріальних міст виведено в праці Хіларі Браун 'Next Generation Infrastructure: Principles for Post-industrial Public Works' [18]. Авторкою розглянуто інноваційні інфраструктурні проекти, як класичних, так і менш відомих проектів у Сполучених Штатах і в усьому світі, з наголосом на тому, як реформа місцевої політики може їх змінити. Наведено аргументи на користь екологічної інфраструктури та запропоновано структуру з п'яти ключових принципів, якими мають керуватися поточні та майбутні інвестиції в інфраструктуру. Наведено світові приклади, які втілюють кожен з принципів по черзі. Розглянуто стратегії реалізації п'яти принципів в перспективному розвитку сучасних міст [18].

Наукові праці, у яких порушене питання освоєння підземного простору належать також до розділів спелеології. Способи впливу на гірський масив, методологія проектування у гірському масиві та вивчення стану гірського масиву при зведенні підземної споруди окреслені в книзі Гайка Г. та В. Білецького «Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі (нариси з історії)» [126].

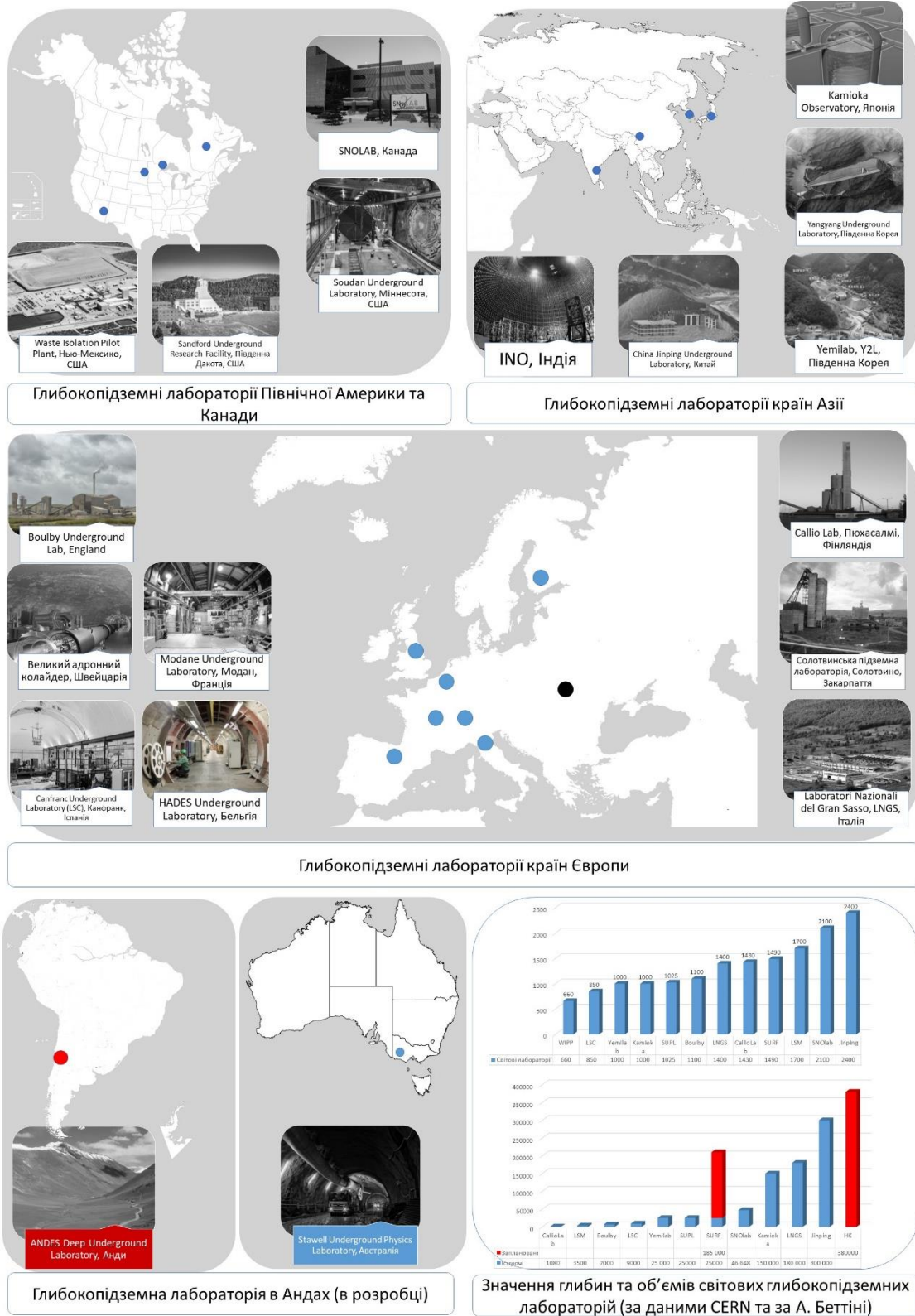


Рис. 1.3. Характеристики світових підземних лабораторій (за А. Беттіні)

Короткий огляд просторової та планувальної організації підземних лабораторій представлений в статті ‘Underground laboratories’ авторства А. Беттіні (рис. 1.3, 1.4) [13]. Описано найважливіші характеристики підземної лабораторії, наведено світові науково-дослідницькі об’єкти, які наразі діють або перебувають у розширеному статусі затвердження. У статті ‘Considerations on Underground Laboratories’ авторства Алдо Іанні [43] обговорюються деякі характеристики підземних лабораторій. Розглядається взаємодія між лабораторіями. В статті ‘Underground laboratories in Europe’ [30] коротко представлені основні характеристики, наукова діяльність та перспективи лабораторій в Європі. Стаття ‘New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas’ [14] зосереджена на майбутніх перспективах, огляді нових об’єктів, тих, які все ще перебувають у стадії розробки, і простору, що з’являється в старих лабораторіях. В статті «Передумови будівництва науково-дослідних комплексів за принципами сталого розвитку» аспірантки Рижкової К.Г. розглянуто основні аспекти сталого розвитку, які слід враховувати при будівництві чи реконструкції науково-дослідних комплексів [155]. Особливості архітектурного проектування будівель та споруд призначених для проведення досліджень в галузі медицини розглянуті в статті доктора архітектури, професорки Булах І.В. «The Architecture of Medical and Health Research Buildings and Complexes as The Basis of Sustainable Development» [20].

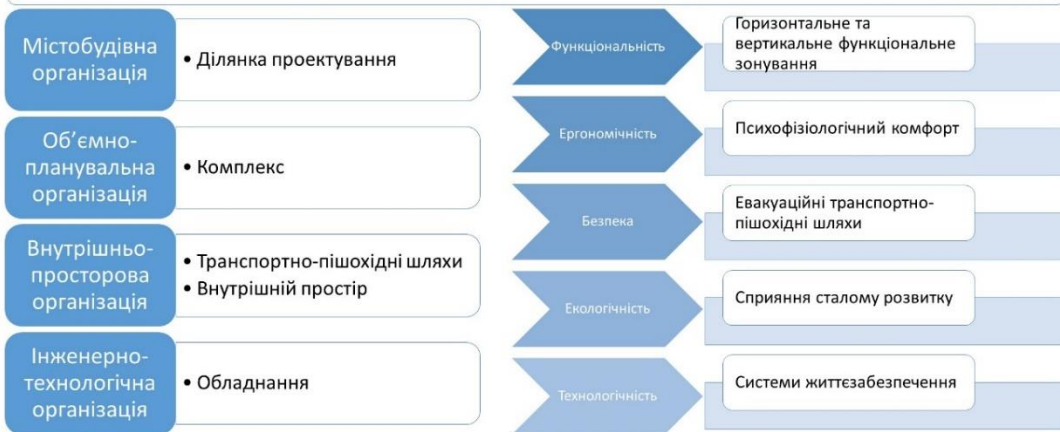
В статті ‘Ukraine experimental neutron source facility’ [35] описано концептуальний дизайн експериментальної установки з джерелом нейтронів. Об’єкт розроблений для виробництва медичних ізотопів, навчання молодих ядерників, підтримки української атомної промисловості, забезпечення можливостей для виконання реакторної фізики, дослідження матеріалів і фундаментальних наукових експериментів.

	SNOLab, Канада 2003	LNGS, Італія 1987	LSC, Іспанія 2010	BUL, Англія 1989	LSM, Франція 1982	CallioLab, Фінляндія 1995	SURF, США 2007	CJPL, Китай 2009	Катіока, Японія 1983	Y2L, Південна Корея 2003
Об'єм	30 000	180 000	10 000	7200	3500	1000	7160	300 000	150 000	5000
Глибина	2070	1400	850	1100	1700	1440	1500	2400	1000	700
Доступ	Вертикальний	Горизонтальний	Горизонтальний	Вертикальний	Горизонтальний	Вертикальний+ похилий	Вертикальний	Горизонтальний	Горизонтальний	Драйв-ін
Середня активність радону (Бк/м³)	130	80	100	<3	15	70	300	40	80	40

Технічні характеристики діючих світових глибокопідземних лабораторій

	Глибина	Доступ	Будівлі і споруди			Комунікації			Інші зони
			Житлова забудова	Комерційна забудова	Громадський простір	Інженерні	Транспортно-пішохідні	Паркінги	
Поверхня	-	Легкодоступні	Приватна та багатоквартирна забудова	Офісні приміщення, склади	Громадські будівлі і споруди	ЛЕП, газопостачання	Автошляхи, пішохідні шляхи, залізничні шляхи	Стоянки, паркінги	Парки, сквери, водойми, санітарна зона
Неглибокий шар	>10м		Підвали	Складські приміщення	Підвали/сховища	Трубопроводи, каналізаційні тунелі			
Глибокий шар	10-30 м	Доступні			ТРЦ	Підземні логістичні системи	Транспортно-пересадочні вузли	Паркінги	
Надглибокий шар	30-50 м	Ускладнений доступ			Станції метрополітену	Інфраструктура	Тунелі метрополітену		Промисловість
	50-100 м								
	100м +								

Структура та типове функціональне навантаження підземного простору



Задоволення потреб на всіх рівнях архітектурно-планувальної організації

Рис.1.4.

Технічні характеристики деяких світових глибокопідземних лабораторій

З новини від 25 червня 2022 року від Державної інспекції ядерного регулювання Україні відомо, що у результаті чергового обстрілу Харкова зі сторони російської федерації пошкоджень зазнала ядерна підкритична установка «Джерело нейтронів». За інформацією від експлуатуючої організації Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ), в результаті попереднього огляду майданчику встановлено факт нанесення додаткової шкоди будівлям та інфраструктурі промислового майданчику. Зокрема, було пошкоджено: північну стіну прибудови прискорювача до експериментальної зали установки; вентиляційні канали системи спеціальної вентиляції; вентиляційну трубу основної будівлі установки; систему охолодження клістронної галереї прискорювача; корпуси дизель-генераторів системи аварійного електроживлення; обшивку основної будівлі установки. Наразі ситуація на ЯПУ «Джерело нейтронів» така: ядерна установка переведена в глибокий підкритичний стан. Оперативний персонал контролює стан ЯПУ «Джерело нейтронів», продовжує роботу із усунення наслідків бойових дій та підтримання у працездатному стані обладнання ядерної установки. Однак, ця його робота ускладнена, а інколи й неможлива через небезпеку нових обстрілів майданчику. Зовнішнє електропостачання ЯПУ «Джерело нейтронів» відсутнє [156].

Проведений аналіз наукових праць світових та вітчизняних вчених дає змогу зробити висновок, що питання активного освоєння підземного простору, зокрема архітектурно-просторової та планувальної організації підземного середовища науково-дослідних комплексів, є достатньо актуальним в сьогоденні.

В Україні архітектурно-планувальна та містобудівна організація підземних науково-дослідних комплексів не є наразі поширеною практикою. Серед підземних науково-дослідних лабораторій можна відзначити лише окремі лабораторії при університетах, а також допоміжні підземні приміщення в науково-дослідних інститутах.

Серед основних документів, що окреслюють головні проблеми сучасного етапу розвитку та відтворюють головні вектори їх подолання на загальносвітовому рівні є

«Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року», прийнятий у вересні 2015 року на 70-й сесії Генеральної Асамблеї ООН, «Стратегічний план 2020-2023», прийнятий програмою ООН-Хабітат. Міжнародні організації, котрі порушують питання активного освоєння підземного простору: Associated research Centers for Urban Underground Space (ACUUS), UN-Habitat. ACUUS – це міжнародна неурядова асоціація, яка активно сприяє партнерству між усіма суб'єктами у сфері планування, управління, дослідження та використання міського підземного простору [4].

Програма ООН з населених пунктів (ООН-Хабітат) уповноважена Генеральною Асамблеєю ООН сприяти розвитку соціально та екологічно стійких міст. ООН-Хабітат є центром з усіх питань урбанізації та населених пунктів у системі ООН. ООН-Хабітат співпрацює з партнерами, щоб побудувати інклюзивні, безпечні, стійкі та стійкі міста та громади. ООН-Хабітат сприяє урбанізації як позитивній трансформаційній силі для людей і громад, зменшуючи нерівність, дискримінацію та бідність. 16 вересня 2014 року ООН-Хабітат і ACUUS підписали Меморандум про взаєморозуміння щодо підвищення обізнаності про найкращі практики сталого використання підземного простору для міського розвитку, зокрема для адекватного управління дренажем у містах, міського планування та рішень для стійкої мобільності [31,101].

Міжнародний дослідницький центр, Європейська організація з ядерних досліджень (ЦЕРН), є міжнародною організацією для проведення науково-дослідницьких робіт, що виходять за межі національних програм [92]. Україна набула статусу асоційованого члена ЦЕРН у 2016 році, що дало можливість вітчизняним вченим бути задіяними в проектах ЦЕРН [94, 95], зокрема: ALICE, CMS, LHCb на Великому адронному колайдері [94, 95].

В Україні з 2006 року в якості повноправного члена Світової системи даних (ССД) Міжнародної наукової ради (МНР) працює Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку (СЦД). СЦД-Україна зосереджено на міждисциплінарних

дослідженнях складних систем різної природи, зокрема в галузі наук про Землю, планетарної і космічної фізики та суміжних дисциплін [160].

Огляд наукових праць присвячених темі освоєння підземного простору показав, що актуальність даної теми зберігається й нині, розвивається та набуває нових аспектів. Все частіше науковці підіймають питання освоєння підземного простору не лише в якості концептуальних проєктів, але й в щоденній архітектурній теорії та практиці, в контексті містобудування та міського планування, зокрема й планування міст України. Вивчення нормативно-правових актів, складених резолюцій та підписаних меморандумів між Україною та міжнародними науковими інституціями, показало, що Україна залучена до низки важливих експериментальних досліджень в галузях фізики елементарних частинок, астрофізики та вивчення темної матерії, отже має високий потенціал для проведення самостійних досліджень в цих галузях. В ході попереднього огляду наукових інститутів, виявлено, що жодний поки що не здатен забезпечити необхідні умови для проведення зазначених експериментальних досліджень.

Проведений аналіз наукових робіт дозволяє стверджувати, що на даний час питання архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів потребує подальшого та більш глибокого вивчення, оскільки досить мала кількість авторів порушує дане питання. В сучасних реаліях програми відбудови та в рамках проєкту нацпрограми розвитку системи освіти, а також відновлення науково-дослідної галузі України, тема архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів є своєчасною та необхідною для подальшого вивчення.

1.2. Історичний аналіз світового досвіду проектування підземних комплексів

Люди шукали притулку в печерах із самого початку свого існування. Шукати притулку від ворожого середовища, будь то клімат чи ворожі племена, історично є основною причиною створення місць існування всередині пагорбів, гір або під поверхнею. До цього висновку привели всесвітні докази у формі печерних малюнків, хоча деякі заперечують це, враховуючи кочовий спосіб життя ранніх цивілізацій. Великі поселення в печероподібних структурах можна знайти в Туреччині (Каппадокія, зокрема Дерінкую), а також в Ірані (Кіш) і Тунісі (Магмата і Ченіні) [6]. Від посушливих пустель до полярних холодних регіонів, підземні житла забезпечують притулок від впливу сонця вітру, шторму та екстремальних коливань атмосферних температур, а також забезпечує теплову компенсацію сезонних змін температури [51]. Усе більше визнається цінність підземного простору для забудови, особливо в містах, де зростає потреба у створенні додаткового простору [89].

Виникнення підземних споруд було спричинене природними факторами, які утворили кратери та печери. Збільшення кількості цих споруд мало відповідати декільком вимогам, у тому числі релігійним віруванням (які вимагали поховальних храмів) або регулюванню клімату (наприклад житла Маттмати в Тунісі) або з метою захисту (наприклад, військові бази чи підземне місто Каппадокія). Продовження використання підземних споруд у сучасну епоху полягає або в тому, щоб не відставати від зростання населення, або для захисту від стихійних лих, або для збереження енергії на додаток до інженерної інфраструктури [97].

Зародження підземної архітектури розпочалося через виникнення природних печер в скелях або формування простору під поверхнею землі. На стадії стабільного розвитку підземні споруди, що були сформовані у печерах чи приховані під земною поверхнею, почали використовувати і для інших цілей, ніж житло, наприклад, видобуток корисних копалин, поклоніння та зберігання. Початок формування підземних міст

був закладений з першою потребою для переховування на випадок війни чи з виникненням нової релігії, котра потребувала власних підземних храмових комплексів. Або для переховування людей, тварин, знарядь праці та врожаю [97].

Підземні споруди, як історичні, так і сучасні, у всьому світі поділяються на три категорії. Конструкції з земляним насипом: шляхом ущільнення ґрунту утворюються зовнішні стіни, а стеля повністю покривається ґрунтом. Інакше кажучи, в цьому типі конструкцій ґрунтова маса дозується механічним способом, а отвори або порожнини утворюються в одній або кількох фасках. Скелясті споруди, захищені землею: тут споруди побудовані на схилах гори чи пагорба, а в сучасних та оптимізованих моделях вони орієнтовані на екватор, щоб використовувати сонячну енергію. У такому утворенні структура здатна поглинати максимум сонячної енергії. Цей тип вважається найцікавішим і незвичайним стилем архітектури. Значні порожнини висічені у вертикальній скелястій поверхні здатні слугувати житловими одиницями, гробницями тощо, що було досягнуто завдяки боротьбі людини з скелею з метою створення необхідного простору. У своїй давній формі все тіло споруди складалося з висіченої скелі без будь-яких інших будівельних матеріалів [50, 107]. Підземні споруди, що повністю знаходяться під землею: ці споруди викопані під землею, і для освітлення та кондиціонування повітря вони мають внутрішній дворик. Зазвичай вони будуються в районах з високим скупченням населення на рівнинній місцевості. До такого типу належать місто Матмата в Тунісі та підземні міста регіону Каппадокія в сучасній Туреччині [51, 108].

Поселення Матмата — це підземне село, розташоване в посушливій низині південного Тунісу. Декілька тисяч населення живуть у штучних печерах, прокладених у стінах розкопаних кратероподібних подвір'їв, які мають розміри від 20 до 30 футів у глибину та від 40 до 200 футів у діаметрі. Доступ до окремих одиниць здійснюється за допомогою цих дворів, які забезпечують функцію комунікації, а також оборонну ізоляцію одиниць від поверхні. Зони двору з'єднані з поверхнею похилими тунелями,

біля яких розташовані камери для зберігання та розміщення для тварин. Повідомляється, що житла лежать під землею щонайменше на 50 футів, головна мета яких полягає в тому, щоб уникнути надзвичайної спеки та сильних локальних штормів. Тип ґрунту - м'який пісковик [51].

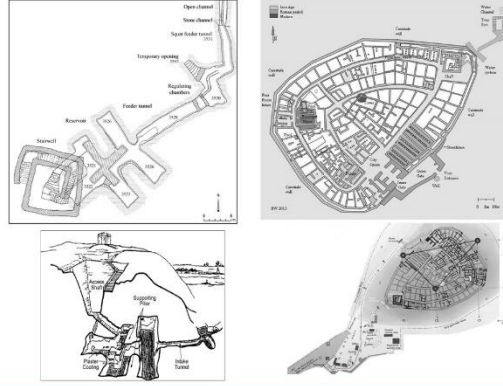
Поселення, знайдені у Бір-Абу-Матарі, належать до енеоліту періоду культури Беєр-Шеви (рис.1.5) і можуть бути розділені на 3 окремі етапи будівництва, кожен зі своєю особливою архітектурою: перші поселенці будували підземні житла. Пізніше, коли деякі з цих будівель зруйнувалися – їх стелі обвалилися – нові напівпідземні будівлі були збудовані над старими. На третьому та останньому етапі поселенці будували свої будівлі повністю над землею [75]. Першочергово будинки склалися з однієї великої прямокутної кімнати, у яку можна було потрапити через горизонтальний тунель. Незабаром у цих будинках рухнула стеля, і місцеві жителі почали будувати будинки іншого типу: у них зазвичай було кілька круглих або овальних кімнат, розміри яких склалися приблизно 3,5х4,0 метри. Ці будинки були вириті відносно глибоко під землею, залишаючи товстий шар ґрунту між стелею та землею зверху. Усі кімнати були сполучені тунелями, один з яких вів до вертикальної вхідної шахти, що вела на поверхню. У ці шахти іноді вбудовувалися сходи або вирізалися у стіні. Навколо таких вхідних колодязів жителі зазвичай викопували неглибоку яму, що слугувала двором. У більшості кімнат були вириті складські приміщення у підлогах, що жителі тримали критими великими кам'яними плитами. У багатьох кімнатах також були ями різних розмірів, деякі з них були оброблені штукатуркою, що вказує на те, що вони використовувалися для зберігання води. Більша частина поверхів цих кімнат була вкрита попелом, черепками кераміки, кістками тварин та іншим, що вказує на те, що ці споруди використовувалися як житлові приміщення. Будинки такого типу краще за все підходять для клімату, де дні жаркі, а ночі холодні, так як температура у них зберігається навіть протягом усього дня [48,75].

Етапи освоєння підземного простору



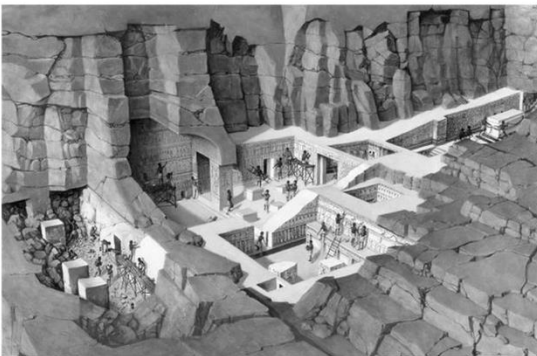
- Природні печери та пустоти скельних порід
- Виникають підземні та напівпідземні споруди техногенного походження
- З'являються перші підземні міста-дублюкати

Закордонний досвід

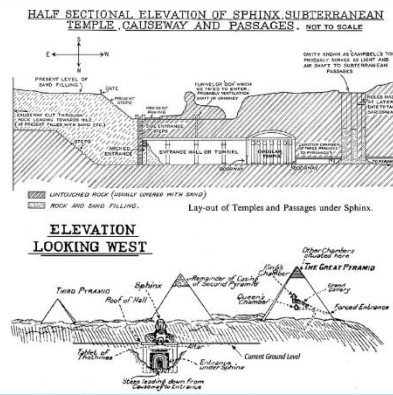


Підземне місто Беєр-Шева, Ізраїль

Зародження 40-30 – 4 тис. до н.е.



- Поява перших технологічних споруд та дренажних каналів, а також водосохища
- З'являються культові споруди (храми, погребальні камери)
- Виникають перші оборонні структури у вигляді підземних ходів

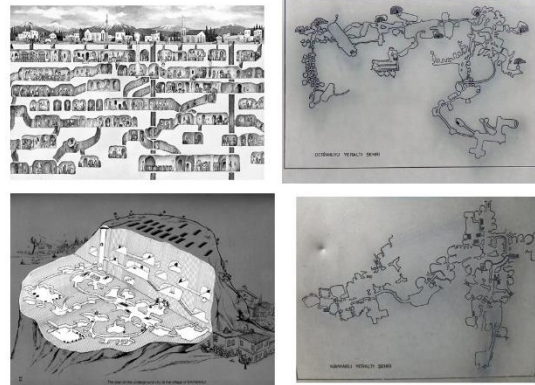


Підземні споруди Єгипту під Великим Сфінксом

Формування 4 тис. до н.е. – V ст. н.е.



- Активний розвиток фортифікаційного будівництва та прихованого водозабезпечення
- Активний розвиток підземних культових споруд, погребальних структур



Підземні міста Дерінкую та Каймакли, Туреччина

Розвиток V ст. – XI ст. н.е.

Рис.1.5.

Історичний розвиток підземного простору. Закордонний досвід.
Етапи: Зародження, Формування, Розвиток

Підземне житло мало свій розвиток і у Західній Україні. Печера Вертеба (рис. 1.6) біля села Бильче-Золоте у Тернопільській області є пам'яткою трипільської культури. Загальна довжина її ходів становить близько 8 км. Печера є природнім підземеллям, що залягає на глибині 10 м, а її стіни всіяні характерними для гіпсових печер кристалами. Вхід представляє собою воронку з кам'яними стінами у землі. Археологічні розкопки вказують на те, що печера активно використовувалася трипільцями ще у IV – III тис. до н.е. у епоху енеоліту [116, 164]. Серед пам'яток підземного будівництва, що збереглися в Україні, слід відзначити комплекс печер і гrotів Кам'яна могила поблизу Мелітополя, де зосереджені зразки наскельного живопису часів мезоліту й піктографічне письмо, датоване VI-III тис. до Р.Х. [125].

Отже, етап зародження підземного будівництва належить до епохи пізнього палеоліту та неоліту. Цей етап характеризується утворенням першого житла у природніх печерах та скельних порожнинах, виникненням перших підземних будівель та споруд техногенного походження та появою перших міст-дублікатів із горизонтальним входом та системою підземних приміщень, що поєднані між собою коридорами та галереями. Серед причин появи перших підземних та напівпідземних споруд варто виділити: - причини кліматичного характеру (посушливий та жаркий клімат); - загроза нападу ворожих кочових племен; - виникнення спільнот та общин, що були пов'язані спільною господарсько-побутовою діяльністю. Створення штучних печерних поселень та сакральних споруд отримало значний розвиток із появою металевих знарядь для руйнування гірських порід (з енеоліту) [121].

Історія стародавнього Єгипту була тісно пов'язана з характерним землекористуванням (рис. 1.5), з вивченням щорічних розливів Нілу, що забезпечувало можливість здійснення необхідних сільськогосподарських робіт в умовах жаркого і посушливого клімату. Виникала необхідність у раціональному використанні і розподілу поливної води, з виділенням ділянок для окремих землекористувачів, з риттям каналів і навіть з пристроєм підземних сховищ. В Абу Сімбелі були споруджені врізані в скелястий

схил анфілади приміщень, які склалися з серії підземних залів, орієнтованих таким чином, що тільки один раз в році, в день літнього сонцестояння, сонячні промені освітлювали встановлену в глибині статую божества. Спочатку підземний простір міст використовувалося головним чином для прокладки інженерних комунікацій (водопровід, каналізація та ін.) [115].

Історія будівництва гідротехнічних споруд в Месопотамії та на острові Крит бере свій початок з 2000 р. до нашої ери. В місті Єрусалим у 7 столітті до н.е. збудований Силоамський тунель, який переправляв воду до силоамського резервуару від джерела Гіхон. Довжина тунелю складала 533 метри, висота його перерізу – 3 м, а глибина закладання становила до 50 метрів. На території сучасної Греції, на острові Самос, в 6 ст. до н. е. був прокладений гідротехнічний тунель Евпалінів, довжина якого складала близько 1 км. В підшві тунелю було створено водогінний канал, чия глибина сягала до 9 м, а ширина становила 1 м. Наразі тунель є туристичним об'єктом. В Стародавньому Римі був зведений перший підземний акведук у 312 р. до н.е., а будівництва останнього припадає на 226 рік нашої ери [121].

Протяжність одинадцяти римських акведуків, більшість з котрих становили гідротехнічні тунелі та колектори, складала 560 км. Довжина одного з гідротехнічних тунелів, що пролягав через пагорби Монте-Сальвіано, перевищувала 5,5 км, висота його перерізу становила 6 м. Для гідравлічного видобутку корисних копалин в містах Римської імперії будували системи значно менших масштабів. Перші ж каналізаційні системи з'явилися у великих містах, а в самому Римі було зведено каналізаційну систему. Найбільш відомим стічним каналом став Клоака Максима. Довжина цього тунелю становила 320 м, а переріз – 3х4м. До 17 ст. Клоака Максима залишалася єдиним каналізаційним тунелем-колектором на території Європи [121].

Видимий сьогодні комплекс ступінчастої піраміди Джосера в Саккарі є реконструкцією, виконаною головним екскаватором, французьким архітектором Жаном-Філіппом Лаурером, який реконструював ключові частини комплексу на площі 15 га.

Проте реконструйовані стіни, колони та інші споруди суттєво відрізняються від самої ступінчастої піраміди, її архітектури та системи підземних тунелів. В основному комплекс ступінчастої піраміди, включаючи структуру Сухого рову та історію його дослідження, описано в роботах Набіда Свеліма. Загалом Сухий Рів — це кам'яна траншея, вирізана глибоко у вапняку, яка проходить навколо ділянки розміром приблизно 750×600 м. Ширина споруди становить близько 40 м над землею, але внутрішнє русло швидко звужується до 1,20 м. Оцінена глибина каналу коливалася від 5 до 26 метрів, що викликало сумніви, чи ця споруда є частиною тієї ж конструкції. Складні роботи, що проводилися в комплексі за допомогою каменерізів та майстрів, могли стосуватися лише багаторівневих систем галерей та центрального валу, площа котрого складала 7 м², а глибина – 28 м. За якістю конструкції цей вал суттєво відрізняється від інших валів, що тягнуться з численних підземних бокових галерей [80].

Катакомби Ком Ель-Шугаф розташовані в районі Кармуз на південний захід від Александрії, неподалік від так званого стовпа Помпея, на південному схилі пагорба. Катакомби, швидше за все, спочатку були приватною гробницею, а потім були перетворені на громадське кладовище. Вони складаються з 3 рівнів, висічених у скелі, сходів, ротонди, триклініуму або банкетного залу, вестибюлю, передпокою та похоронної камери з трьома заглибленнями, де в кожному заглибленні знаходиться саркофаг. Катакомби також містять велику кількість лукулів або жолобів, вирізаних у скельній основі [41].

На території від південно-східного Прикарпаття до Дніпра трипільці (VI-III тис. до Р.Х) займалися видобутком глини для виготовлення будівельних матеріалів і керамічного посуду. Пластові родовища були розроблені у верхів'ях Дністра та на Волині. Згідно з археологічними реконструкціями, для виїмки покладів кременю проводилися горизонтальні виробки, а для видобутку конкрецій – вертикальні виробки у вигляді котлованів або стовбурів шахтного типу [126].

Період формування підземних будівель та споруд окреслюється рамками 4 тис. до н.е. – V ст. н.е.. Даний період характеризує поява культових споруд (храми, погребальні камери), виникнення багатопверхових погребальних структур, поява перших технологічних споруд та дренажних каналів, а також водосховищ, виникнення перших оборонних структур у вигляді підземних ходів. Найбільш поширеним формування підземних споруд на той час було на території Древнього Єгипту, Месопотамії, Грузії. Вітчизняний досвід формування підземного будівництва на той час обмежується створенням рукотворних склепів під курганами, горизонтальними та вертикальними виробками для видобутку сировини.

Активний розвиток підземного будівництва спостерігається у період Середньовіччя (V – XI ст. н.е.). Для цього періоду характерне будівництво не тільки культових та погребальних споруд із кам'яними конструкціями, але й будівництво потужних кріпосних стін, укріплених замків і монастирів з розвиненими підземними приміщеннями-сховищами [131].

У поселенні Мазикой (Мазі), розташованому в 20 кілометрах на південь від Невшехіра, є кілька комплексів «підземних міст». Загальна протяжність підземного комплексу Мазі-1 становить близько 550 метрів. Він складається з більш ніж 60 приміщень, з'єднаних горизонтальними і похилими переходами, 15 колодязів, численних дверних прорізів і взаємозв'язків, що утворюють складний багаторівневий лабіринт. Весь комплекс складається з підсобних і житлових приміщень, з'єднаних між собою під час реконструкції в підземне укриття. Він створювався не за єдиним планом. Структура його підземного простору протягом тривалого часу змінювалася до наших днів, тому кілька самостійних порожнин різного призначення були з'єднані між собою. Можна припустити, що етап максимального розвитку Мазі-1 припав на період з початку XIII до середини XV століть [110].

Підземні комплекси на території сучасної Туреччини були виявлені у XX ст. Одним з таких комплексів є підземний комплекс Дерінкуйю, що був зведений у III ст.

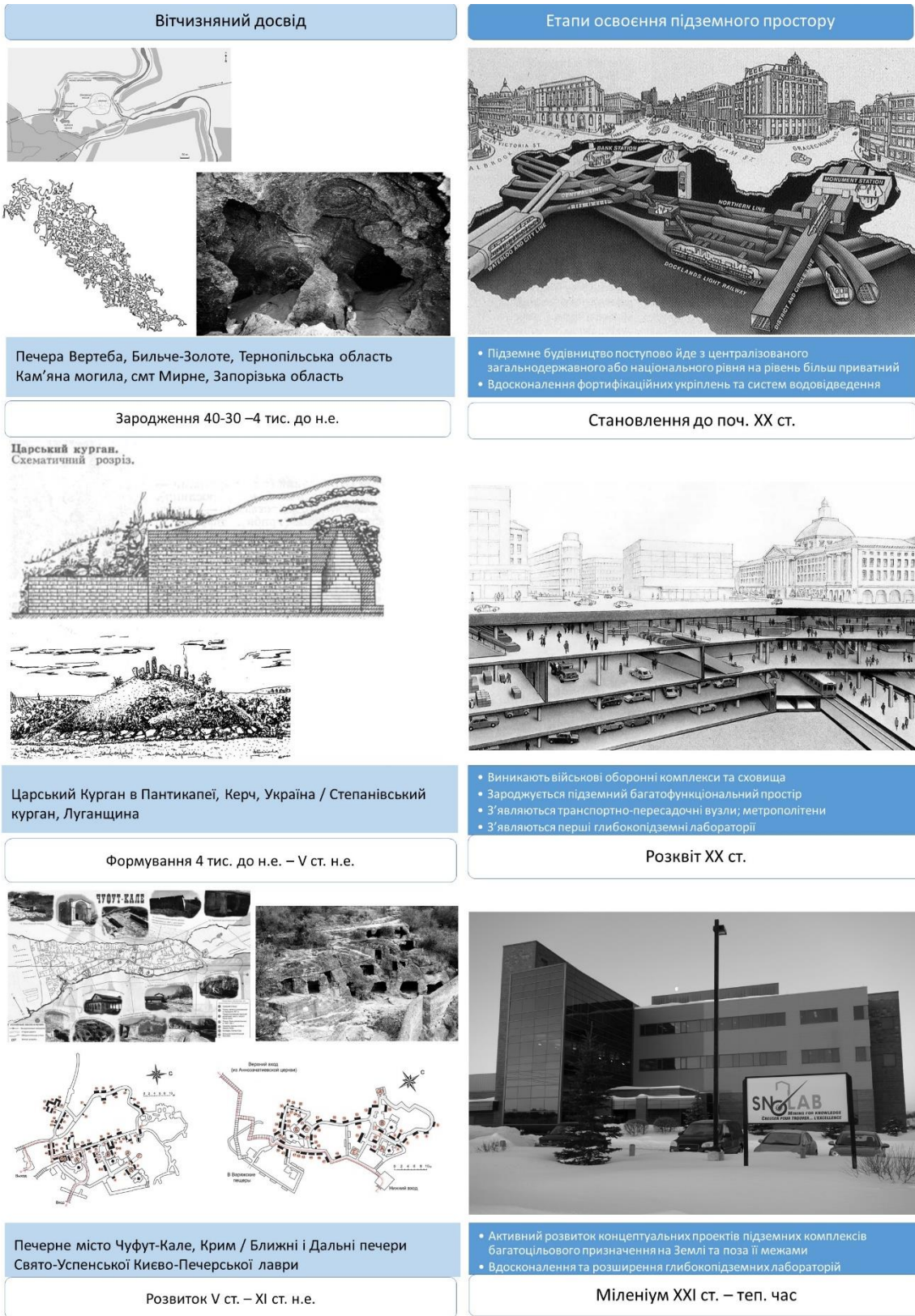
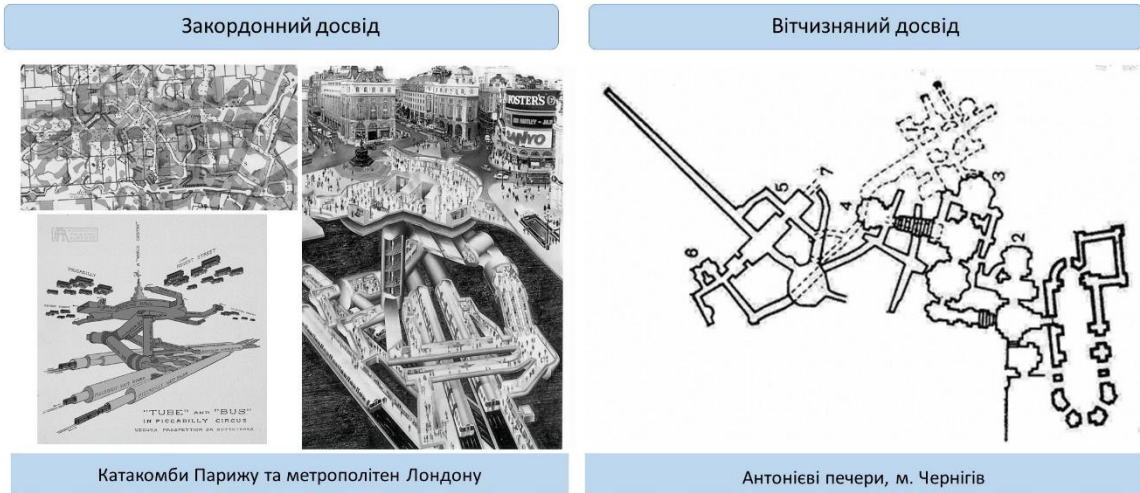


Рис. 1.6. *Історичний розвиток підземного простору. Вітчизняний досвід*

до н.е. Неподалік від с. Богаскале, було виявлено підземне поселення під с. Каймакли, що датують I ст. до н.е. Входи в місто заходяться під житловими будинками на поверхні. Згідно з дослідженнями, перший підземний поверх мав площу близько 4 км², а глибина найглибшої шахти сягала 85 м (рис. 1.5) [121].

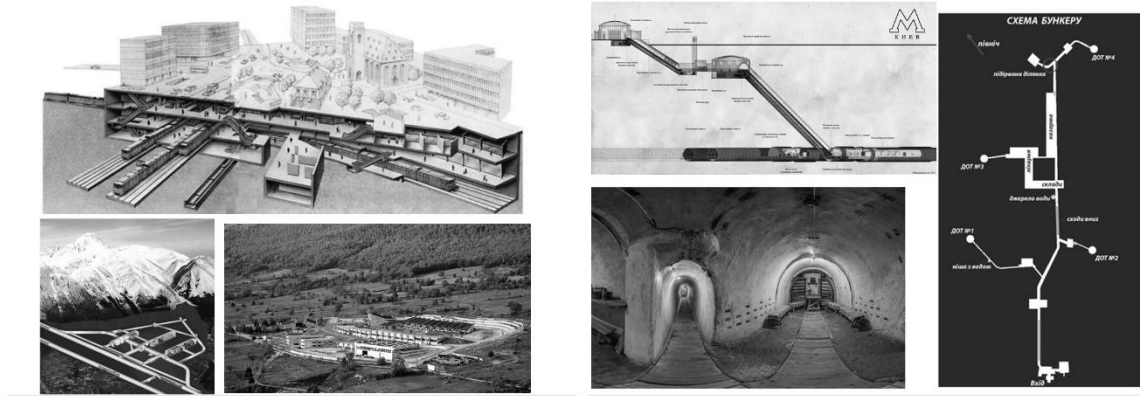
Серед визначних пам'яток підземного будівництва варто відзначити печерні міста Криму. Вони вражають своєю масштабністю гірничих робіт та оригінальністю інженерних рішень. Будування камер в гірських масивах Криму є традицією, що не переривалася з I тис. до Р.Х. В середньовіччі на місті давніх споруд виникли підземні міста, фортеці та монастирі [121]. Серед печерних міст Криму особливої уваги заслуговує підземне місто Чуфут-Кале (рис.1.6), що виникло приблизно в V-VI ст. н.е. у вигляді укріпленого поселення на межі візантійських володінь. В місті розташовані культові споруди й місця поклоніння трьох конфесій [170]. Печерна система міста налічує 167 приміщень, з яких 23 розташовані на мисі Бурунчак, 60 – у Старому місті, 35 – із зовнішньої сторони Південних воріт, а 49 – у Новому місті [141]. У західній, найдавнішій його частині збереглися численні вирубані в печерах господарські приміщення, руїни окремих мечеті і мавзолею дочки золотоординського хана Тохтамиша Джаникеханом 1437 року забудови. Також добре збереглися дві кенаси і одна житлова садиба, що складається з двох будинків. У східній частині міста знаходилося безліч печерних житлових будинків [125]. В період Середньовіччя появу та поширення печер на Лівобережжі України доцільно пов'язати із традицією поклоніння святим мощам. Постійна циркуляція повітря, стала температура та низька вологість сприяли природній муміфікації останків ченців. Найбільш відомими печерами, що слугували місцем природньої муміфікації є «Ближні» та «Дальні» печери Києво-Печерської Лаври (рис.1.6) [135]. «Дальні» печери розташовані всередині дальнього пагорбу на правому березі Дніпра та слугували місцем першого поселення ченців. Перша монастирська церква Різдва Богородиці була підземною [173].



Катакомби Парижу та метрополітен Лондону

Антонієві печери, м. Чернівці

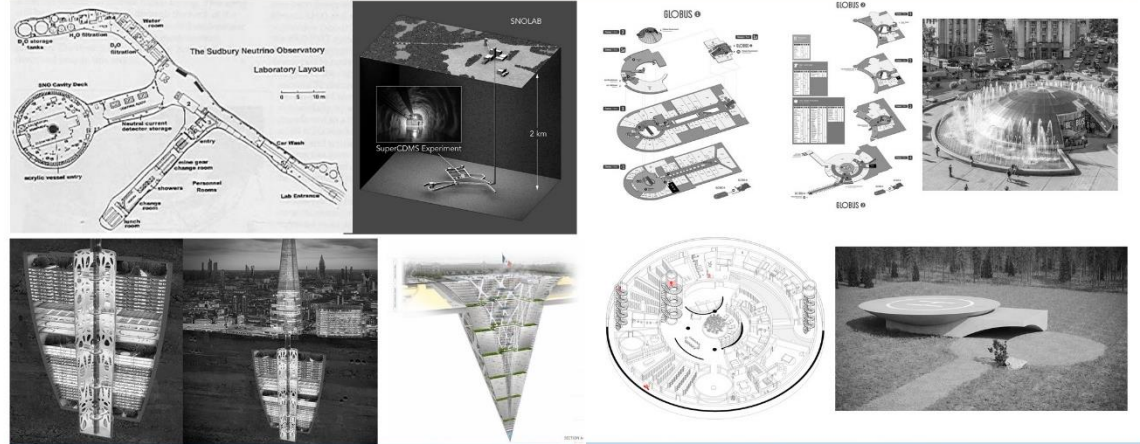
Становлення до поч. XX ст.



Комплекс підземних споруд на площі Гауптвахте, Німеччина / Глибокопідземна лабораторія Гран Сассо, Італія

Київський метрополітен станція «Арсенальна»/Бункер часів Другої Світової війни по Лінії Арпада, с. Грабівниця, Закарпаття

Розквіт XX ст.



Глибокопідземна лабораторія SNOLab, Канада / Концептуальні проекти вертикальних хмарочосів

ТРЦ «Глобус», м. Київ / Underground House Plan B, концептпроект індивідуального житла, 2020, Makhno Architects

Міленіум XXI ст. – теп. час

Рис. 1.7. *Історичний розвиток підземного простору. Закордонний та вітчизняний досвід на етапах Становлення, Розквіту, Міленіуму*

Спираючись на проведений історичний аналіз, можна стверджувати, що етап активного розвитку підземного будівництва припадає на V ст. – XI ст. н.е. Середньовічна архітектура підземного простору характеризується активним розвитком фортифікаційного будівництва та прихованого водозабезпечення, створення підземних міст-притулків, розвитком протифортифікаційного будівництва (підземні проходи та галереї), активним розвитком підземних культових споруд, погребальних структур та активним освоєнням підземних міст-дублікатів.

Свого становлення, як невід’ємної частини містобудування, підземна урбаністика досягла у період нового часу – XII – кінець XIX ст. н.е. Протягом цього період вдосконалюються фортифікаційні підземні споруди, а також системи водовідведення, котрими мали бути забезпечені підземні укриття та сховища. Будівництво печерних монастирів, що розпочалося в Україні у великокнязівську добу, вдосконалюється та розвивається. На Слобожанщині процес будівництва підземель найімовірніше починається одночасно з будівництвом фортець. У XVII ст. міста Слобожанщини піддавалися нападам татар, тому будівництво потаємних виходів з міста та захищених колодязів було необхідним. Печерні монастирі на Правобережжі відомі з початком XV ст. Протягом другої половини XVII ст. поширення набуває процес відновлення будівництва печерних монастирів на території Лівобережної України. В цей період також відбувається активна відбудова Антонієвих печер (рис.1.7) в Іллінському монастирі та печер Єлецького монастиря в Чернігові. Характерною особливістю монастирських печер був один прямий прохід до води, що розташовувався у церкві або схилі яру чи гори. Прохід також міг вести за межі укріплень, а печери здебільшого були глухими та мали один вхід і систему галерей. Печери згодом розширювалися, у їх стінах з’являлися ніші-келії та невеликих розмірів підземні храми. Підземелля виконували дві функції: слугували келіями для ченців-печерників; слугували сховищем у разі нападу татар [135]. Досвід будівництва підземних водних тунелів, призначених для транспортування вантажів і товарів, має місто Кам’янець-Подільський [121].

Для країн Європи на той час характерним був активний розвиток гідротехнічних споруд та транспортних тунелів. У XVII ст. новий етап зведення транспортних тунелів пов'язують із застосуванням перших вибухових робіт, що проводилися для гірничих виробок. Першою письмовою згадкою є рудник Банська Штявниця, 1627 рік. Будівництво судноплавних тунелів було розпочате з метою розвитку систем річкового транспорту. Масштабне спорудження тунелів розпочалося у Франції в 1679 році за допомогою вибухових робіт. Один з таких тунелів, Малпаський тунель, сполучав р. Гаронну із Середземним морем та мав довжину 165 м, а висоту перерізу – 8м. Загальна чисельність тунелів призначених для судноплавства сягала 40 у Франції і 60 в Англії. Частина з цих тунелів забезпечувала транспортування вугілля з шахт. Найдовшим тунелем є тунель Харкестль неподалік м. Манчестер, довжиною 2 632 м, зведений у 1769 році [121].

З 1825 по 1843 р.р. відбувалося прокладення Тунелю під р. Темзою в Лондоні. Відкрившись у якості пішохідного тунелю, у 1869 його перетворили на залізничний тунель, що наразі є частиною надземної мережі Лондона. Збудована в проміжку 1859 та 1865 років, каналізаційна система об'єднала кілька «втрачених» підземних річок в Лондоні та й досі обслуговує сучасне місто. Друга половина XIX ст. стала часом великих інженерних проектів – перша підземні лінія Лондонської залізниці була відкрита у 1863 році (рис. 1.7) [77]. Кротонський акведук, збудований у 1837 році, мав сполучати річку Кротон та центр Нью-Йорку через мережу підземних тунелів, тим самим забезпечуючи місцевих жителів прісною водою. Опалення та електроенергія й досі постачаються через підземну мережу трубопроводів, що була започаткована ще у 1882 році [77]. Ідея створення так званого «ідеального міста» XVI сторіччя належала художнику та винахіднику Леонардо да Вінчі. «Обслуговуючий рух», в тому числі «підвальне» складське та човнове господарство мало би здійснюватися в підземному рівні, в той час, як «рух сеньйорів» відбувався б наземним рівнем, спеціальними пі-

шохідними містками та площами [133] В період XII – XIX століть своє оборонне значення втрачають фортеці старого типу, нові укріплення обладнуються прихованими підземними тунелями, активно розвивається будівництво гідротехнічних споруд, метрополітену та залізниці, зводяться та обладнуються підземні пішохідні тунелі, розвивається підземний простір культових та релігійних споруд.

Лише на початку 1900-х років в літературі почали з'являтися перші ідеї архітекторів, містобудівників та інженерів на рахунок використання міського підземного простору. У 1903 році французьким архітектором Юджином Генардом були запропоновані концепції багаторівневих вулиць міста та будівель прилеглих до них. Інженер Джордж С. Вебстер у 1914 році виступав за необхідність більш узгодженого планування підземного простору міста [104]. Першу організацію з дослідження проблем підземної урбаністики «GECUS» було започатковано у 1933 році французьким архітектором Едуардом Утюдженом. Також в цей час були розроблені одні з перших концептуальних рішень розвитку «підземного міста» [121]. Тож, доцільно сказати, що у XX столітті підземне будівництво досягло свого розквіту. Поштовх для цього дали також і мережі метрополітенів, що були прокладені в XIX ст. у найкрупніших містах Європи та Північної Америки [121]. Перший у світі підземний паркінг під міською площею був споруджений у 1939 році в м. Кардіффі, США, що одночасно слугував сховищем для міських жителів на випадок надзвичайних ситуацій. В Парижі спорудженням сорока одного підземного паркінгу у короткі терміни вдалося забезпечити системне освоєння підземного простору, при цьому зберігаючи автентичність історичного архітектурного простору середмістя [121, 133]. Архітектором Вінсентом Поле у 1957 році була запропонована нова концепція «багаторівневого, взаємопов'язаного міста» під час проектування площі Віль Марі в Монреалі, Канада. В підземному просторі були зосереджені основні функції, метою котрих було подвоїти та потроїти використання одних і тих самих ділянок землі в центрі міста за рахунок кількох рівнів під та над землею. Понте є тим, хто ініціював і спланував Підземне місто Монреаля [8].

Більш широкий інтерес до можливостей освоєння підземного простору виник під час Першої та Другої світових воєн, а також у період 60-х – 70-х роках ХХ століття. Він був викликаний потребою забезпечення сховищами міського населення, а також зведенням оборонних укріплень, зокрема бункерів та підземних тунелів. Починаючи з 1940 року в США починають активне використання покинутих гірських виробок у якості холодильних камер для тривалого зберігання продуктів.

В ході вивчення та аналізу досвіду масштабних подій Першої світової війни на території колишньої російської імперії, низки інших воєн на різних континентах, були переглянуті форми та види оборонних і захисних споруд. На заміну великим фортеця, що були призначені для кругової оборони, мала прийти розвинута схема опорних пунктів, складена з окремих вогневих точок, а також сховищ та спостережних пунктів. Вони мали бути пов'язані між собою щільною мережею траншей та ходів сполучення [145]. Одними з підземних оборонних споруд є споруди Київського укріпрайону, що будувався протягом 1929-1935 років (рис.1.7). Частина його дотів на півдні були вписані у залишки «Змієвого валу». Найкрупнішою та найскладнішою інженерною спорудою КиУР був підземний командний пункт глибиною 65 метрів, збудований в Святошино. Було збудовано також 4 доти типу «Міна», що становили собою групу казематів, котрі сполучалися між собою підземними галереями. Одним з таких дотів є дот №205, що мав 5 кулеметних казематів, які були вписані в пагорб та з'єднувалися між собою складною системою підземних ходів. Дот №211, що знаходиться біля Одеської траси, був вписаний у пагорб. Основний та запасний виходи сполучалися між собою підземними галереями довжиною понад 100 метрів. Галереї також використовувалися у якості сховищ, складських приміщень та приміщень для встановлення допоміжного устаткування [132]. В с. Верхня Грабівниця на Воловеччині, неподалік Верецького перевалу, знаходиться найбільший підземний бункер на території України з часів Другої світової війни. Розташований на Лінії Арпада протяжністю 600 км, 300 з яких прокладено на території України, бункер являє собою тунель довжиною 1500 м, вибитий

у скелі (рис.1.7) [163]. Підземний тунель пролягає на глибині 30-50 метрів та сполучає між собою 4 доти, лікарню, склади та казарму [117].

Під час Другої світової війни у період кінця 1930-х – початку 1940-х років у джунглях Південного В'єтнаму почалося військове використання мереж тунелів. Ця мережа з'єднувала опорні бази В'єтконгу, що пролягали від стежки Хо Ши Міна та кордону Камбоджі до околиць Сайгону, на відстані близько 250 км. Під час бомбардувань США солдати стали використовувати тунелі, аби виживати та вести партизанську війну. З тимчасових приміщень для кількох солдатів тунелі Кі Чу перетворилися на багаторівневі простори – поселення солдатів з кухнями, житловими чарунками, лікарнями, складами боєприпасів та бомбосховищами. В деяких тунелях знаходилися великі підземні театри та музичні зали [64].

Інтерес до освоєння підземного простору виріс у період 1960-х-1970-х років та був викликаний необхідністю облаштування сховищ під час холодної війни, сплеском екологічної свідомості людства та двома світовими енергетичними кризами [107]. В цей період почали з'являтися підземні міста-дублікати в різних країнах світу. Одним з найбільш відомих підземних міст-дублікатів є підземне місто в Пекіні, Китай.

З 1960-х-1970-х років у старому місті було зведено понад 12 тисяч квадратних метрів підземних бомбосховищ. Комплекс розрахований на одночасне перебування 8 млн. чоловік тривалістю перебування впродовж чотирьох місяців. Окремі бомбосховища пов'язані між собою тунелями, чия довжина простягається до 30 км. В період з 1980-х-1990-х років підземний простір виконував кілька громадських функцій. У 21 столітті підземний простір зазнав значного розвитку, на що вплинули соціально-економічні фактори. Функціональне зонування підземного міста тісно переплітається з функціональним зонуванням міста на поверхні. Більша частина підземного середовища зосереджена під житловими та комерційними будівлями. Підземне місто станом

на 2000 рік налічувало близько 40 тисяч жителів, здебільшого мігрантів та малозабезпечених громадян з низьким рівнем доходу. Підземний простір забезпечений окремими громадськими функціями [81].

Масштаби будівництва оборонних та захисних споруд, командних центрів, помітно зростають у період Холодної війни в тому числі й на території США. Щонайменше шість командних підземних центрів було збудовано на території Північної Америки, починаючи з 1950-х років. Серед цих центрів особливої уваги заслуговує комплекс NORAD всередині гори Шайєнн, штат Колорадо. Оборонний комплекс був розроблений для розміщення Центру бойових дій та включав в себе допоміжні функції: житлова, комунікативна, харчова, медична, ремонтна та складська. Триповерхові простори загальною площею 170 500 квадратних футів мали бути збудовані у підземних камерах. Комунальні об'єкти, включно з об'єктами енергетичної інфраструктури, кондиціонування повітря, а також складські приміщення для зберігання мазуту та води мали займати прилеглі до основного комплексу території. Комплекс мав працювати автономно протягом тривалого часу у випадку ядерної атаки [25, 70].

В основні комплексу лежить L-подібний тунель з трьома основними виходами: південний, центральний та північний. Його форму повторювали витяжні тунелі та шахти. Центральний вхід дозволяє потрапити до трьох паралельних камер і чотирьох пересічних камер. При розробці проекту підземного комплексу було передбачено встановлення сервісного обладнання: теплообмінники, кондиціонери та генератори у південно-східних кінцях трьох камер. Поряд з камерами розташовано резервуари призначені для зберігання мазуту, питної та технічної води [42]. На сьогоднішній день повітряні сили використовують трохи менше 30% площі в межах комплексу та складають приблизно 5% щоденного населення на горі Шайєнн. Сьогодні гірський комплекс Шайєнн слугує Альтернативним командним центром NORAD і USNORTHCOM, а також навчальним майданчиком для кваліфікації екіпажу [62].

Свого розквіту у XX столітті досягли не тільки оборонні та захисні споруди, транспортна і пішохідна інфраструктури. У 1960-х роках почали з'являтися перші підземні науково-дослідні комплекси. В 1965 році перші «природні» нейтрино були відкриті майже одночасно двома групами, що працювали на золотій копальні Колар у Південній Індії на глибині 2700 м та в Південній Африці на глибині 3200 м. У 1979 році під горою Гран-Сассо в центральній Італії будувався подвійний тунель для автостради. А. Зічічі, тодішній президент INFN, побачив унікальну можливість побудови підземної лабораторії світового класу із широким спектром потенційних наукових програм, включаючи майбутній пучок нейтрино з CERN [12].

Лабораторія Гран-Сассо має горизонтальний під'їзд. Підземний комплекс складається з трьох основних залів та допоміжних тунелів, що слугують додатковим простором для розміщення допоміжного обладнання, а також проведення не масштабних експериментів. Наземні кампуси включають в себе: офіси, майстерню, складські приміщення, хімічну лабораторію, електронну майстерню, актовий зал, приміщення комп'ютерного та мережевого забезпечення, бібліотеку, їдальню, житлові чарунки, конференц-зали, штаб-квартиру та адміністративні приміщення (рис.1.14) [12, 158].

В Україні єдиною підземною лабораторією є Солотвинська підземна лабораторія, збудована в 1984 році під керівництвом Ю. Г. Здесенка відділом фізики лептонів Інституту ядерних досліджень НАН України в соляній шахті. Приміщення лабораторії розділене на головну залу і чотири камери. Загальна площа становить близько 1000 м². На поверхні доступні три житлові кімнати. Доступ до лабораторії забезпечений через вертикальну шахту. Глибина лабораторії становить 430 м (рис.1.14) [86].

Проведений аналіз наукових праць та літературних джерел дозволяє визначити основні особливості розвитку підземного простору у період становлення індустріального світу протягом XX століття. У країнах Європи (Франція, Великобританія, Німеччина) з'являються перші підземні транспортно-пересадочні вузли, активно розвиваються метрополітени. З розвитком підземного транспортно-пішохідного руху починає

своє зародження також і підземний багатофункціональний простір, в тому числі і перші торгівельно-розважальні центри. На території Північної Америки та Франції активного розвитку досягає практика влаштування підземних паркінгів. Значно реформуються й об'єкти військової галузі: оборонні комплекси та захисні споруди. Значного розвитку підземні військові споруди досягають на півночі, а також заході України. Активно продовжує розвиватися практика створення підземних міст-дублікатів, облаштованих в захисних цілях. В європейських країнах та у Північній Америці, а також Китаї з'являються перші підземні багатофункціональні комплекси з яскраво вираженою науково-дослідною функцією.

З початком XXI століття міські території розрослися до безпрецедентних розмірів. З 2007 року в містах проживає більше людей, ніж будь-де на решті територій планети. Крім того, очікується, що до 2050 року чисельність населення світу досягне 9,3 мільярда, тоді як населення, яке живе в містах, за прогнозами, досягне 6,3 мільярда. Більша частина зростаючого населення, яке очікується в містах, буде зосереджено в менш розвинутих регіонах [48]. Основною тенденцією сучасності є глобальний розвиток утворення великих «підземних міст», в якому багатофункціональні підземні комплекси стають мережевою структурою, пов'язаною між собою транспортно-пішохідними тунелями й будинками на поверхні. Ще однією не менш важливою тенденцією є підвищення рівня планування та системного підходу до освоєння підземного простору міста. Одним з найбільш вдалих прикладів є майстер-план міста Гельсінкі, завдяки плановій розбудові якого був утворений зразковий тип сучасного підземного міста [38].

З 1980-х років XX століття місто Гельсінкі підтримує план розподілу підземного простору. На початку 2000-х років виникла необхідність скласти майстер план для всього підземного простору міста. Були ухвалені принципи планування, проведені обговорення та дискусії, проведені окремі консультації щодо облаштування мережі критичної інфраструктури. У 2010 році майстер-план було схвалено. В Гельсінкі є

10 000 000 м³ підземних об'єктів (паркінги, спортивні майданчики, сховища нафти та вугілля, метрополітен тощо), більше 400 приміщень, 220 км технічних тунелів, 24 км тунелів забірної води та 60 км комунальних тунелів. Оскільки міська структура стає більш щільною, розширюється й підземний простір – все більше й більше об'єктів розміщуються в підземному просторі міста. Також зростає й необхідність об'єднувати підземні приміщення у цілісні і взаємопов'язані комплекси [102].

Серед тенденцій в освоєнні підземного простору також спостерігається розробка концептуальних проектів підземних автономних міст. Одним з таких проектів є концептуальний проект Підземного наукового міста, що був розроблений в Сінгапурі. Проект розгалуженої системи печер, що здатний забезпечити достатню кількість офісних та лабораторних приміщень для досліджень та розробок з галузей інформаційних технологій, біотехнологій та наук про життя. Площа комплексу мала би складати 300 000 м² на глибині 30-80 м під поверхнею. Вхід до підземного міста має забезпечуватися через наземний скляний об'єм. Вертикальні комунікації ведуть до центрального фойє – зеленої зони, що виконує рекреаційну функцію. Горизонтальні комунікації забезпечуються доступ безпосередньо на поверхні комплексу. Комплекс забезпечений зеленими зонами, вертикальними та горизонтальними комунікаціями, зонами лабораторій та громадськими зонами [99, 100].

Уваги також заслуговує концептуальний проект підземного Метрополісу, розроблений китайськими архітекторами. В основу концепції покладене використання вугільних шахт та можливість забезпечення доступу шахтарям до сучасних житлових та рекреаційних зон. Проект розрахований на розташування у вугільно видобувних районах Китаю, однак, за рахунок облаштування транспортної інфраструктури він буде інтегрований в життя міст на поверхні. Комплекс умовно розділений на промислову та житлову функціональні зони. Житлова зона включає в себе: житлові чарунки – модульні системи прямокутної чи квадратної форми; горизонтальні та вертикальні

комунікації, що сполучають функціональні блоки між собою; культові споруди, освітньо-культурні заклади, системи енергозабезпечення, вентиляції та освітлення для можливої автономної роботи комплексу [98].

Спостерігається також активний розвиток концептуальних проектів інопланетних підземних багатофункціональних комплексів. Серед них особливої уваги заслуговує концептуальний проект Rhizome Tower (Тисячі підземних плато), який покликаний збирати доступні природні ресурси над і під землею та створювати новий образ життя людської цивілізації (рис.1.7). Багатофункціональний комплекс є одним з об'єктів мережевою структури, що утворює підземне місто. проект розділений на чотири рівні, що організовані навколо центрального ядра - атріуму. Перший рівень знаходиться над поверхнею і включає зону відпочинку, зону виробництва продуктів харчування, поля сільського господарства, ферми і теплиці. Другий блок налічує приблизно 60 рівнів. У цьому блоці знаходиться житлова зона, з різноманітним діапазоном житлових приміщень відповідно до розмірів сім'ї. Третій і четвертий блоки розташовані найбільш глибоко під землею. Він присвячений вивченню і збору геотермальної енергії і використовуються як офісні, службові та технічні зони [78].

Крім концептуальних проектів підземних міст та багатофункціональних комплексів на увагу заслуговують проекти науково-дослідних центрів, які були реалізовані на початку XXI століття.

Розташована на глибині 2 км лабораторія SNOLAB (рис. 1.9), збудована у 2009 році в м. Онтаріо, Канада, має площу 5000 м², з яких 3100 м² – експериментальні приміщення. Додаткові 2600 м² використовуються для обслуговуючої інфраструктури. В лабораторії є п'ять основних майданчиків для проведення експериментів. Лабораторія має розгалужену структуру, сполучення з поверхнею відбувається завдяки вертикальному тунелю, горизонтальне сполучення відбувається завдяки горизонтальним тунелям та коридорам. Підземні лабораторні приміщення розміщені в окремих чарунках. Окремий вхід забезпечений для персоналу з приміщеннями роздягальнь та

душових. Лабораторія забезпечена система вентиляції повітря та системою очищення води [83-85, 158].

Великі міста України за масштабами та складністю геобудівництва поки що значно програють мегаполісам світу. Пов'язати це можна не лише з відсутністю інвестицій, але й з відсутністю майстер-планів освоєння підземного середовища на відповідному рівні, котрі були б узгоджені з генеральними планами міст. Варто зазначати, що в мегаполісах України: Київ, Харків, Дніпро, Одеса спостерігається активний розвиток будівництва підземних об'єктів, в тому числі транспортно-пішохідних тунелів, торговель-розважальних центрів, а також тунелів метрополітену. Проте містобудівний потенціал підземного простору мегаполісів використовується недостатньо, оскільки спорудженням підземних об'єктів займаються окремі організації, що не сприяє організації підземного простору в єдину мережеву структуру [38].

У регіонах України, зокрема в Києві, спостерігається тенденція облаштування підземних торговельно-розважальних комплексів в історично сформованому районі міста. Підземний комплекс 'Globus' на Майдані Незалежності є прикладом влаштування однамагнітної схеми з торговою вулицею. Має дворівневе торцево-вузлове планування, внутрішній атриум та, так званий магніт у вигляді закладів харчування. 'Globus' став першим торговельно-розважальним центром в Україні, котрий був облаштований під землею. Психологічний комфорт відвідувачів забезпечений за рахунок високих стель та атриумів (рис.1.7) [114].

Історичний аналіз світового та вітчизняного досвіду проектування підземних комплексів свідчить про те, що галузь підземної урбаністики потребує подальшого розвитку: вдосконалення теоретичної бази, розробки проектних рішень, що будуть

Закордонний історичний розвиток	Вітчизняний історичний розвиток
Зародження	
Виникнення перших споруд техногенного походження Початок підземного будівництва	
З'являються перші підземні міста-дублікати	
Формування	
З'являються перші культові споруди Поява перших інженерних споруд Виникають перші оборонні споруди	Виникають перші печерні міста Виникають рукотворні кам'яні склепи під курганам
Розвиток	
Активний розвиток підземних культових споруд, погребальних структур Активне освоєння підземних міст-дублікатів Активний розвиток підземних фортифікаційних та захисних споруд	
Використання господарсько-побутових споруд	
Становлення	
Триває влаштування нових підземних споруд на території культових будівель	
Вдосконалення фортифікаційних укріплень та систем водовідведення	З'являються перші соляні шахти Активно розвивається гірничодобувна діяльність З'являються підземні сховища та укриття
Розквіт	
З'являються транспортно-пересадочні вузли; метрополітени Виникають військові оборонні комплекси та сховища Зароджується підземний багатофункціональний простір	
Міленіум	
Активний розвиток концептуальних проектів багатофункціональних підземних комплексів, підземних житлових будівель та інших споруд Вдосконалення підземних укриттів, сховищ та споруд військового призначення Удосконалення теоретичної бази у галузі підземної урбаністики	

Рис. 1.8

Порівняльний аналіз закордонного та вітчизняного досвіду освоєння підземного простору

узгоджені з містобудівним плануванням на поверхні, проектування підземних комплексів, що будуть складатися в мережеві структури та будуть пов'язані як між собою, так і з поверхнею за допомогою вертикальних та горизонтальних комунікацій. Особливої уваги заслуговують підземні комплекси з яскраво вираженою науково-дослідницькою функцією, що поширені в країнах Європи, Північної Америки, Китаю та Канади.

1.3. Сучасні тенденції розвитку підземних науково-дослідних комплексів

Переважає більшість наукових досліджень та експериментів, що проводяться в галузі фізики, вимагають особливих лабораторних умов, максимально позбавлених впливу космічного випромінювання та радіоактивних ізотопів [40]. Глибокопідземні лабораторії, що розташовані на глибині понад 1000 м, здатні забезпечити необхідне середовище з низьким радіоактивним фоном для дослідження процесів розпаду протона та подвійного бета-розпаду. Екологічний фон середовища лабораторії залежить від глибини та природи навколишніх порід і, як наслідок, може відрізнятися в різних приміщеннях [30].

Глибокопідземні науково-дослідні комплекси відрізняються за багатьма параметрами від наземних лабораторій. Важливим параметром є глибина та можливість обладнання залів різних розмірів, діаметр та висота котрих може складати 15-20 м. Серед інших параметрів варто зазначити й горизонтальний доступ до комплексу, що має низку переваг над вертикальним, що характерний для деяких шахт. Горизонтальний тунель до лабораторії спрощує доступ до експериментальних залів, дозволяє встановлювати великі частини необхідної апаратури, що може займати кілька поверхів, і дозволяє знизити експлуатаційні витрати [13].

В недіючій шахті Homestake в штаті Південна Дакота, США, розташована глибокопідземна науково-технічна лабораторія. Були реконструйовані та покращені два вертикальні під'їзди. Одну з порожнин було збільшено і доведено до лабораторних стандартів, поруч розкопано нову лабораторію (рис.1.9). Дві експериментальні лабораторії та службові приміщення з'єднані з доступними шахтами довгими тунелями. Із загальної площі приміщень 2730 м^2 930 м^2 використовуються безпосередньо для наукових цілей. З іншої сторони, давно існуючі галереї, подібні до комплексів SNOlab і Kamioka, дозволяють облаштувати нові зали [13, 41].

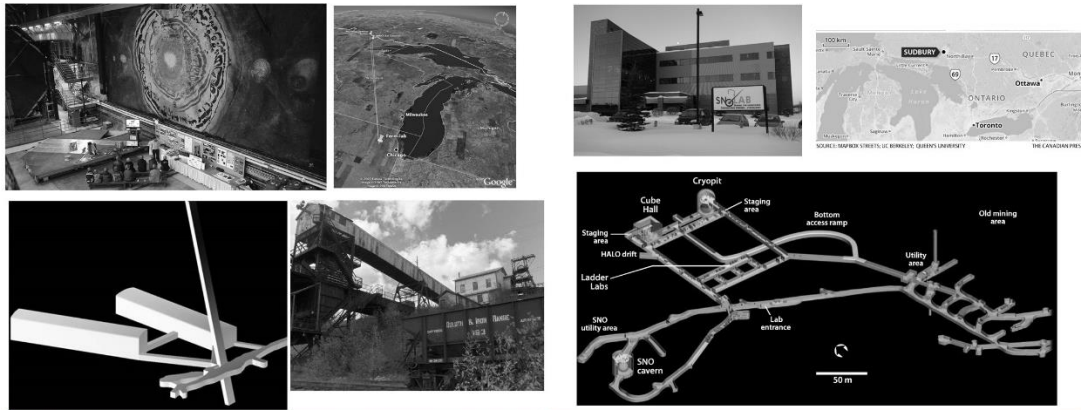
Підземну шахту, що слугувала для видобутку заліза, в штаті Мінесота, США, було переобладнано в підземну лабораторію Судан (рис.1.9). Доступ до лабораторії забезпечується через вертикальний двокамерний тунель, розміщений під невеликим кутом. Однак, його розміри: діаметр понад 1 м і довжина понад 10 м, ускладнюють доступ до лабораторії, котра співіснує з історичним Державним парком підземних шахт Судан. Підземні споруди науково-дослідної лабораторії включають дві лабораторії: лабораторію Soudan та лабораторію MINOS. Лабораторія Soudan призначена для проведення експерименту низькотемпературних досліджень темної матерії та вміщує в собі лічильну установку з низьким рівнем радіоактивного фону. Лабораторія MINOS призначена для проведення експерименту з пошуку осциляцій нейтрино головного інжектора та вміщує в себе цех з виробництва міді високої чистоти. Основним об'єктом на поверхні є будівля площею близько 650 м^2 з офісами, кухнею та санвузлом. У лабораторії працює 9 осіб, включаючи секретаря та бухгалтерію, а також персонал з матеріально-технічного забезпечення [13, 56].

Підземний лабораторний комплекс Канфранк в Іспанії став першим підземним об'єктом, що розташований під Піренеями неподалік закритого залізничного тунелю (рис.1.9). Будівництво підземної частини споруд було завершено у 2005 році. Наземна частина комплексу містить штаб-квартиру, адміністрацію, бібліотеку, конференц-залу, офіси, лабораторії, складські приміщення та майстерні. Доступ до лабораторії

забезпечується через один з горизонтальних автомобільних тунелів. До групи підземних приміщень входять два зали розмірами 40x15x12 та 15x10x8 відповідно. Чисте приміщення має площу 45 м², сервісні приміщення – 215 м². Площа старої лабораторії становить 100 м². Максимальна висота скелі – 850 м [12, 158].

Горизонтальний під'їзд через проїжджий тунель Фреюс забезпечує доступ до підземної лабораторії у Франції біля міста Модан (рис.1.10). Лабораторія складається з основної зали, що має об'єм 30x10x11 м³, Гама-зали площею 70 м² та двох менших залів 18 м² та 21 м² відповідно. До складу приміщень входять також чиста кімната, службові приміщення, аналітичні лабораторії Глибина лабораторії сягає 4800 м у водному еквіваленті. Загальна площа лабораторії складає 2000 м². Наземна будівля включає в себе офісні приміщення (100 м²), склад та майстерню (150 м²) і штаб-квартиру [12].

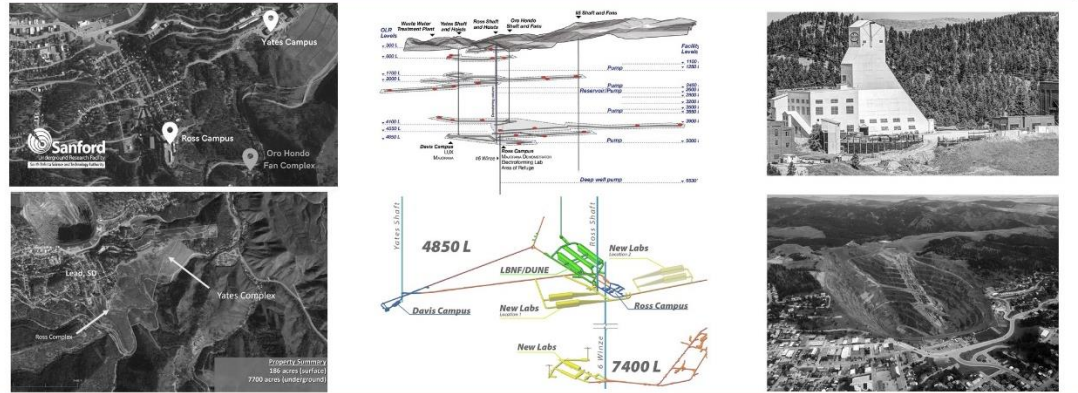
Великий адронний колайдер (ВАК) (рис.1.10) - найпотужніший у світі прискорювач елементарних частинок, був побудований Європейською організацією ядерних досліджень (ЦЕРН) у тому ж 27-кілометровому тунелі, що й Великий електронно-позитронний колайдер (ВАК). Тунель має круглу форму і розташований на глибині 50-175 метрів (165-575 футів) під землею на кордоні між Францією і Швейцарією. ВАК провів свою першу тестову операцію 10 вересня 2008 року. Електрична проблема в системі охолодження 18 вересня призвела до підвищення температури приблизно на 100 °С (180 °F) в магнітах, які призначені для роботи при температурі, близькій до абсолютного нуля (-273,15 °С, або -459,67 °F). Ранні оцінки, що ВАК швидко поладять, виявилися надто оптимістичними. Він перезапустився 20 листопада 2009 року. Незабаром після цього, 30 листопада, він витіснив Теватрон Національної прискорювальної лабораторії ім. Фермі як найпотужніший прискорювач частинок. У березні 2010 року вчені ЦЕРН оголосили, що проблема з конструкцією надпровідного дроту в ВАК вимагає, щоб колайдер працював лише на половинній енергії. У лютому 2013 року ВАК було зупинено для усунення проблеми, а у квітні



Підземна лабораторія Судан (Soudan Underground Laboratory SUL), Міннесота, США

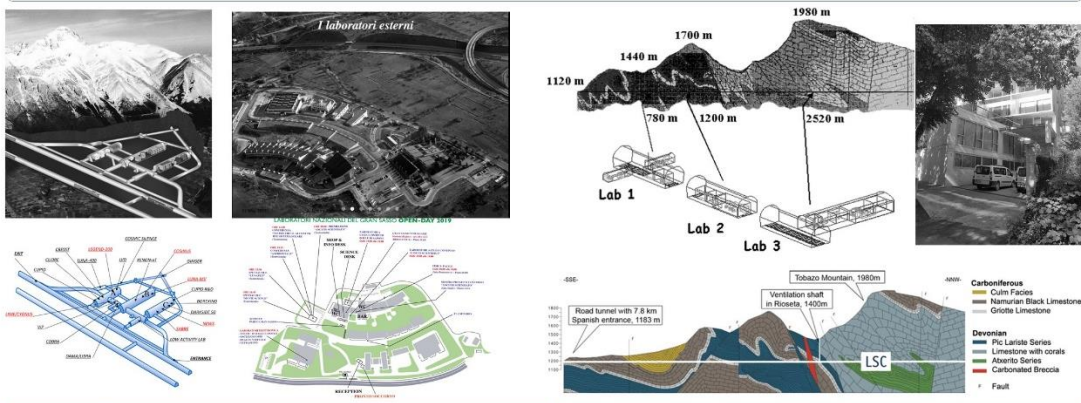
Садберійська нейтринна обсерваторія SNOLAB (Sudbury Neutrino Laboratory), Канада

Глибокопідземні лабораторії Північної Америки та Канади



Сендфордський підземний дослідний центр (Sanford Underground Research Facility), США

Глибокопідземні лабораторії Північної Америки та Канади



Національна лабораторія Гран-Сассо (Laboratori Nazionali del Gran Sasso, LNGS), Італія

Лабораторія Канфранк, Іспанія

Глибокопідземні лабораторії країн Європи

Рис.1.9. Глибокопідземні лабораторії Північної Америки, Канади та країн Європи

2015 року його було перезапущено для роботи на повній енергії. Друга тривала зупинка, під час якої обладнання ВАК було модернізовано, розпочалася в грудні 2018 року і завершилася в липні 2022 року [47].

Підземна дослідницька лабораторія HADES (рис.1.11), розташована в глиняному кар'єрі Бум на глибині 225 метрів, відіграє центральну роль у дослідженні безпеки та доцільності геологічного захоронення радіоактивних відходів. Фахівці використовують її для розробки та тестування промислових технологій будівництва, експлуатації та закриття сховища відходів у глибоких глинистих породах. Вчені проводять широкомасштабні експерименти в реалістичних умовах глинистої формації протягом тривалого періоду часу, щоб оцінити безпеку геологічного захоронення в погано індукованих глинах. HADES є найстарішою підземною лабораторією в Європі. Вона побудована в глибокому глинистому пласті з метою дослідження можливості геологічного захоронення в глині. Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) визнає її центром передового досвіду в галузі технологій захоронення відходів та наукової підготовки [91].

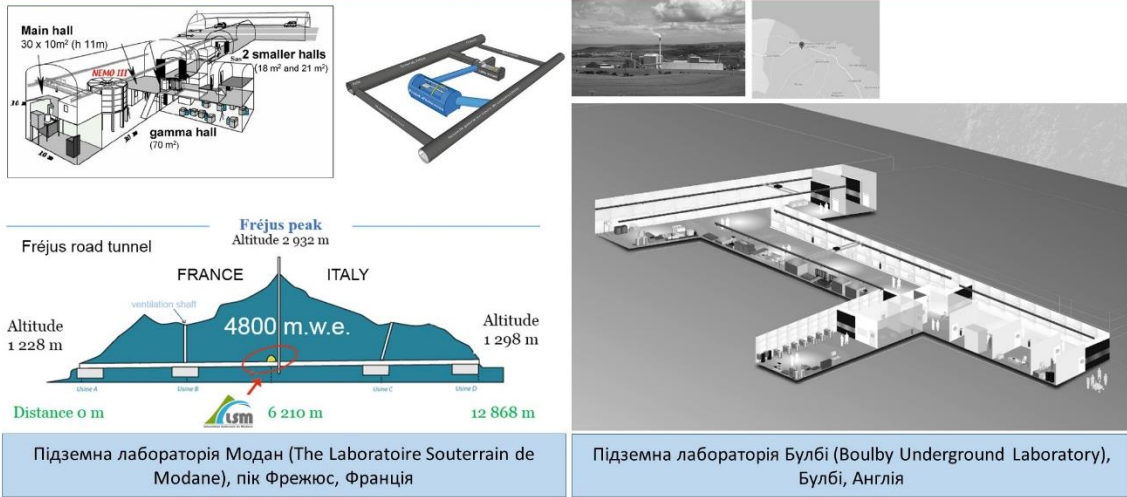
Горизонтальним під'їздом забезпечена також і обсерваторія Каміока в Японії (рис.1.11). Лабораторія знаходиться на глибині 1000 м в шахті Мозумі неподалік від міста Гіда, префектурі Джифу. Експериментальні дослідження, що проводяться в лабораторії, присвячені фізиці елементарних частинок та космології, зокрема вимірюванню потоку сонячних нейтрино, виявлення супернових нейтрино та спостереження за гравітаційними хвилями. До складу її підземних приміщень входять: зал діаметром 50 м, чиста кімната $10 \times 5 \text{ м}^2$, L-подібна зала $40 \text{ м} \times 4 \text{ м}$, L-подібна зала $100 \text{ м} \times 4 \text{ м}$ та два нових зали А ($15 \times 21 \text{ м}^2$) і В ($6 \times 11 \text{ м}^2$). Невеликі приміщення також доступні в закритій шахті [12, 90].

В діючій копальні з видобутку калійної та кам'яної солі, що розташована неподалік села Булбі, на півночі Англії, розташована підземна наукова лабораторія на глибині 1100 м (рис.1.10). Дослідження лабораторії варіюються від пошуку темної матерії

до досліджень геології та геофізики, клімату, довкілля, життя в екстремальних середовищах на Землі та за її межами [16]. Об'єкт має більше 1500 м² чистої лабораторної площа під землею з майстернями, складськими приміщеннями, комп'ютерним обладнанням. Крім того, було зведене наземне приміщення площею 500 м², включаючи наземну лабораторію та складські приміщення, майстерні, офіси, обчислювальні приміщення, конференц-залу, кухню та пральню [30, 158].

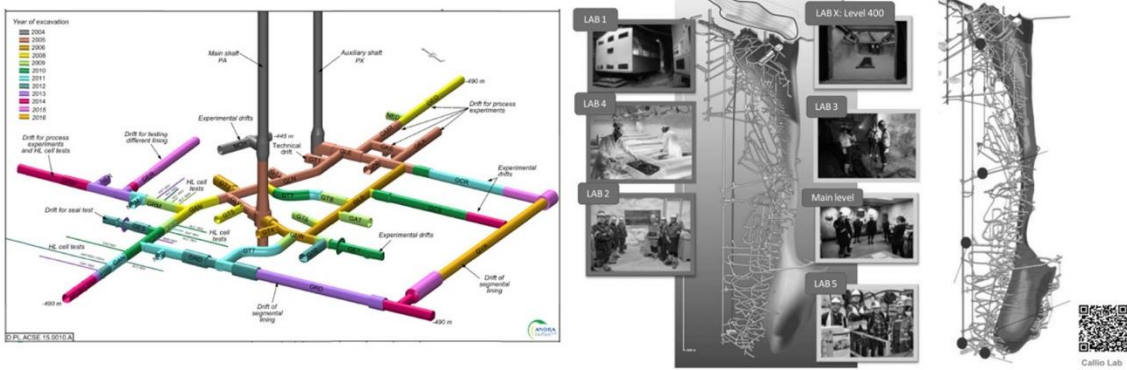
Дослідницький центр підземної фізики CUPP розташований в місті Пюгярві, Фінляндія, у діючій шахті з видобутку міді й цинку (рис.1.10). Підземні приміщення науково-дослідного центру доступні на різних глибинах від 1000 м до 1400 м, яких можна дістатися як похилим тунелем, так і вертикальною шахтою - ліфтом. Невеликі лабораторії та офісні приміщення доступні в наземній будівлі. На поверхні також розташований гостьовий будинок [12, 23, 30, 68].

Особливої уваги заслуговує Китайська підземна лабораторія Цзіньпін (рис.1.11), що була відкрита у 2010 році та є науково-дослідницьким підземним об'єктом з найбільшою глибиною залягання на рівні 2400 м та найбільшим об'ємом у майже 300 тис. м³ в світі. Розташована в тунелі Цзіньпін у провінції Сичуань [29]. У 2008 році під горою Цзіньпін було завершено будівництво двох транспортних тунелів довжиною 17,5 км для полегшення транспортування будівельних матеріалів. Будівництво першої черги лабораторного комплексу було розпочато в грудні 2009 року. До комплексу організований під'їзд через двосмуговий дорожній тунель з шириною достатньою для вантажівок. Головний зал, де проводяться експерименти, має розміри 6,5 м x 6,5 м x 40 м, відповідно площа становить 260 м². Біля західного входу в тунель розміщені гостьовий будинок, гуртожиток, їдальні та офісні приміщення [26, 27] Розширення об'єкта почалося у 2014 році. Друга черга будівництва розташована за 500 м на захід вздовж того ж автомобільного тунелю. Загальна площа лабораторії складає 20 000 м². Два котловани забезпечують додатковий простір – один діаметром 18 м і висотою 18 м, а інший – довжиною 27 м, шириною 16 м і глибиною



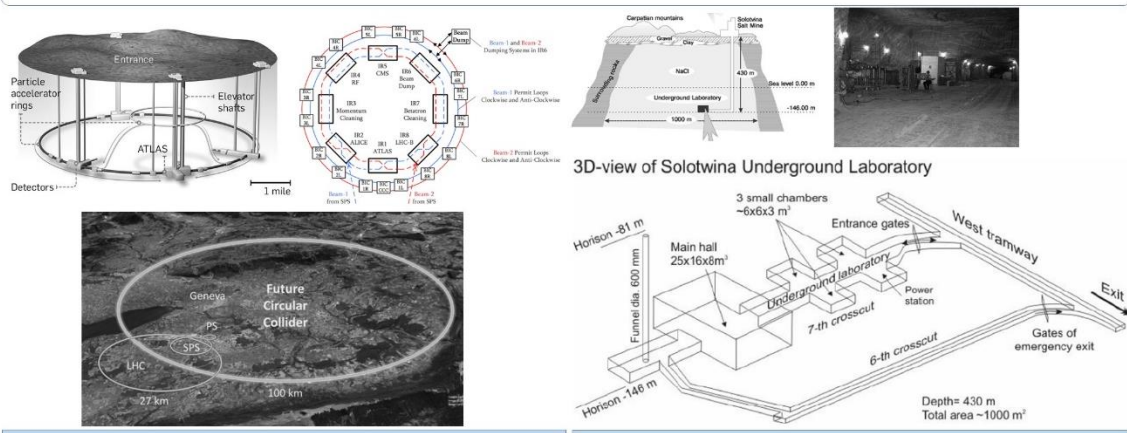
Підземна лабораторія Модан (The Laboratoire Souterrain de Modane), пік Фрежюс, Франція
 Підземна лабораторія Булбі (Boulby Underground Laboratory), Булбі, Англія

Глибокопідземні лабораторії країн Європи



Підземна дослідна лабораторія (HADES Underground Research Laboratory), Бельгія
 CallioLab, Пюгасалмі, Фінляндія

Глибокопідземні лабораторії країн Європи



Великий Адронний Коллайдер (Large Hadron Collider), Швейцарія
 Солотвинська підземна лабораторія, Солотвіно, Закарпаття

Глибокопідземні лабораторії країн Європи

Рис.1.10. Глибокопідземні лабораторії країн Європи

14 м. Загальний простір, включаючи внутрішні транспортні тунелі та приміщення загального користування, становить приблизно 300 000 м³. Чотири зали сполучаються між собою за допомогою горизонтальних сервісних тунелів, котрі в свою чергу мають сполучення з основними транспортними тунелями [27, 49].

Заслуговує уваги гідроакумулююча електростанція Яньянь, розташована в Яньянь-гун, Гангвон-до, що є найбільшою енергоакумулюючою станцією в Південній Кореї. Електростанція знаходиться приблизно в 300 км від Теджона, де розташована штаб-квартира IBS. З серпня 2006 року вона почала виробляти електроенергію в комерційних цілях і може виробляти до 250 МВт, використовуючи чотири турбіни на повну потужність. Основні об'єкти електростанції, такі як турбіни для виробництва електроенергії, розташовані на глибині приблизно 700 м під поверхнею. Під землею є кілька робочих тунелів (штолень) навколо основних об'єктів, а також головних тунелів. Підземна експериментальна група утримувала одну з робочих штолень за згоди енергетичної компанії, яка керує станцією. У 2003 році, коли була побудована електростанція ЯньЯнь (рис.1.11), Центр дослідження темної матерії Сеульського національного університету завершив будівництво лабораторії Y2L - A6 площею близько 100 м² і на глибині 700 м. У листопаді 2014 року був побудований ще один підземний об'єкт площею близько 200 м² в тунелі A5, який розташований поблизу майданчика A6. Лабораторії Y2L-A6 і A5 розташовані на глибині 700 м. Об'єкт Y2L-A5 складається з двох чистих кімнат і кімнат моніторингу для кожного експерименту, а також кількох допоміжних систем, таких як система зменшення радону, система водяного охолодження і електрична кімната. Також для безпеки працівників передбачена система притоку/витяжки свіжого повітря, пожежна сигналізація, система димовидалення на випадок пожежі. Наземний офіс площею близько 80 м² розташований в межах 2 км від входу в електростанцію Яньянь. Об'єктом керують троє спеціалізованих співробітників, включаючи одного вченого [58, 59, 67, 109].

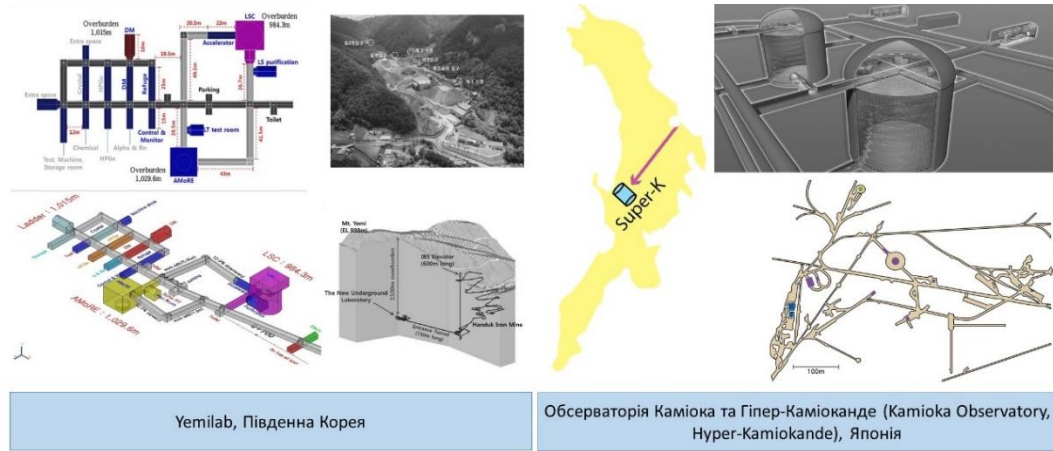
Уваги заслуговує Індійський проект Нейтринної обсерваторії (рис.1.11), що являє собою багатоінституційний проект, спрямований на будівництво підземної лабораторії світового класу з кам'яним покриттям площею близько 1200 м² для дослідження високих енергій і ядерної фізики без використання прискорювача. Проект включає в себе будівництво підземної лабораторії та пов'язаних із нею наземних об'єктів на пагорбах Боді Вест округу Тені Таміл Наду. Підземна лабораторія складатиметься з великого приміщення розміром 132 м x 26 м x 20 м і кількох менших камер, підхід до яких здійснюватиметься через тунель довжиною 2100 м і шириною 7,5м. Очікується, що з роками підземна споруда перетвориться на повноцінну підземну наукову лабораторію для досліджень в галузі фізики, біології, геології, гідрології тощо [44, 45, 60].

На початку 2000-х років в Південній Америці було схвалено будівництво автомагістралі. Тунель Агуа-Негра планується побудувати за 300 км на північ від тунелю Крісто-Редентор, який з'єднує аргентинську провінцію Сан-Хуан з провінцією Ко-Кімбо в Чилі. Високогірний тунель планується на висоті приблизно 4000 м. Тунель має складатися з двох автомобільних тунелів довжиною 14 км і діаметром 12 м, південний дозволить проїхати з Чилі в Аргентину, а північний буде йти з Аргентини в Чилі. Будівництво має тривати 8 років, починаючи з 2021 до 2028 років. Дизайн самої лабораторії ANDES почав розроблятися з 2011 року навколо ідеї створення головної зали, котра має дорівнювати половині довжини головної зали в лабораторії Гран-Сассо, Італія. З самого початку також планувалося будівництво великої ями, здатної розмістити детектор нейтрино наступного покоління. Потім планувалося створити кілька додаткових залів для технічних служб та інших експериментів. Будівництво лабораторії почнеться після того, як тунель буде вирито до запланованого місця розташування лабораторії, після 4 років будівельних робіт. Будівництво самої лабораторії займе 6 років [9, 28, 33].

Головний, додатковий зали та велика яма є трьома основними функціональними зонами, що передбачені для великих експериментів, зокрема для прямого пошуку темної матерії та фізики нейтрино. Головний і допоміжний зали відрізняються в основному своїми розмірами. Розміри головної зали складають 50 м x 21 м x 22 м, а допоміжної – 40 м x 16 м x 14 м. Для досягнення оптимальної повної висота в головній залі центральна частина знаходиться нижче рівня під'їзного тунелю на один метр. Додаткова зала в основному призначена для модульних конструкцій, які можуть слугувати для проведення довготривалих або короткострокових експериментів, що підлягають регулярним змінам. Головна зала передбачена для проведення двох-трьох довготривалих експериментів, особливо для прямого пошуку темної матерії або безнейтринного подвійного бета-розпаду. Велика яма передбачена для проведення одного масштабного експерименту, її корисний об'єм становить 30 м діаметру і 30 м висоти. Основний доступ здійснюється зверху за допомогою поворотного крана, що дозволяє отримати доступ до будь-якого місця всередині ями [9, 28, 33].

Відкриття підземної лабораторії фізики Стауелл, Австралія, відбулось у 2022 році. Це був перший етап проекту, що включає в себе будівництво лабораторії, котра стане центром пошуку темної матерії в Австралії (рис.1.11) [2]. Розташована приблизно за 250 км від Мельбурну на північний захід, підземна лабораторія Стауелл, зведена в діючій золотовидобувній шахті на глибині близько 1025 метрів. Лабораторія оснащена горизонтальним тунелем, що влаштований під невеликим кутом, для доступу важкого автомобільного транспорту [82].

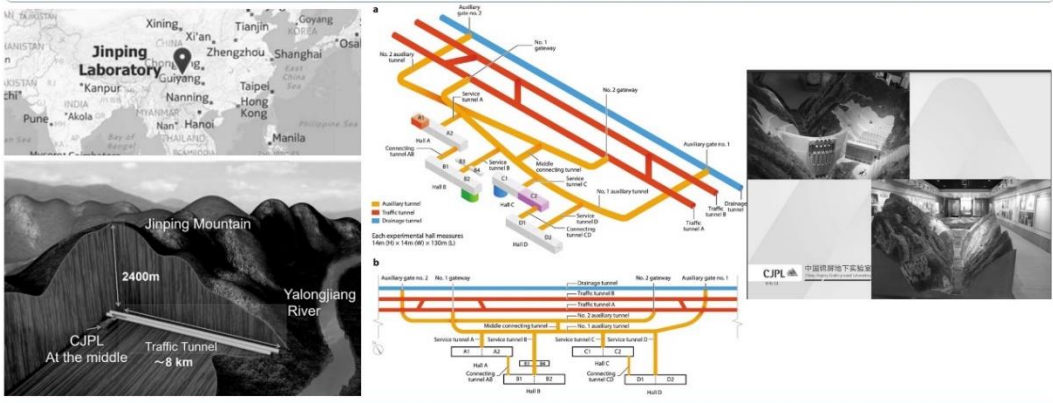
Наразі в Північній півкулі функціонує 12 глибокопідземних науково-дослідних комплексів. Заплановано будівництво ще чотирьох нових глибокопідземних лабораторій, дві з яких мають знаходитися в Південній півкулі. Глибокопідземні лабораторії є багатопрофільними дослідницькими інфраструктурами. Взаємодія між глибокопідземними лабораторіями існує задля



Yemilab, Південна Корея

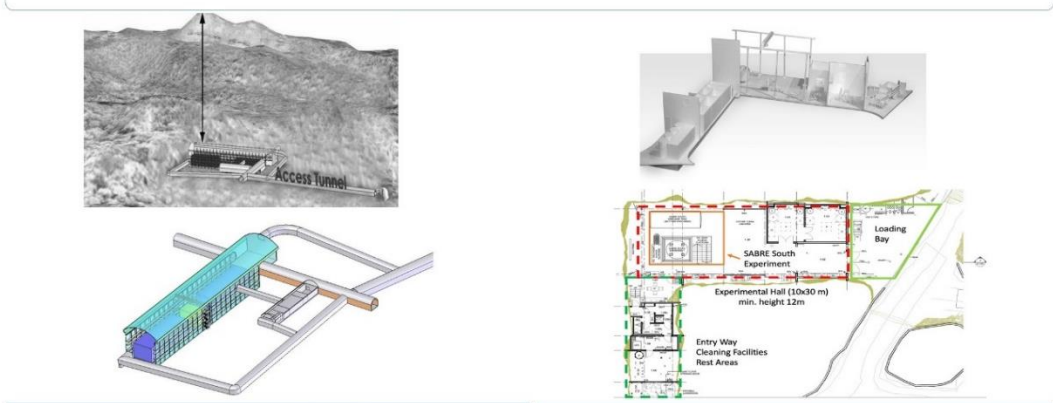
Обсерваторія Каміока та Гіпер-Каміоканде (Kamioka Observatory, Hyper-Kamiokande), Японія

Глибокопідземні лабораторії країн Азії



Китайська підземна лабораторія Цзінпін (China Jinping Underground Laboratory), Китай

Глибокопідземні лабораторії країн Азії



Індійська нейтринна обсерваторія (INO India-based Neutrino Observatory), Індія

Підземна лабораторія фізики Ставел (Stawell Underground Physics Laboratory SUPL), Ставел, Австралія

Глибокопідземні лабораторії країн Азії

Глибокопідземні лабораторії Південної півкулі

Рис. 1.11.

Світові глибокопідземні лабораторії країн Азії та Південної півкулі

створення глобальної мережі заради покращення наукових програм та спального використання нових технологій [43].

Проведений аналіз світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів свідчить про те, що на організацію цих комплексів впливає ряд чинників, зокрема: містобудівних, інженерно-геологічних, гідрологічних, технологічних. Слід зазначити, що об'єктам, наведеним вище, притаманні деякі спільні риси. До спільних архітектурних рис науково-дослідних комплексів варто віднести: блоковану структуру підземної частини, що складається з кількох функціональних груп приміщень; горизонтальний розвиток транзитних коридорів та тунелів, що сполучають лабораторні приміщення між собою; чітке функціональне зонування між підземною та наземною зонами.

Огляд *функціонально-планувальної структури* світових аналогів підземних науково-дослідних комплексів демонструє, що характерною особливістю сучасних підземних науково-дослідних споруд є чіткий розподіл окремих функціональних зон. В ході аналізу було визначено низку підземних та наземних функціональних блоків. До функціональної групи підземних приміщень здебільшого відносяться блоки: експериментальний, науково-дослідний, інженерний, службовий, побутовий, санітарно-захисний, транспортний, безпековий. У функціональну групу наземних приміщень входять: адміністративний блок, харчовий блок, санітарно-побутовий блок, інженерний блок, житловий блок. В залежності від пріоритетного напрямку діяльності підземного науково-дослідного комплексу домінує та чи інша група приміщень. Експериментальна зала доповнюється супровідними групами приміщень різного функціонального призначення. В більшості випадків, яскраво вираженим є домінування групи приміщень, що складається з ядра головної зали (або кількох зал) призначеної для проведення основних експериментів в певній науковій галузі, службових приміщень, інженерних осередків, дослідницьких лабораторій, приміщень для персоналу, «чистих» приміщень. Значна частина функціональних зон зосереджена в підземній частині,

втім, дослідження показало, що наразі підземна частина приміщень має бути додатково забезпечена й розвинутою наземною частиною, котра виконує певні адміністративні, громадські та житлові функції. Однак, порівнюючи підземну та наземну частини даного типу комплексів, можна зробити висновок, що підземна частина в своєму розвитку значно переважає наземну.

Аналіз *об'ємно-просторової структури* підземних науково-дослідних комплексів дозволив визначити переважання блочного типу в просторовій організації підземних науково-дослідних комплексів. Для комплексу з блочною структурою підземної частини характерне розміщення різних функціональних груп в окремих об'ємах - ядро головної експериментальної зали сполучається з допоміжними об'ємами (лабораторії, інженерні та службові приміщення, вхідна зона, побутові приміщення) найкоротшими транзитними шляхами – горизонтальними тунелями. Однак, в світовій практиці відома і компактна організація підземної частини лабораторій, що пов'язане з галуззю науки – астрофізикою, котра не вимагає великих експериментальних просторів. Для наземної частини підземних науково-дослідних комплексів характерні як павільйонна, так і блокована організація території. В поодиноких випадках зустрічається й компактна структура, що характеризується недостатньо розвинутою підземною частиною.

В ході аналізу *архітектурно-планувальної структури* світових аналогів підземних науково-дослідних комплексів виявлені дві особливості розвитку підземної частини: горизонтальний однорівневий розвиток та вертикальний багаторівневий розвиток. Окремі функціональні групи пов'язані між собою основними та допоміжними тунелями.

Аналіз *містобудівної ситуації* наведених аналогів свідчить, що підземні комплекси даного типу мають розміщуватися за межами населених пунктів.

Ознаки	Містобудівне розміщення		Кількість рівнів		Планувальні характеристики				Цільове призначення				Країна
	В шахті	В гірському масиві	Однорівнева	Багаторівнева	Блокований	Компактний	Блокований	Павільйонний	Фізика та ядерна фізика	Астрофізика	Мультидисциплінарна		
Лабораторії													
Національна лабораторія Гран-Сассо													Італія
Підземна лабораторія Цзіньпінь													Китай
Сендфордський підземний дослідний центр													США
Садберійська нейтринна обсерваторія SNOLAB													Канада
Обсерваторія Каміока та Гпер-Каміоканде													Японія
Підземна лабораторія Канфранк													Іспанія
Підземна лабораторія Модан													Франція
Підземна лабораторія Булбі													Англія
Підземна дослідна лабораторія HADES													Бельгія
Підземна лабораторія Судан													США
Yemilab													Південна Корея
Підземна лабораторія фізики Stawell													Австралія
CallioLab													Фінляндія
Індійська нейтринна обсерваторія INO													Індія
Великий Адронний Коллайдер													Швейцарія
Солотвинська підземна лабораторія													Україна

Сучасні тенденції проектування підземних науково-дослідних комплексів

- В шахті
- В гірському масиві

Містобудівне розміщення

- В шахті

- Однорівнева

Кількість рівнів

- Багаторівнева

- Блокована підземна частина
- Павільйонна наземна частина

Планувальні характеристики

- Блокована підземна частина
- Павільйонна наземна частина

- Фізика та ядерна фізика

Цільове призначення

- Мультидисциплінарна з акцентом на астрофізику та ядерну фізику

Сучасні тенденції проектування підземних науково-дослідних комплексів

Найбільш перспективні напрями розвитку підземних науково-дослідних комплексів в Україні

Рис.1.12.

Сучасні тенденції організації підземних науково-дослідних комплексів та перспективні напрями їх розвитку в Україні

Найбільш характерним є розміщення в гірському масиві та шахті. Серед основних факторів, що впливають на розміщення підземних науково-дослідних комплексів варто зазначити: характер породи, від якості котрої залежить глибина залягання науково-дослідного комплексу; зовнішні чинники, що здатні вплинути на роботу лабораторії – шахтні роботи, дорожній рух тощо; показники радіоактивного середовища та наявність наземних водоймищ чи підземних вод.

Вивчення та аналіз світових аналогів проектування глибокопідземних лабораторій дали змогу визначити *цільове призначення*, що характерне для даного типу комплексів. Найбільш актуальними наразі є дослідження, що проводяться у галузях фізики та ядерної фізики. Однак, зважаючи на останні проектні пропозиції, перспективним є дослідження темної матерії в галузі астрофізики.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I

У розділі I досліджені наукові праці вчених з різних галузей наук, котрі є дотичними до проблематики дослідження. Проведений аналіз та систематизація даних свідчать про потребу проведення подальшого вивчення питань архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів. Поза увагою як світових, так і вітчизняних науковців залишається низка актуальних проблем, в тому числі питання формулювання критеріїв класифікації підземних науково-дослідних комплексів, створення рекомендацій щодо їх проектування зокрема на території України.

В ході аналізу історичного розвитку та процесів активного освоєння підземного простору закордоном та на території України виокремлено 6 ключових періодів освоєння підземного середовища: зародження, формування, розвиток, становлення, розквіт та період міленіуму. Їх поетапний розвиток від перших підземних печер та погребальних камер до підземних міст-дублікатів та підземних науково-дослідних компле-

ксів. Проведено порівняльний аналіз закордонного та вітчизняного історичного досвіду освоєння підземного простору, в ході котрого були виявлені суттєві відмінності в процесі освоєння підземного середовища (рис.1.8)

Проведено аналіз вітчизняного та закордонного досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів. Виявлено основні тенденції функціонально-планувальної, об'ємно-просторової, архітектурно-планувальної структури та містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів. Характерною рисою підземних науково-дослідних комплексів є їхнє чітке функціональне зонування, що визначається цільовим призначенням комплексу. Для комплексів даного типу найбільш характерним є розташування за межами населеного пункту в гірському масиві або шахті. Більшість глибокопідземних лабораторій мають переважаючий однорівневий горизонтальний розвиток. Підземна частина має блоковану структуру, а для наземної більш характерною є павільйонна організація. Переважна більшість сучасних глибокопідземних лабораторій орієнтовані на дослідження в галузях фізики та ядерної фізики.

В ході проведеного аналізу вітчизняного досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів виявлено, що практика проектування комплексів з домінуючою науково-дослідницькою функцією, на відміну від світової, потребує подальшого вдосконалення, оскільки не задовольняє сучасний потенціал розвитку наукової галузі України. Це виражається в наявності лише однієї підземної науково-дослідної лабораторії на теренах України, котра не здатна задовільнити потреби сучасних науковців через відсутність необхідних площ, нестачі вітчизняних досліджень по даній темі, необхідного фінансування, примітивності архітектурно-планувальних рішень та загального руйнування лабораторії через підтоплення.

Зважаючи на сучасні тенденції та враховуючи можливість перспективного розвитку науково-дослідної галузі в Україні, найбільш перспективними тенденціями для вітчизняної проектної практики авторкою виділені наступні: розміщення за межами населеного пункту на території вже існуючих підземних виробок з вертикальним та

горизонтальними доступом; багаторівнева структура з домінуючим вертикальним розвитком; блокована структура підземної частини з горизонтальними функціональними зв'язками; павільйонна організація наземної території; мультидисциплінарність комплексу зі значним акцентом на дослідженнях темної матерії та ядерних реакцій (рис.1.12).

РОЗДІЛ II

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ

Спираючись на аналіз світового досвіду формування підземних будівель та споруд, зокрема підземних науково-дослідних комплексів, доцільно розробити методичні засади архітектурно-планувальної організації даних комплексів, конкретизувати методи їх вивчення. Визначення основних тенденцій проектування та перспективних напрямків розвитку підземних науково-дослідних комплексів в Україні зумовлює збільшення теоретичних знань щодо організації підземних комплексів.

Серед завдань другого розділу важливо виділити застосування методу оцінки впливу факторів на архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів; створення класифікаційної системи комплексів; визначення характерних рис функціонально-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів.

2.1. Загальна методика дослідження організації підземних науково-дослідних комплексів

Проведений аналіз архітектурної організації підземних науково-дослідних комплексів дозволив визначити ряд питань, котрі потребують подальшого дослідження. Питання освоєння підземного простору в сучасному місті чи поза його межами слід розглядати не в якості сукупності стихійного будівництва окремих підземних споруд, а як реалізацію системного підходу та комплексного розвитку підземного простору відповідно до стратегії планування міста [50].

Подібний системний підхід доцільно застосувати і в методологічному аспекті дослідження організації підземних науково-дослідних комплексів. Відповідно до по-

ставленої мети дослідження, визначення особливостей архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, та для вирішення поставлених задач, доцільно використати ту методика, що буде ґрунтуватися на системному підході.

Характерною особливістю системного підходу є вивчення логічних процесів створення складного об'єкту з певних компонентів. Особлива увага звертається на різноманіття внутрішніх і зовнішніх зв'язків системи, на процес поєднання основних термінів у єдину теоретичну картину, що дає змогу визначити сутність цілісності системи [54, с .5]. Серед основних принципів, яких варто дотримуватися при застосуванні системного підходу, варто відзначити:

- цілісність, котра полягає у становленні системи як єдиного цілого, в котрій існує залежність кожного елемента від його місця, ролі та функцій;
- структурність характеризується можливістю опису системи через встановлення зв'язків та відношень елементів в системі;
- ієрархічність, в якій кожний елемент системи може бути розглянутий як окрема система, а досліджувана система може розглядатися як один з компонентів іншої, більш глобальної системи
- взаємозалежність структури і середовища визначається формуванням і виявленням властивостей системи в процесі її взаємодії із зовнішнім середовищем, за умовою, що вона є провідним компонентом цієї взаємодії (рис.2.1)[54, С.22-23].

Вчений Габрель М.М. в своїй роботі «Просторова організація містобудівних систем» розглядає виключно просторову організацію суспільства та містобудівних систем зокрема [119, 54]. В той час, як підземний простір має бути розглянутий з точки зору системного підходу, в аспекті глибинно-просторової глобальної системи, котру умовно можна поділити на три шари: наземна частина, рівень землі, підземна частина.

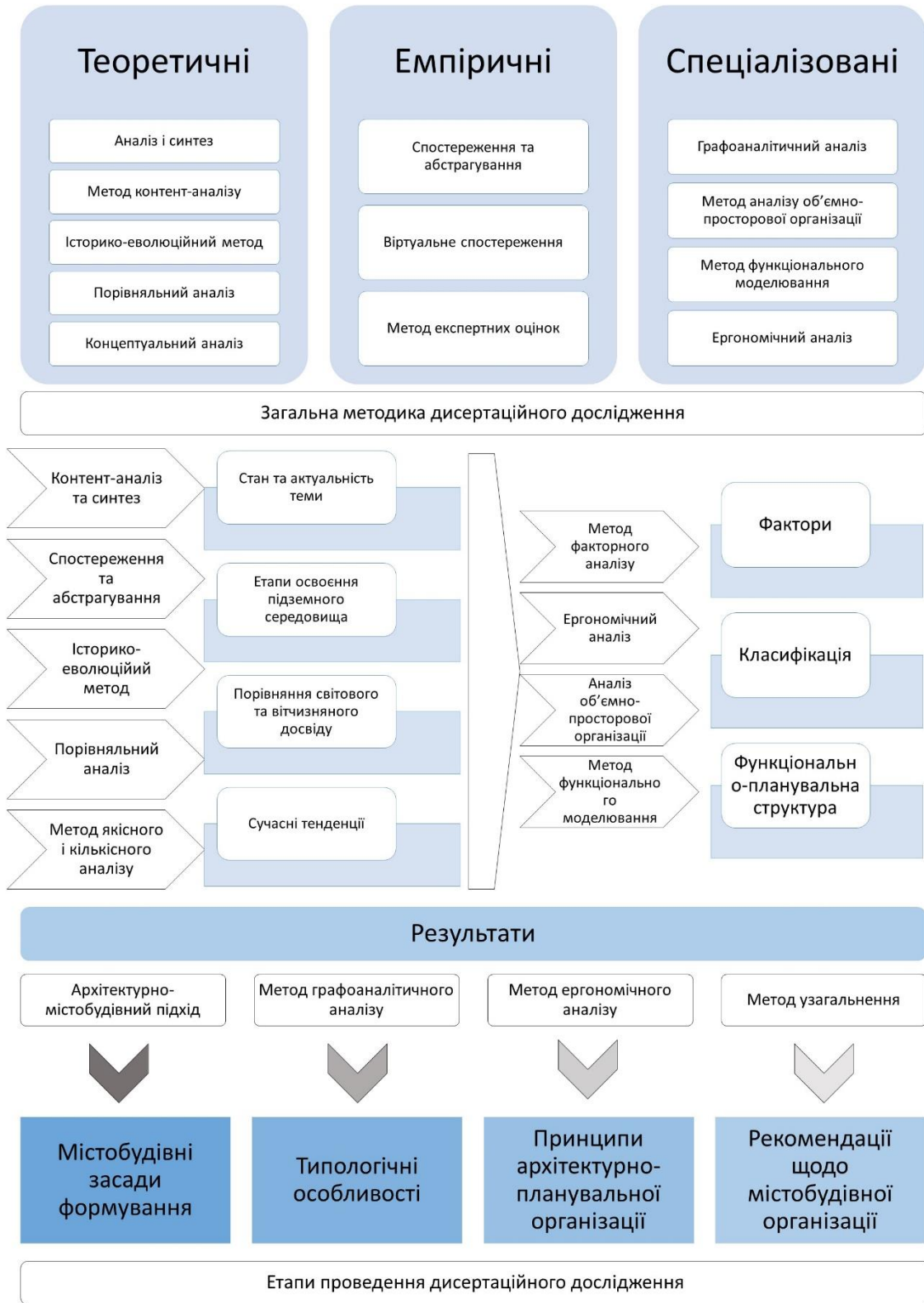


Рис.2.1.

Загальна методика дослідження організації підземних науково-дослідних комплексів

Системний підхід в своїх дослідженнях освоєння підземного простору великих міст застосовує Гайко Г.І., вважаючи найбільш доцільною геосистему «геологічне середовище – підземне місто», котра найбільш повно здатна досягнути взаємозв'язки елементів системи на стадії проектування. У геосистемі, запропонованій Гайко Г.І., можливо поєднати сукупність взаємодії техногенних і природничих чинників з факторами структурно-функціонального характеру освоєння підземного простору. Цим самим створити нові можливості для стратегічного планування, створення техніко-економічних обґрунтувань і для вдосконалення технологій міського підземного будівництва [38].

На основі запропонованої геосистеми «геологічне середовище – підземне місто» доцільно створити майстер-план підземного середовища, як єдиної взаємопов'язаної системи, вдалим прикладом котрого є майстер-план підземного простору міста Гельсінкі.

Гайко Г.І. було виокремлено низку пріоритетних завдань, котрі мають бути вирішені при застосуванні системного підходу:

- створення системи даних підземних об'єктів, шляхом аналізу вже існуючих об'єктів та тих, що проектуються;
- проектування підземних об'єктів з урахуванням природничих, техногенних та історичних факторів;
- системний розвиток підземної урбаністики на базі геосистеми «геологічне середовище – підземне середовище»;
- моделювання геосистеми та встановлення залежностей факторів впливу від масштабу підземного об'єкту;
- прогнозна оцінка ризиків спорудження;
- прогнозна оцінка змін первісного геомеханічного стану навколишнього середовища та їх вплив на існуючу забудову;

- розробка та обґрунтування ресурсозберігаючих способів спорудження підземних об'єктів [38].

Використання системного підходу дає змогу проаналізувати підземний простір як глобальну систему, виокремивши в ній підземні науково-дослідні комплекси у якості єдиної системи із взаємозалежними та пов'язаними між собою елементами (об'ємно-просторове рішення, функціональне планування, містобудівну організацію) та зв'язками між ними.

В загальній методиці дослідження архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів передбачається поступове виконання основних етапів:

1. Аналіз передумов:

- a. аналіз та синтез емпіричних і теоретичних передумов дослідження, визначення актуального стану проблеми;
- b. постановка мети дослідження, основних задач. Визначення об'єкту та предмету дослідження.
- c. дослідження історичного розвитку підземних комплексів, аналіз сучасного світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів, дослідження їх типології, принципів архітектурно-планувальної організації.

2. Визначення методів дослідження, вивчення факторів.

3. Визначення наукових засад:

- a. систематизація отриманих даних та висунення наукової гіпотези;
- b. узагальнення результатів дослідження;
- c. укладання методичних рекомендацій щодо архітектурно-просторової, функціонально-планувальної та містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів на території України.

На кожному етапі дослідження передбачено застосування як загальнонаукових, так і спеціалізованих методів, що формують загальну методику дослідження.

Методи, котрі використовуються під час наукового дослідження, доцільно розділити на загальнонаукові: *теоретичні* та *емпіричні*, *міждисциплінарні* та *дисциплінарні* архітектурні методи.

Емпіричний рівень дослідження складається з двох етапів. Перший етап характеризується отриманням фактів з першоджерел, подекуди використовуються вторинні та третинні джерела фактів. Друга стадія передбачає критичне оцінювання і перевірку кожного факту, опис факту за допомогою визначених термінів, відбір типових фактів, що визначають основні тенденції розвитку. *Теоретичний* рівень передбачає глибокий аналіз фактів, дослідження сутності явищ та їх пояснення, вироблення принципів та практичних рекомендацій [54, с.78].

В дослідженні передбачено використання наступних *загальнонаукових* методів: метод контент-аналізу; історико-еволюційний метод; порівняльний аналіз; факторний аналіз. У дослідженні використовуються наступні *спеціалізовані* архітектурно-містобудівні методи: графоаналітичний аналіз; методика комплексної оцінки території; метод аналізу архітектурно-планувальної організації; метод аналізу об'ємно-просторової організації; метод функціонального моделювання; ергономічний аналіз.

Зазначені методи належать до групи вторинних методів, котрі передбачають аналіз та систематизацію зібраних даних.

Початковий етап дослідження полягає у відборі та обробці інформації з подальшими узагальненнями та висновками. На цьому етапі використовується метод *контент-аналізу* та *синтезу* наукових і методичних праць, що були опрацьовані у першому розділі. Шляхом методів *спостереження* та *абстрагування* був з'ясований стан актуальності та вивченості проблематики дослідження. Були опрацьовані та систематизовані наукові роботи вітчизняних та закордонних науковців, котрі спеціалізуються

у різних галузях науки та висвітлювали процес освоєння підземного простору в Україні та світі. Крім зазначених джерел, були опрацьовані міжнародні нормативно-правові документи, резолюції, звіти міжнародних організацій.

В ході використання *історико-еволюційного* методу, аналізу історичних джерел, вдалося дослідити процес освоєння підземного простору на території України та в світі. Вдалося визначити етапи розвитку підземного середовища, провести *порівняльний* аналіз світового та вітчизняного досвіду освоєння підземного простору.

Методом контент-аналізу світової та вітчизняної практики проектування підземних науково-дослідних комплексів вдалося виявити сучасні тенденції функціонально-планувальної, об'ємно-просторової, архітектурно-планувальної структури та містобудівної організації даних комплексів. Порівняння планувальних структур світових та вітчизняних аналогів дозволило виокремити перелік основних функціональних зон з домінацією науково-дослідницької зони та додаткових зон професійної діяльності, що доповнюють її.

Другий етап дослідження вимагає використання аналогічних методів, що на базі *концептуального аналізу та методу систематизації*, дозволяють обрати методи та методологію дослідження. На даному етапі необхідним є використання *методу факторного аналізу*, що застосовується для вивчення взаємозв'язків та впливу групи чинників на архітектурно-містобудівні та функціонально-планувальні рішення підземних науково-дослідних комплексів. Другий етап також передбачає використання *методу аналізу та узагальнення типологічних розробок*, що дозволяє класифікувати досліджуваний об'єкт за визначеними критеріями.

На другому етапі дослідження також передбачене використання спеціалізованих архітектурно-містобудівних методів: *аналізу архітектурно-планувальної організації та аналізу об'ємно-просторової організації*, в ході котрих вдалося виявити основні функціональні зони досліджуваного об'єкту, встановити взаємозв'язки між ними,

вивести основний перелік приміщень підземних науково-дослідних комплексів та узагальнити функціональну структурну модель комплексу. Для формування функціонально-планувальної структури досліджуваного об'єкту використаний *метод функціонального моделювання та експериментального проектування*.

Третій етап дослідження передбачає використання *архітектурно-містобудівного підходу* для визначення містобудівних засад формування підземних науково-дослідних комплексів. Застосування *методу графоаналітичного аналізу та контент-аналізу* дозволяє визначити типологію досліджуваного об'єкта. В ході використання *методу узагальнення дослідження, графоаналітичного та ергономічного аналізу* формуються основні принципи архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів. На даному етапі також передбачене використання *методу експериментального та концептуального проектування* задля узагальнення результатів дослідження та створення відповідних моделей, що відповідали б нормам проектування в Україні. При експериментальному проектуванні був також застосований *метод комбінаторики*, що характеризується створенням функціональних окремих модулів та їх поєднанням у цілісну структуру, що буде підпорядковуватись технологічним та функціональним вимогам. Останній етап наукового дослідження передбачає використання *методу узагальнення* результатів роботи задля формування рекомендацій щодо вирішення містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів.

Методи, що використовуються у науковому дослідженні, є невід'ємною частиною обраного системного підходу для дослідження підземних науково-дослідних комплексів. Обрані методи є взаємодоповнюючими та взаємопов'язаними, складають методологічний апарат даного дослідження. В сукупності дані методи забезпечують змістовне та повне вивчення архітектурного середовища підземних науково-дослідних комплексів, що існує на даний момент.

Використання методологічного інструментарію дало змогу виявити необхідність розробки методичних рекомендацій та принципів архітектурно-планувальної організації сучасних підземних науково-дослідних комплексів на території України. За допомогою використаних загальнонаукових та спеціалізованих методів вдалося проаналізувати та узагальнити отримані результати наукового дослідження, окреслити основні етапи еволюційного розвитку підземного простору, сформулювати сучасні тенденції формування науково-дослідних комплексів, а також сформулювати пропозиції та шляхи вдосконалення архітектурних рішень, що пов'язані із даним науковим дослідженням. Принципи архітектурно-планувальної організації та основні положення висвітлені у третьому розділі дисертаційної роботи.

2.2. Метод оцінки впливу факторів на архітектурно-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів

В ході дослідження були проаналізовані історичні, наукові та картографічні джерела, зокрема тектонічна карта України, карта шахт Донбасу, карта корисних копалин України. Спираючись на попереднє дослідження світового досвіду будівництва підземних науково-дослідних комплексів, були визначені основні групи факторів, що впливають на містобудівну організацію, об'ємно-просторову та архітектурно-планувальну структури підземних науково-дослідних комплексів. 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 одний, тому пропонується розглядати їх сукупність з точки зору системного підходу.

Характерним є вплив групи *інженерно-геологічних* факторів (рис.2.2), що включають в себе властивості гірських порід або ґрунту, тиск ґрунтових вод і підземних течій, сейсмічні умови [106]. Допустима глибина, на якій можуть бути проведені будівельні роботи, визначається рівнем ґрунтових вод [159]. Ґрунтові води це підземні води першого від поверхні Землі постійного водоносного горизонту і утворюються за рахунок просочування осадів і вод озер, річок та інших природних та штучних водоймищ. Розподіл ґрунтових вод за територією підпорядковується кліматичній зональності [138].

Об'єми, глибина залягання та якість ґрунтових вод залежить від географічних факторів. Для території України характерною є схема зонування ґрунтових вод, на якій виділено чотири основні зони ґрунтових вод. На півночі України, в зоні Полісся, що включає в себе Київську, Чернігівську, частково Житомирську та Волинську області, знаходяться високі ґрунтові води, що вміщують малу кількість мінеральних солей та домішки органічних сполук. Глибина залягання ґрунтових вод в цій зоні від 4-6 та інколи до 10 м на міжріччі. В понижених місцях ґрунтові води першої зони зливаються з болотами [130].

На території Донбасу та Харківщини, Сумської області, що належать до другої зони, ґрунтові води зони глибоких ярів залягають на глибині 25-30 м і є прісними. Друга кліматична зона є зоною нестійкого зволоження, тому живлення річок ґрунтовими водами є дещо послабленим. Велику територію – від Ужгорода до Луганська, займають ґрунтові води яружно-балкової, третьої, зони. Майже скрізь вони залягають на глибині 50-60 м. Живлення річок в цій зоні ґрунтовими водами є незначним. Південну частину України, зокрема Одеську, Херсонську, Миколаївську області та АР Крим, займають ґрунтові води причорноморських балок, що залягають на глибині 100-120 м. Мінералізація цих вод подекуди досягає 5 г/л, через що води мало придатні до пиття [130].

Збір геологічних та геотехнічних даних має значний вплив на планувальні рішення підземного середовища. Геологічні та геотехнічні дані можуть бути зібрані в різних формах, які включають записи про наземні дослідження, серед яких наявність свердловин та випробувальні шурфи. Геофізичні дані, зібрані в результаті картографування та інтерпретації відшарування гірських порід або геологічне картографування [89].

Гірські породи, в котрих мають розміщуватись підземні споруди, повинні бути міцними, стійкими та водночас легко піддаватись обробці. Крім того, такі породи мають мати високі теплоізоляційні властивості, бути стійкими до окислення, не обводнюватись, не виділяти отруйних газів та бути інертними до вантажів, а також мати невелику пористість і бути вогнестійкими. Однак, в природі таких порід не існує, тому з усіх факторів виділяють основні – підвищена міцність, мала трудомісткість при вийманні, високі теплоізоляційні властивості [154].

Підземні об'єкти доцільно розміщувати на тих родовищах, що розробляються з відкритим виробленим простором – таким, який не обвалюється і не закладається після виймання породи. Це можливо досягти шляхом камерної та камерно-стовпової систем. Їх суть полягає у вийманні породи окремими виробками крупного перерізу – камерами, між котрими залишаються опорні стрічкові або прямокутні цілики. Вони здатні підтримувати верхню товщу гірських порід, а також зводять деформацію земної поверхні до мінімуму [154].

Зі збільшенням глибини, на якій розташовується підземний науково-дослідний комплекс, зменшується радіоактивний фон та вплив компонентів навколишнього середовища [14]. Космічне випромінювання високої енергії має постійний вплив на земну поверхню. Експерименти, що проводяться в галузі фізики елементарних частинок потребують простір, що буде вільний від цього впливу. Розкриті породи мають здатність діяти у якості щита, що захищають від небажаного випромінювання, котре здатне зменшитись у 10 мільйонів разів на глибині понад 1000 м [36, 154]. Глибина лабо-

раторії та характер гірських порід довкола характеризують кожний об'єкт [106]. Порівняно з поверхнею глибоке підземне середовище має очевидні переваги в середовищах спостереження, а переваги «надтихого» та «надчистого» середовища підземного простору можуть підтримувати високоточне чотиривимірне спостереження мультифізичних полів [105]. Серед цих полів виділяють:

- атмосферні мюони, чий потік зменшується зі збільшенням глибини;
- нейтрони, вплив котрих не залежить від глибини, але залежить від геологічних умов та бетону, що використовується при будівництві;
- нейтрони з більшою енергією, чий потік залежить від глибини;
- гамма-фонове поле, що зумовлене ядерними розпадами в навколишньому середовищі, не залежить безпосередньо від глибини, однак залежить від гірської породи;
- радон в повітрі є джерелом фону, а його активність залежить від місцевих умов і вентиляції, його рівень вимагає постійного контролю в кількох місцях комплексу [13].

Як правило, зі збільшенням глибини виникають проблеми із додатковими витратами разом зі збільшенням складності доступу, вентиляції, протипожежної безпеки та безпеки життєдіяльності. При сприятливих геологічних умовах розвиток та використання підземного простору є більш доступним, при гірших – витрати на розкопки, експлуатаційні витрати та можливості підземного комплексу значно погіршуються [89].

На території України підземний науково-дослідний комплекс доцільно розмішувати на території вже існуючих підземних споруд – наявних підземних об'єктах радянської доби на території Карпатських гір або в існуючих соляних та рудних шахтах, котрі за необхідності можна розширити та додатково укріпити.

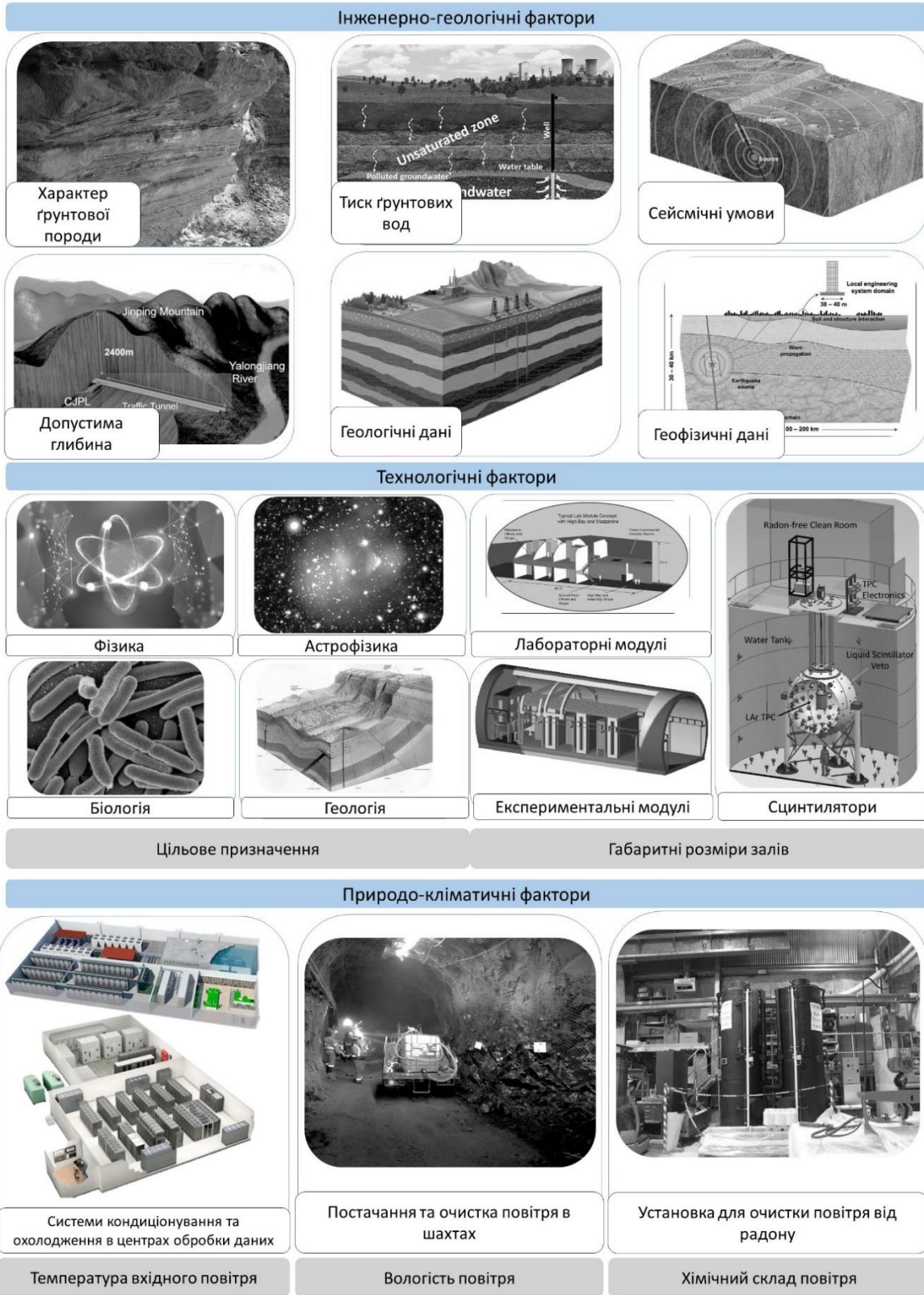


Рис.2.2.

Сукупність інженерно-геологічних, технологічних, природо-кліматичних факторів впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів

Економічні умови залишаються основною перешкодою для освоєння підземного простору (рис.2.3). Оскільки зведення та експлуатація підземних споруд є доволі коштовним, освоєння підземного простору часто доступне лише для тих країн та міст, які здатні покрити усі необхідні витрати. Низкою вчених було підкреслено, що економічне зростання відіграє важливу роль у формуванні підземного простору. Науковці також виявили, що використання підземного простору пов'язане із річним доходом на душу населення [106]. При порівнянні економічної ефективності наземних та підземних споруд варто врахувати зменшення витрат на деякі конструктивні та теплогідроізоляційні матеріали при зведенні підземних будівель та споруд. Значну роль відіграє також грошова оцінка землі [147].

Інженерно-геологічні фактори мають тісний зв'язок із *технологічними* вимогами організації підземного науково-дослідного комплексу (рис.2.2). Залежно від цільового призначення комплексу, а отже й від експериментальних досліджень, проектом лабораторії мають бути передбачені зали різних габаритів. Діаметр та висота 15-20 м необхідні для водяних екранів (в експериментах з пошуку темної матерії та подвійним бета-розпадом, що проводяться в лабораторії Гран-Сассо) і для великих рідинних сцинтиляторних детекторів, необхідних для сонячних нейтрино і геонейтрино. Великі висоти потребують достатньо товстих шарів якісної породи [13,14, 154]. Технологічні вимоги визначають перш за все домінуючу групу функціональних приміщень. Технологічні фактори визначають архітектурно-планувальну та об'ємно-просторову структуру комплексу, функціональне зонування та взаємозв'язки. Окремі групи функціональних приміщень та види діяльності, що передбачені під землею та на поверхні, визначають склад приміщень та їх параметри [154].

Групи *природо-кліматичних* чинників (рис.2.2) визначається характеристиками температури і вологості. Під землею температура зазвичай має постійну величину і в основних лабораторіях тримається під контролем за допомогою системи вентиляції кондиціонування повітря. Вологість вхідного повітря змінюється залежно від сезону

[159]. Наприклад, в лабораторії Канфранк, Іспанія, варіація становить від 50% взимку до 80-90% влітку. В лабораторії також відбувається моніторинг і інших природо-кліматичних параметрів за допомогою системи моніторингу на основі оптичних волокон [14].

Від сукупності інженерно-геологічних, технологічних та природо-кліматичних умов залежать *конструктивні* умови: технологія зведення підземного комплексу, використання будівельних матеріалів, конструктивні схеми та особливості експлуатації. Оскільки конструктивне рішення визначається перш за все технологічними вимогами, то влаштування конструкцій має повністю задовольняти всі технологічні та технічні аспекти діяльності підземного науково-дослідного комплексу. Одним з найважливіших аспектів конструктивного рішення має бути питання безпеки. Експериментальні зали та науково-дослідні лабораторії приміщення мають бути герметичними. Повинна бути забезпечена можливість повної ізоляції потенційно небезпечного осередка від решти приміщень. Горизонтальні тунелі, що сполучають групи приміщень між собою, мають бути обладнані герметичними тамбурами та шлюзами, комплекс має бути забезпечений евакуаційними тунелями, що ведуть на поверхню [159].

Основними вимогами до підземних споруд є їх стійкість та безпека, що здатне забезпечити особливий тип будівельної конструкції – гірниче кріплення. Гірничим кріпленням називають штучну будівельну конструкцію, що споруджується у виробках задля запобігання обрушень порід та збереження потрібної площі поперечного перерізу, розмірів виробок протягом терміну експлуатації. В підземному будівництві доцільно використовувати термін «оправа», що характеризує постійне суцільне кріплення тунелів, сховищ, метрополітену, підземних споруд електростанцій тощо. Конструкції кріплення мають забезпечувати проектні розміри споруди, сприйняття зовнішніх та внутрішніх навантажень, охорону від вивалів та обрушень породи, що оточує споруду, запобігати руйнуванню породи, забезпечувати гідроізоляцію. Крім зазначе-

них вимог важливо, аби інженерні конструкції були транспортабельними та ремонтнопридатними, мали уніфіковані елементи кріплення та забезпечували індустриальні способи їх виробництва. Конструкції кріплення класифікують за дев'ятьма ознаками: функціональне призначення, термін служби, матеріал конструкцій, форма кріплення, конструктивні ознаки, деформаційно-силові характеристики, носійна здатність, технологія спорудження, способи зведення [118].

Підземні споруди та конструкції, зокрема транспортні тунелі, піддаються впливам зовнішніх навантажень, характер котрих залежить від глибини залягання конструкції, інженерно-геологічних умов, характеру гірської породи тощо. Навантаження на підземні споруди поділяють на: постійні, що характеризуються впливом власної ваги конструкції, підземних комунікацій, тиском ґрунтових вод та породи, а також наземною забудовою, якщо така існує; тривалі – вага обладнання, тиск рідин та сипучих тіл; короточасні навантаження, що залежать від ваги транспортних засобів, людей, деталей та матеріалів в зоні обслуговування; особливі навантаження, що викликані вибуховими впливами, сейсмічною активністю, тимчасовою несправністю обладнання та ін [140].

Одним з основних типів кріплення тунелів та об'єктів підземної урбаністики є бетонні монолітні конструкції. Для капітальних горизонтальних, похилих та вертикальних виробок, чий термін служби перевищуватиме 10 років, доцільно використати бетонне кріплення – суцільну жорстку конструкцію, що виконана з монолітного бетону за допомогою опалубки. Кріплення горизонтальних та похилих виробок складається зі склепіння, вертикальних стінок та фундаментів. Для тунелів доцільно прийняти циркульну форму склепіння. У скельних породах, які притаманні Карпатським горам, ширину фундаменту варто прийняти за товщину стіни (від 200 до 500 мм), глибина складатиме 250 мм або 500 мм. Мінімальна товщина бетонного кріплення стволів має бути не менше 300 мм. Іншим типом кріплення, що можна застосовувати при підзем-

ному будівництві є набризкобетонне кріплення. Характерною особливістю цього методу є накидання бетонної суміші на поверхню виробки за допомогою спрямованого потоку повітря. При використанні цього методу тріщини гірських порід заповнюються рідким цементним тістом глибиною до 12-15 см, а на поверхні виробки утворюється водоцементна плівка, в якій затримуються часточки піску, а при зростанні товщини покриття крупні фракції наповнювача [118].

В умовах нерівного розподілу різних типів навантажень на конструкцію та значного тиску гірських порід, а також тривалого терміну експлуатації конструкцій, доцільно застосовувати монолітне залізобетонне кріплення. Залізобетонне кріплення з гнучкою арматурою, яку розташовують поблизу зовнішнього та внутрішнього контуру, споруджують у випадку, коли є можливість звільнити частину виробки від тимчасового кріплення та встановити арматурні каркаси, опалубку та провести бетонні роботи. Прути робочої арматури встановлюються на відстані 20-30 см, а діаметр стержнів складає 8-25 мм [118].

Конструкції тюбінгового залізобетонного кріплення застосовують для складних гірничо-геологічних умов, котрі характеризуються значним всебічним тиском гірських порід. Цей тип конструкцій застосовують для вертикальних, горизонтальних та похилих (до 25°) гірничих виробок. Тюбінгове кріплення є суцільною конструкцією криволінійного абрису, котра складається з циліндричних сегментів, котрі щільно укладені один до одного. З одного боку вони мають поздовжні та поперечні ребра жорсткості, а з іншого – гладку поверхню плити, що контактує безпосередньо з породою.

Спираючись на проведені дослідження та сучасні тенденції проектування даного типу підземних споруд, доцільно розглянути технології зведення підземних тунелів, оскільки транспортні тунелі є основним транзитом в підземних науково-дослідних комплексах. Характерною для цих конструкцій є D-подібна або ж арочна форма, оскільки вона є найбільш універсальною для більшості гірських порід. Для зведення вхі-

дною порталю під'їзною тунелю доцільно використати армований цементобетон задля захисту вхідного отвору тунелю від падіння пухких розкривних порід, аби уникнути будь-якого блокування в'їзду. Задля забезпечення безперешкодного двостороннього руху, тунель пропонується діаметром 7,5 м. Під час будівництва доцільно використати традиційний метод буровибухових робіт. З обох боків під'їзною тунелю необхідно передбачити лотки шириною щонайменше 50 см на різних висотах для прокладання необхідних комунікацій системи життєзабезпечення. Для аркової частини тунелю пропонується застосування армованого цементобетону товщиною 1 м, кінці жарочної плити необхідно замурувати в породу на ширину 2 м з обох боків для передачі напружень в породі [45].

До групи *містобудівних* (рис.2.3) факторів належить низка аспектів, котрі необхідно врахувати при зведенні підземного комплексу. Першочерговим є розміщення підземного об'єкту в контексті оточуючої забудови. Проведений аналіз світового досвіду проектування глибокопідземних лабораторій та їх містобудівної організації показав, що дані об'єкти мають бути розміщені виключно за межами населених пунктів. Їх розташування залежить від наявності поблизу транспортних тунелів (автомагістралей), що проходять крізь гірський масив, чи вертикальних гірничовидобувних шахт [159]. Будівництво слід планувати з урахуванням інтенсивності населення, площі інтенсивності або об'єму. Доступ до підземного об'єкту повинен бути ретельно продуманий з точки зору наземної поверхні [89]. Доступ до підземного науково-дослідного комплексу може бути забезпечений через існуючий горизонтальний тунель або вертикальну шахту. У лабораторіях Гран Сассо, Канфранк та ANDES забезпечений горизонтальний доступ через збудований раніше автодорожній тунель. В деяких лабораторіях під'їзний тунель може бути побудований виключно для потреб лабораторії. Обсерваторія Каміока знаходиться в шахті з горизонтальним доступом. Лабораторії SNOLab і SURF забезпечені вертикальним доступом через шахтні вертикальні тунелі

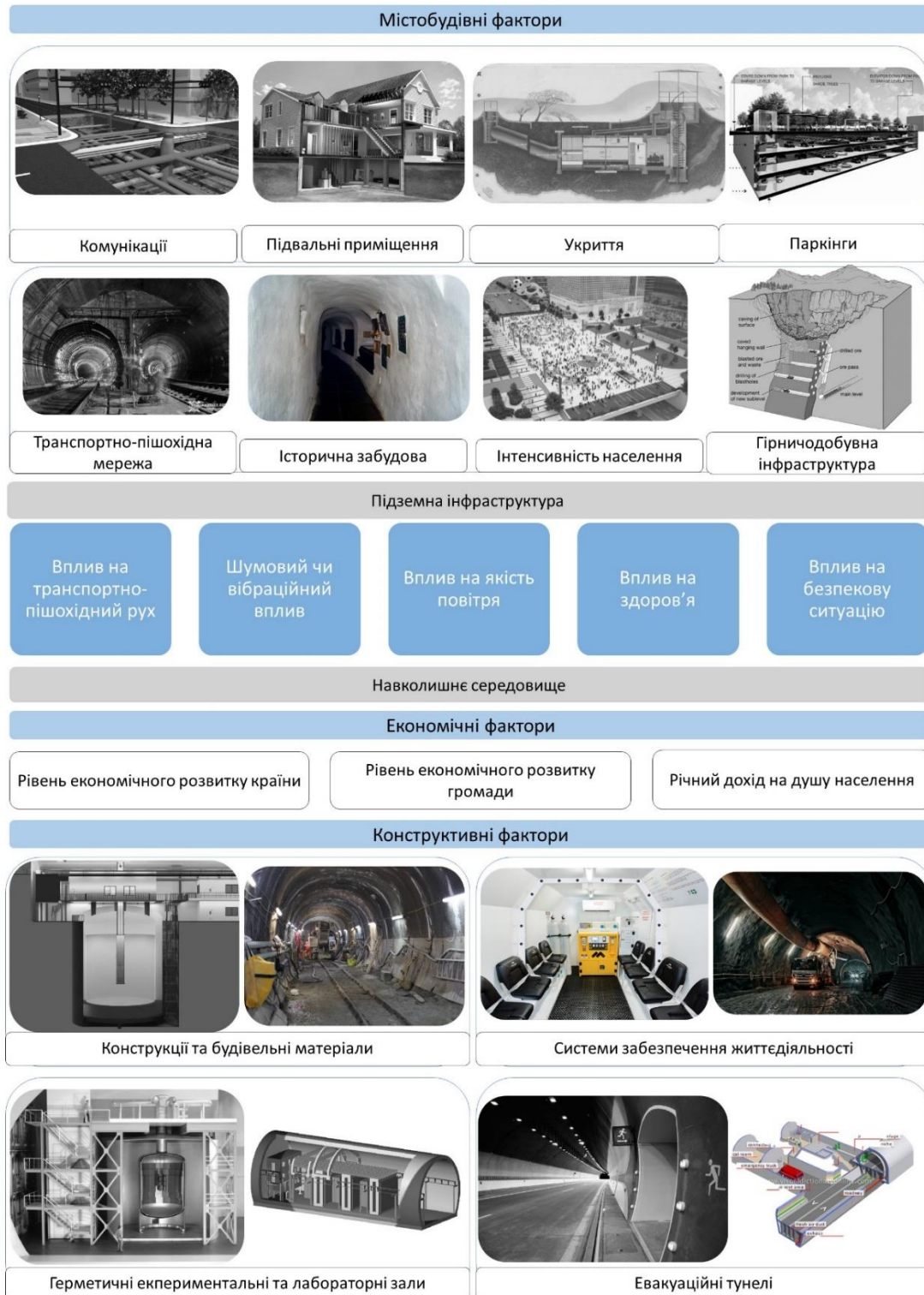


Рис.2.3. Сукупність містобудівних, економічних, конструктивних факторів впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів

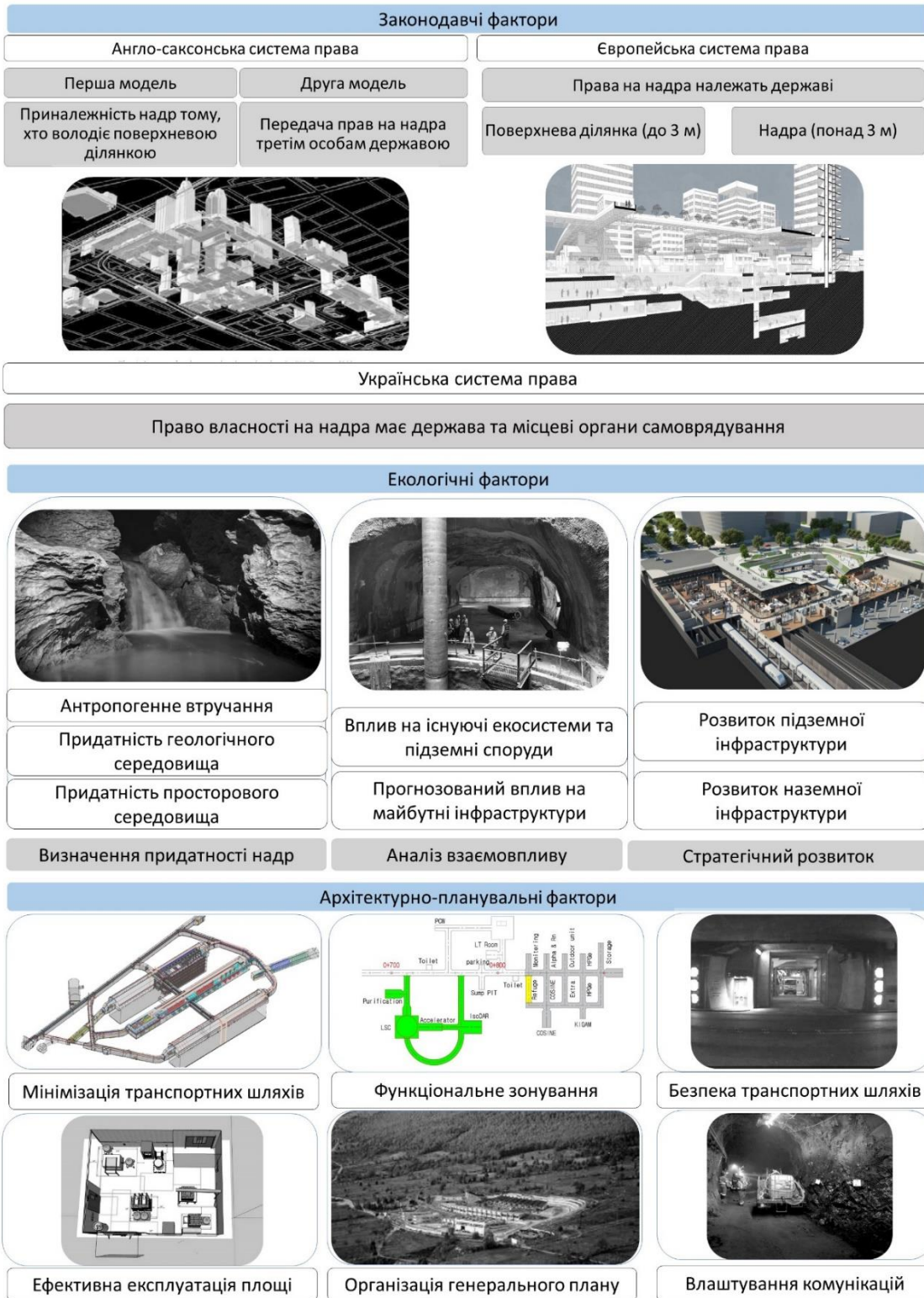


Рис.2.4.

Сукупність законодавчих, екологічних, архітектурно-планувальних факторів впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів

[14]. Українська підземна лабораторія Солотвино побудована в діючій соляній шахті, однак внаслідок підтоплення наразі не є активною.

Іншим значним містобудівним фактором є вплив навколишнього середовища на підземний об'єкт: шахтні роботи, дорожній рух тощо. Варто врахувати і вплив підземного середовища на наземне середовище: 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) [89]. Ключовим аспектом містобудування також варто розглянути й наявність історичної забудови, інженерних комунікацій, зокрема, прокладених труб 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 [89, 159].

Не менш значущою групою факторів, що мають вагомий вплив на організацію підземного науково-дослідного комплексу, є *законодавчі* чинники, оскільки на рівні державного законодавства має бути регламентоване питання власності на георесурси надр (рис.2.4.) [159]. Англо-саксонська система права, що діє на території Великобританії, Австралії, Канади, США та інших, передбачає використання двох правових моделей. Перша модель забезпечує приналежність надр тому, хто володіє поверхневою земельною ділянкою. Друга модель ґрунтується на передачі прав на надра третім особам державою у випадку, якщо у поверхневих ділянок не має власника. Більшість країн Європи та Південної Америки слідує моделі, згідно з якою права на надра належать державі і вона може розпоряджатися ними, як приватна особа. В даній моделі власність розділяється на поверхневу ділянку (глибиною до 3 м) та надра (глибиною понад 3 м). Конституція України передбачає правоналежність надр не тільки державі, але й органам місцевого самоврядування, що значно спрощує використання надр

місцевими громадами [124]. Р. Стерлінг, президент Міжнародної асоціації дослідників підземного простору (ACUUS) стверджує, що питання власності на «підземний простір» є ключовим для розвитку підземної урбаністики [124].

Екологічні чинники (рис.2.4) доцільно розглянути в контексті сталого розвитку, досягнення котрого можливе шляхом балансу експлуатації надр з їх збереженням. Архітекторами Ханом Адміраалом та Антонією Корнаро в книзі «Underground spaces unveiled» [6] запропоновано два основні кроки використання підземного простору для досягнення мети сталого розвитку міст. Перший крок характеризується визначенням придатності надр для використання при антропогенному втручанні, придатності геологічного та просторового середовища. Другий крок полягає в аналізі впливу підземного об'єкту на існуючі екосистеми та підземні споруди, в тому числі підземні інфраструктури, що можуть мати майбутній розвиток. Оскільки переважаючий вертикальний розвиток підземного середовища та горизонтальний розвиток наземного будівництва здатні створити перешкоди при подальшому комплексному освоєнні території, при розробці проекту підземного об'єкту має бути врахований стратегічний розвиток наземної території [6].

Останньою, проте не менш важливою, групою чинників є *архітектурно-планувальні*. Дана група факторів визначають вирішення об'ємно-просторової структури підземного комплексу, функціонально-планувального зонування підземної та наземної частин. Об'ємно-просторово та функціонально-планувальна структури підземного науково-дослідного комплексу залежать від технологічних та інженерно-геологічних умов, існуючої містобудівної організації території. Вплив функціонально-планувального чиннику полягає в реалізації трьох основних прийомів: мінімізації транспортних зв'язків в межах комплексу, компактне розташування функціональних зон, безпека транспортних шляхів. Функціонально-планувальний чинник полягає у ефективній експлуатації площі, раціональній організації генерального плану, влаштування вертикальних та горизонтальних комунікацій. Об'ємно-просторовий аспект архітектурно-

планувально фактору визначається містобудівною організацією комплексу, його цільовим призначенням (рис.2.4).

Визначивши основні фактори, що впливають на процес будівництва та експлуатації підземного науково-дослідного комплексу, можна скласти зведену таблицю по оцінці взаємовпливу даних факторів один на одній. Таким чином можливо визначити найсильніші взаємозв'язки між групами факторів та їх взаємовплив.

Авторкою дослідження пропонується розрахувати взаємозв'язок факторів впливу за числовими значеннями: 0 – відсутній вплив, 1 – слабкий вплив, 2 – помірний вплив, 3 – великий вплив. Отримані значення для кожної категорії факторів пропонується додати, аби наочно визначити найбільший взаємовплив між групами факторів.

Таблиця 1. Оцінка взаємовпливу між групами факторів

№	Фактори	I. Інженерно-геологічні фактори				II. Природо-кліматичні			III. Технологічні фактори			IV. Конструктивні			V. Архітектурно-планувальні фактори			VI. Містобудівні			VII. Економічні	VIII. Законодавчі
		Характер ґрун-тових породи	Тиск ґрунтових вод	Сейсмічні умови	Розташування	Температура повітря	Вологість повітря	Хімічний склад повітря	Галузь науки	Експериментальні установки	Додаткові мо-дифікації	Будівельні ма-теріали	Функціональне призначення	Комунікації	Об'ємно-просторові параметри	Інженерні ко-нструкції	Історична забудова	Існуюча забудова				
1	2	3				4			5			6			7			8			9	10
I. Інженерно-геологічні фактори																						
1	Характер породи					0	0	0	3	3	3	3	2	1	2	0	0	0	3	3		
2	Тиск ґрунтових вод					0	0	0	2	2	2	3	1	2	1	0	0	0	3	3		
3	Сейсмічні умови					0	0	0	1	2	2	3	1	1	1	0	0	0	3	3		
4	Розташування					3	3	3	3	0	0	3	1	2	3	3	3	3	3	3		
						9			23			12			18			9			12	12
II. Природо-кліматичні																						

5	Температура повітря	0	0	0	3				0	3	2	2	1	2	1	0	0	0	2	0
6	Вологість повітря	0	0	0	3				0	3	2	2	1	2	1	0	0	0	2	0
7	Хімічний склад повітря	0	0	0	3				0	3	2	2	1	2	1	0	0	0	2	0
		9						15			6	12			0			6	0	
III. Технологічні фактори																				
8	Галузь науки	3	3	3	3	0	3	2				3	3	3	3	1	1	1	3	2
9	Експериментальні установки	2	2	2	0	0	3	2				3	3	3	3	2	2	2	3	2
10	Додаткові модулі	1	2	2	0	0	3	2				3	3	3	3	2	2	2	3	2
		23			15						9	27			15			9	6	

№	Фактори	I. Інженерно-геологічні фактори				II. Природо-кліматичні			III. Технологічні фактори			IV. Конструктивні	V. Архітектурно-планувальні фактори			VI. Містобудівні			VII. Економічні	VIII. Законодавчі		
		Характер ґрунтової	Тиск ґрунтових вод	Сейсмічні умови	Розташування	Температура вхід-	Вологість повітря	Хімічний склад по-	Галузь науки	Експериментальні	Додаткові модулі	Будівельні матеріали	Функціональне зо-	Комунікації	Об'ємно-простор-	Інженерні комуні-	Історична забудова	Існуюча забудова				
1	2	3				4			5			6	7			8			9	10		
IV. Конструктивні																						
11	Будівельні матеріали	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3				1	2	3	0	0	0	3	1
		12				6			9						6			0			3	1
V. Архітектурно-планувальні фактори																						
12	Функціональне зонування	2	1	2	1	1	2	1	3	3	3	1				3	3	3	1	1		
13	Комунікації	1	2	1	2	1	2	1	3	3	3	2				3	3	3	3	1		

14	Об'ємно-просторова	1	1	1	3	1	2	1	3	3	3	3		3	3	3	3	1	
		18				12			27			6		27			7	3	
VI. Містобудівні																			
15	Інж. комунікації	0	0	0	3	0	0	0	1	1	1	0	3	3	3		3	3	
16	Істор. забудова	0	0	0	3	0	0	0	2	2	2	0	3	3	3		3	3	
17	Існуюча забудова	0	0	0	3	0	0	0	2	2	2	0	3	3	3		3	3	
		9				0			15			0	27			9	9		
18	VII. Економічні	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	1	3	3	3	3	0	
		12				6			9			3	7			9	0		
19	VIII. Законодавчі	3	3	3	3	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	0
		12				0			6			1	3			9	0		

Продовження таблиці 1. Оцінка взаємовпливу між групами факторів

Таблиця 2. Зведена таблиця результатів оцінки взаємовпливу групи факторів

Фактори	I. Інженерно-геологічні фактори	II. Природо-кліматичні	III. Технологічні фактори	IV. Конструктивні	V. Архітектурно-планувальні фактори	VI. Містобудівні	VII. Економічні	VIII. Законодавчі
I. Інженерно-геологічні фактори		9	23	12	18	9	12	12
II. Природо-кліматичні	9		15	6	12	0	6	0
III. Технологічні фактори	23	15		9	27	15	9	6
IV. Конструктивні	12	6	9		6	0	3	1

V. Архітектурно-планувальні фактори	18	12	27	6		27	7	3
VI. Містобудівні	9	0	15	0	27		9	9
VII. Економічні	12	6	9	3	7	9		0
VIII. Законодавчі	12	0	6	1	3	9	0	

Спираючись на результати отримані в ході оцінки факторів впливу, доцільно зробити висновок, що найбільший взаємовплив спостерігається між групою архітектурно-планувальних факторів з технологічними та містобудівними чинниками. Група інженерно-геологічних чинників в свою чергу найбільший взаємовплив має з групою технологічних факторів та конструвних. Слабший зв'язок дана група має з архітектурно-планувальними факторами, помірний зв'язок інженерно-геологічні фактори мають з природо-кліматичними чинниками та містобудівними. Найменший взаємовплив з іншими факторами має група законодавчих чинників, однак стійкий взаємозв'язок вона має з групою інженерно-геологічних чинників, зокрема з розташуванням обраної ділянки.

Оцінювання придатності ділянки для підземного будівництва залежить від низки факторів, яким притаманна певна невизначеність, що пов'язана з кільком особливостями:

- для точної оцінки придатності території для забудови необхідне проведення інженерних та геологічних робіт, детальних вимірювань, що потребує певного часу та економічних затрат, які є невиправданими на етапі вибору ділянки забудови;

- більшості ділянкам притаманна неоднорідність і, відповідно, зміна просторових характеристик.

Для вирішення проблеми оцінки придатності території для підземного будівництва залучають експертів, що здатні прийняти рішення базуючись на власному досвіді та відносно невеликій кількості інформації про ділянку забудови [147].

Метод оцінки факторів впливу набув широкого застосування в економічній науці та застосовується для визначення впливу зовнішнього середовища на функціонування підприємства [169]. За аналогією до цього методу можна оцінити вплив сукупності факторів на процес будівництва підземного науково-дослідного комплексу. У графі складеної таблиці виносяться основні фактори впливу, що були визначені в ході дослідження, та характеристики їх впливу:

- вплив на процес будівництва: 3 – великий, 2 – помірний, 1 – слабкий;
- ступінь впливу безпосередньо на об'єкт під час експлуатації: 3 – сильний, 2 – помірний, 1 – слабкий, 0 – відсутній.
- характер впливу: ‘-’- що визначається ускладненням будівництва; ‘+’ – що визначається мінімальним впливом на будівництво, його відсутністю або позитивним впливом.

Для отримання фінальної оцінки, що характеризує ступінь впливу кожного фактору на об'єкт, оцінки перемножуються. В таблиці 1 представлені результати одноосібної оцінки факторів впливу з метою розкриття сутності обраного авторкою методу.

Таблиця 3. Оцінка впливу факторів на підземний науково-дослідний комплекс

№	Фактори	Вплив на будівництво (1,2,3)	Ступінь впливу на об'єкт (0,1,2,3)	Характер впливу (+/-)	Оцінки впливу
1	2	3	4	5	6
І. Інженерно-геологічні фактори					

1	Характер ґрунтової породи	3	3	-	-9
2	Тиск ґрунтових вод	3	3	-	-9
3	Сейсмічні умови	2	3	-	-6
4	Розташування	3	3	+	+9
Разом					-15
II. Природо-кліматичні					
5	Температура повітря	1	1	+	+1
6	Вологість повітря	1	1	+	+1
7	Хімічний склад повітря	1	1	-	-1
Разом					+1
III. Технологічні фактори					
8	Галузь науки	3	3	+	+9
9	Експериментальні модулі	3	3	+	+9
10	Додаткові модулі	3	3	+	+9
Разом					+27
11	IV.Конструктивні	3	3	+	+9
V. Архітектурно-планувальні фактори					
12	Функціональне зонування	3	3	+	+9
13	Комунікації	3	3	+	+9
14	Об'ємно-просторова організація	3	3	-	-9
Разом					+9
VI. Містобудівні					
15	Інженерні комунікації	3	2	-	-6
16	Історична забудова	3	2	-	-6
17	Існуюча забудова (паркінги, укриття, підвали, транспортно-пішохідна мережа)	3	2	-	-6
Разом					-12

18	VII. Економічні	2	2	-	-4
19	VIII. Законодавчі	1	0	-	-1
Разом					+19

Вплив факторів оцінюються за коефіцієнтом впливу, що розраховується за формулою:

$$C_{MAC} = \frac{\pm A_1 B_1 \pm A_2 B_2 \pm \dots \pm A_n B_n}{[\max A_i B_i] \times n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\pm A_i B_i)}{[\max A_i B_i] \times n}$$

де C_{MAC} – коефіцієнт впливу факторів на об'єкт;

A – експертна оцінка впливу на будівництво;

B – експертна оцінка впливу на об'єкт;

n – кількість факторів впливу.

Ступінь впливу факторів оцінюється за шкалою значень коефіцієнта: від 0 до 0,35 – нейтральний вплив, від 0,35 до 0,50 – сприятливий вплив, від 0,50 до 1,0 – позитивний вплив. Якщо значення коефіцієнту впливу факторів має від'ємне значення: від 0 до 0,35 – негативний вплив, від 0,35 до 0,50 – загрозливий вплив, від 0,50 до 1, 0 – знищуючий вплив.

Отже, розрахуємо коефіцієнт впливу факторів на підземний науково-дослідний комплекс:

$$C_{MAC} = \frac{+19}{9 \times 19} = +0,11$$

За результатами проведеної оцінки, можна стверджувати, що вплив сукупності факторів на підземний науково-дослідний комплекс є нейтральним. Тобто в процесі будівництва будь-який вплив, зокрема негативний, можливо буде нівелювати шляхом використання архітектурно-планувальних прийомів та принципів, геологічних та конструктивних прийомів.

Проведений аналіз перерахованих вище чинників, котрі впливають на організацію підземного науково-дослідного комплексу, дозволяє стверджувати, що процес проектування підземного комплексу є непростим завданням, що передбачає застосування комплексного підходу для свого вирішення. Проектування підземного науково-дослідного комплексу вимагає врахування сукупності визначених груп факторів: інженерно-геологічних, технологічних, природо-кліматичних, містобудівних, конструктивних, економічних, законодавчих, екологічних, архітектурно-планувальних.

2.3. Класифікація підземних науково-дослідних комплексів

Аналіз наукової літератури за темою дослідження показав, що наразі не було проведено ретельної класифікації підземних науково-дослідних комплексів. З метою поглиблення знань та розуміння структурної організації підземних науково-дослідних комплексів і написання рекомендацій стосовно проектування подібних підземних об'єктів існує потреба у створенні класифікаційної системи.

Об'ємно-планувальна структура підземних науково-дослідних комплексів, склад функціональних груп приміщень та їх вертикальне зонування визначаються характерними критеріями: домінуючі функції та пріоритетні напрямки діяльності, містобудівна організація навколишнього середовища, інженерно-геологічні характеристики, архітектурні та технологічні вимоги. Ці аспекти мають бути враховані при проектуванні підземних науково-дослідних комплексів. Проведений огляд вітчизняних та зарубіжних аналогів підземних науково-дослідних комплексів, визначення основних факторів впливу на їх організацію дозволяє сформулювати класифікаційну систему підземних об'єктів даного типу.

Класифікація підземних науково-дослідних комплексів пропонується за наступними критеріями:

- за цільовим призначенням;
- за інженерно-геологічними характеристиками;
 - за просторовим плануванням;
 - за типом доступу;
- за технічними характеристиками;
 - за кількістю експериментальних залів;
 - за глибиною;
 - за об'ємом;
- за архітектурно-планувальними характеристиками;
 - за композиційно-просторовою схемою
 - за кількістю рівнів;
- за групами ризиків;

Зазначені критерії є визначальними під час розробки проекту та мають значний вплив на групи необхідних приміщень, функціональну структуру, об'ємно-планувальну схему, розміри експериментальних залів, можливість розширення об'єкту.

Визначальним критерієм класифікації є *цільове призначення* комплексу, оскільки саме галузь науки має найбільший вплив на містобудівну, об'ємно-просторову та функціонально-планувальну організацію підземних науково-дослідних комплексів. Спираючись на світовий досвід проектування глибокопідземних лабораторій, запропоновано три основні види класифікації підземних науково-дослідних комплексів за цільовим призначенням: фізики та ядерної фізики; астрофізики та космічного випромінювання; мультидисциплінарні (рис. 2.5).

Переважаюча більшість проаналізованих підземних науково-дослідних комплексів зосереджені на дослідженнях в галузях астрофізики та фізики елементарних частинок, що вивчають темну матерію та процес подвійного бета-розпаду. Однак, розповсюдженою практикою та найбільш перспективним шляхом розвитку даного типу

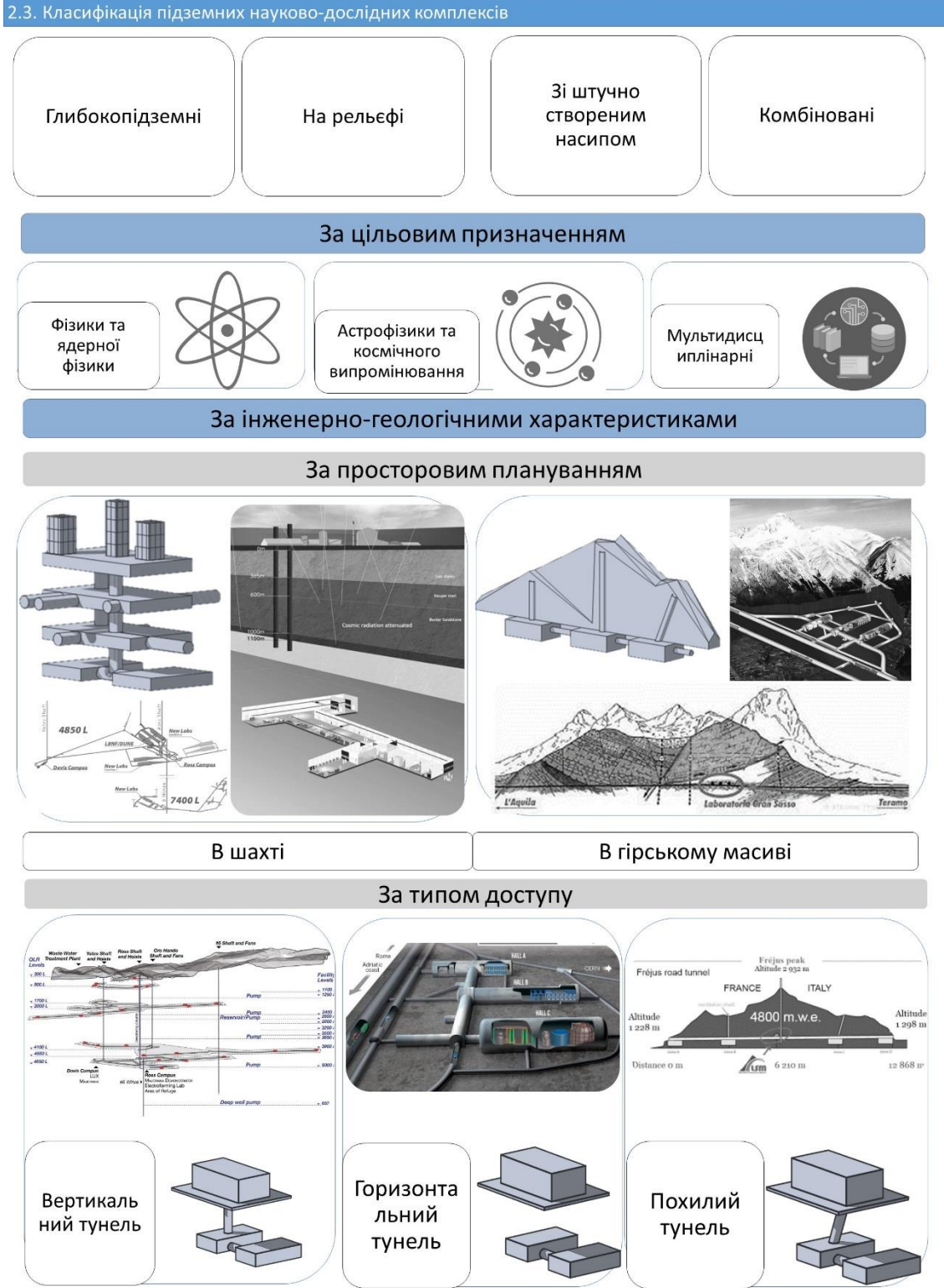


Рис.2.5.

Критерії класифікації: за цільовим призначенням, за інженерно-геологічними характеристиками

об'єкту є мультидисциплінарність. В такому випадку підземні науково-дослідні комплекси зосереджуються на питаннях в галузі біології, геофізики, геології та геотермальних ресурсів, а також змін клімату, що наразі є одним з найбільш актуальних питань в світовій екології.

Наступною групою в класифікаційній системі є група інженерно-технологічних характеристик (рис. 2.5), що в свою чергу поділяється на класифікацію за розташування за межами міста, за типом доступу. Важливим аспектом є технологічні вимоги та функціонально-планувальна структура, від котрих залежить *розташування* підземного науково-дослідного комплексу, що тісно пов'язане з гірничо-видобувними роботами в регіоні. На основі огляду містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів визначено, що даний тип комплексів має бути розміщений за межами населеного пункту. Тому пропонується наступний класифікаційний поділ: в шахті; в гірському масиві.

Існуючі гірничодобувні шахти використовуються для розміщення підземних об'єктів з метою зменшення експлуатаційних витрат при проектуванні в тому випадку, якщо видобувні роботи не перешкоджають проведенню експериментів. В діючих шахтах, зокрема з видобутку кам'яної солі, природній радіоактивний фон є достатньо низьким для проведення наднизьких фонових експериментів. Підземні науково-дослідні комплекси, що розміщуються в шахтах, підпорядковані їх структурі, тобто здебільшого мають вертикальний багаторівневий розвиток. Вони можуть бути розширені за необхідністю шляхом прокладання нових тунелів – горизонтальних для зв'язку існуючих залів з новими та вертикальних для збільшення глибини залягання та, відповідно, зменшення радіоактивного фону.

Підземні науково-дослідні комплекси, що розміщуються в гірському масиві, не обмежені єдиним простором і можуть бути значно розширені в перспективі. В даних комплексах переважає горизонтальний розвиток. Окремі зали та приміщення сполу-

чаються горизонтальними тунелями та розміщуються на єдиній відмітці глибини з можливими ухілами для службових тунелів та інженерних комунікацій. Функціонально-планувальні та об'ємно-просторові рішення підпорядковуються виключно технологічним вимогам, що дає більше свободи діям архітектора.

Одним з важливих критеріїв класифікації є *тип доступу* до підземного науково-дослідного комплексу. Проведений аналіз світового досвіду проектування дозволяє класифікувати даний об'єкт за типом доступу наступним чином: горизонтальний тунель; вертикальний тунель; похилий тунель. Горизонтальний тунель має низку переваг над вертикальним доступом до підземного об'єкта. Влаштований горизонтальний тунель до підземного комплексу дозволяє використання великогабаритної автомобільної техніки, що значно спрощує доступ до експериментальних залів та лабораторій, а також дозволяє встановлювати технологічне обладнання та зменшити експлуатаційні витрати. Горизонтальний тунель в свою чергу можна класифікувати на вже існуючий дорожній тунель, що був введений в експлуатацію, та збудований спеціально для забезпечення доступу до підземного об'єкту.

Вертикальний тунель є типовим для шахт, однак зустрічаються в світовій практиці поодинокі випадки влаштування вертикального тунелю до підземного комплексу, що був розміщений в гірському масиві. Найбільшою перевагою вертикального тунелю вважається його безпека та можливість ізоляції підземної частини від наземної в екстремому випадку. Влаштування похилого тунелю є не досить розповсюдженою світовою практикою, однак зустрічаються й поодинокі випадки такого вирішення доступу. Похилий тунель часто виступає допоміжним, а основним є вертикальний або ж горизонтальний.

Наступною групою класифікаційних ознак є технічні характеристики (рис. 2.6), що в свою чергу складаються з трьох критеріїв, за якими можливо класифікувати підземні об'єкти: за кількістю основних залів, за глибиною, за об'ємом. Аналіз світових

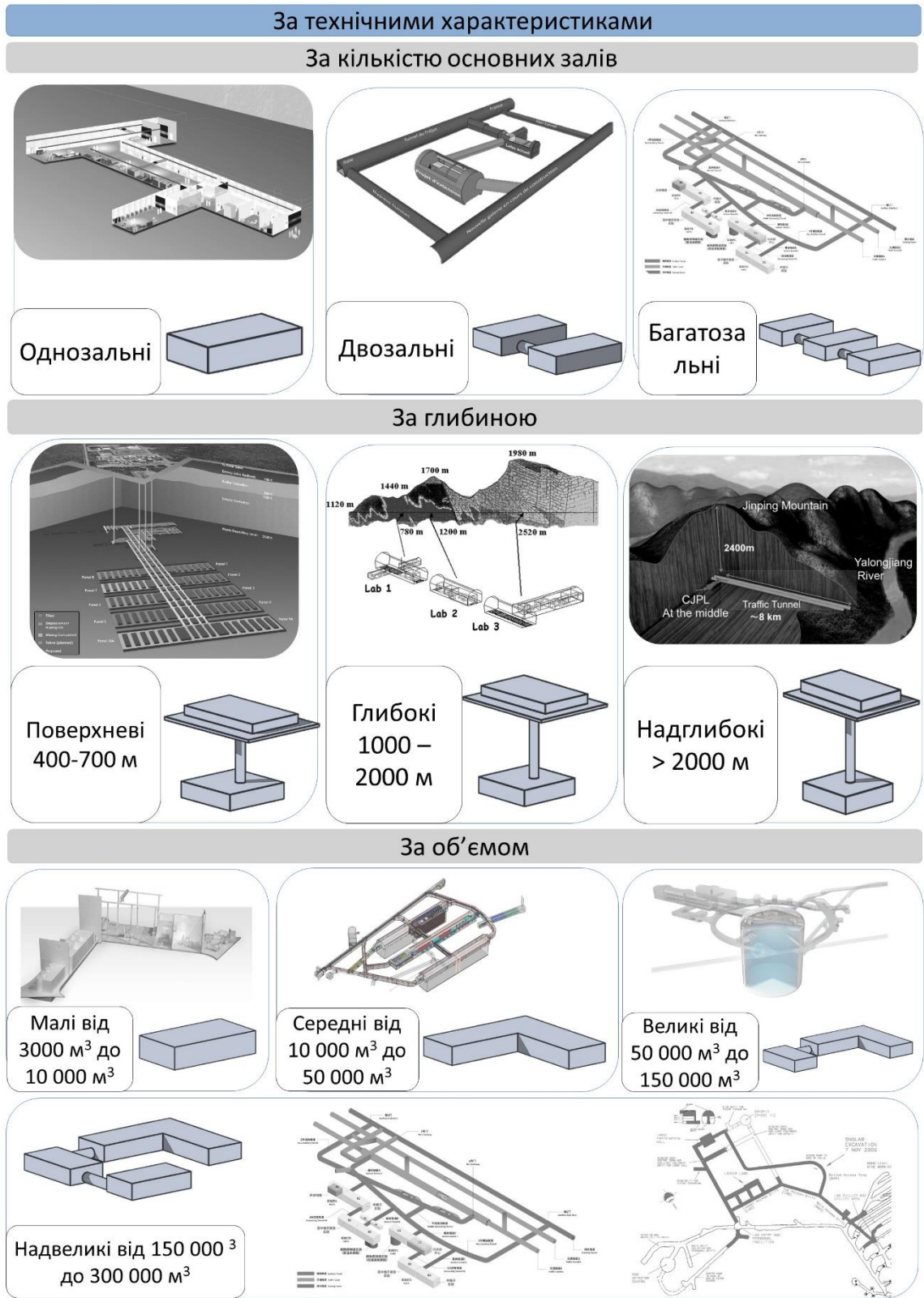


Рис.2.6.

Класифікація за технічними характеристиками

глибокопідземних лабораторій дозволяє класифікувати об'єкти *за кількістю експериментальних залів* наступним чином: однозальні, двозальні, багатозальні.

Іншим досить важливим критерієм у класифікаційній системі є критерій *глибини*, оскільки від товщини породи над об'єктом залежить фізичний розмір експериментальних залів та ступінь їх захисту. На основі проведеного аналізу світової практики проектування досліджуваного об'єкту, пропонується наступна класифікація за параметром глибини:

- мілкового закладання – 400 – 700 м;
- глибокого закладання – 1000 – 2000 м;
- надглибокого закладання – понад 2000 м.

Оскільки параметр глибини впливає на розміри основних залів, призначених для проведення експериментів, доцільно також класифікувати підземні науково-дослідні комплекси *за об'ємом*:

- 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.

Розмір підземних науково-дослідних комплексів визначається експериментальними залами та додатковими функціональними групами приміщень: лабораторіями, обчислювальними приміщеннями, чистими приміщеннями та транспортними зв'язками між основними об'ємами в комплексі.

Наступним критерієм класифікації виокремлено архітектурно-планувальні характеристики, котрі визначаються композиційно-просторовою схемою та кількістю рівнів підземної частини. Зважаючи на аналізі зарубіжного та вітчизняного досвіду проектування, доцільно розглянути даний тип комплексів як взаємодію наземної та

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

Рис.2.8.

Зведена таблиця критеріїв класифікації в залежності від місця розташування

підземної частин. *За композиційно-просторовою схемою* підземні науково-дослідні комплекси запропоновано класифікувати наступним чином: поверхневі – блоковані, компактні, павільйонні; підземні – блоковані, компактні (рис.2.7).

Композиційно-просторове рішення напряду залежить від усіх перерахованих вище критеріїв класифікаційної системи – цільового призначення, розташування, глибини, об'єму та кількості залів. Для комплексів, що спеціалізуються в галузі фізики та ядерної фізики, розміщених в шахтах, характерна блокована структура – основні зали та приміщення поєднані між собою горизонтальними тунелями. Розташування в шахті також зумовлює їх багаторівневість. Підземні науково-дослідні комплекси, що спеціалізуються на дослідженнях темної матерії в галузі астрофізики мають доволі компактне розташування функціональних груп приміщень, котрі поєднані між собою без додаткових горизонтальних комунікацій. Підземні комплекси астрофізики та космічного випромінювання, що розміщуються в шахті, мають переважно однорівневу структуру, проте можуть бути розширені за необхідності. Підземні науково-дослідні комплекси, що розміщуються в гірському масиві, мають переважно горизонтальний однорівневий розвиток та блоковану структуру підземної частини. На поверхні переважає павільйонна організація території та здебільшого залежить від рівня розвитку підземної частини та кількості персоналу, що має постійно знаходитись на території об'єкта. Підземна та наземна частини комплексу сполучаються між собою транзитним тунелем – вертикальним або ж горизонтальним.

Останньою, проте не менш важливою групою в запропонованій класифікації, є критерій за групами ризиків (рис.2.7). В результаті дослідження польських вугільних та мідних шахт, проведеного польськими вченими, було визначено чотири групи небезпек, що пов'язані з роботою лабораторій, розташованих поблизу гірничих виробок. Дані групи доцільно включити до запропонованої класифікаційної системи:

- Екологічні ризики – характеризуються негативним впливом на робоче середовище, їм важко запобігти. До цієї групи належать: сейсмічні поштовхи, викиди каменів, наплив води, вибух газів;
- Робочі ризики – пов’язані безпосередньо з робочим середовищем та застосованими технологіями. Здебільшого ризики даної групи можна віднести до загальних ризиків, що притаманні й іншим галузям промисловості. У роботі в підземному середовищі виділяють такі фактори, як пил, вібрація, освітлення;
- Гірничо-пошукові ризики пов’язані з експлуатацією і випробуванням гірничого обладнання, використанням вибухівки;
- Соціально-економічні ризики – не пов’язані з експлуатацією підземної лабораторії та не становляться серйозної загрози для співробітників. Найчастіше дана група ризиків викликана зовнішніми факторами. Серед таких ризиків слід назвати деякі правові та соціальні проблеми. Зокрема, існує ризик того, що місцева громада з різних причин не підтримуватиме діяльність у підземному середовищі [73].

2.4. Архітектурно-планувальна організація підземних науково-дослідних комплексів

Підземні науково-дослідні комплекси мають забезпечувати необхідні умови для проведення експериментальних досліджень, продиктованих галуззю науки, на якій спеціалізується комплекс. Крім того, підземні науково-дослідні комплекси повинні забезпечити комфортне та безпечне перебування наукового та технічного персоналу, котрий перебуває на території комплексу, задовольнити весь спектр соціальних, фізіолого-психологічних та професійних потреб.

Функціонально-планувальні особливості об'єкта, а також його об'ємно-просторова організація, визначаються технологічними вимогами проведення експериментів та досліджень у визначеній науковій галузі. Задля розробки рекомендацій щодо архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів та подальшого дослідження даної теми, пропонується розглянути основні функції, котрі закладені в комплексах.

1. *Експериментальна* функція є визначальною в кожному науково-дослідному комплексі, оскільки саме вона визначає об'ємно-просторову та планувальну структури. Функція зосереджується в підземній частині комплексу та може бути представлена одним, двома або більшою кількістю експериментальних залів, що регламентується згідно з технологічними вимогами проведення експериментів. Розвиток та організація експериментального функціонально-планувального блоку комплексу залежить від наукової галузі, в якій плануються проводитися дослідження, що закладається на етапі проектування комплексу.
2. *Науково-дослідна* функція полягає в проведенні досліджень, аналізу отриманих даних, спостереженні за природо-кліматичними явищами. Дана функція забезпечується наявністю аналітичних лабораторій, котрі мають бути обладнані згідно з технологічними вимогами в тій чи іншій науковій галузі, в якій проводяться дослідження. Функція також знаходить своє втілення у залученні якомога більшої кількості науковців до співпраці, розповсюдженні отриманих в ході проведених досліджень та експериментів даних в науковому колі.
3. *Навчально-просвітницька* діяльність передбачає організацію науково-практичних конференцій, симпозіумів, форумів та активну просвітницьку діяльність в мережі, шляхом створення інтернет-сайтів та активне користування соціальними мережами з метою популяризації науки серед молодих вчених та студентів відповідних спеціальностей.

4. *Науково-туристична* функція дозволяє забезпечити візит наукових співробітників, делегацій, студентів безпосередньо на територію науково-дослідного комплексу. Важливим аспектом такої науково-екскурсійної діяльності є організація безпечного та комфортного перебування відвідувачів на території комплексу, як в наземній, так і в підземній її частині. Під час організації відповідної структури важливо розмежовувати зони, що будуть безпечні для відвідувачів, та зони проведення експериментальних досліджень, куди сторонні особи не мають бути допущені.
5. *Профілактично-безпекова* діяльність концентрується на визначенні та оцінці факторів ризику, визначенні профілактичних та захисних заходів, підготовки процедур безпеки для різноманітних видів діяльності в усіх приміщеннях комплексу, контролі доступу до об'єкта.
6. *Житлова* функція полягає в створенні умов для довгострокового та короткострокового перебування відвідувачів на території комплексу. Житлову функцію забезпечують кампуси, кімнати, готельні блоки в наземній частині.
7. *Медична* функція полягає в наданні медичних послуг працівникам та відвідувачам комплексу. Забезпечується наявністю лазаретного блоку на території з медичним персоналом.

Проведений аналіз світового та вітчизняного досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів, виявлення сучасних тенденцій в проектуванні, дослідження чинників, що впливають на організацію комплексів, а також запропонована класифікаційна система, дозволяють виокремити спільні типологічні риси об'єктів, що досліджуються, та на їх основі виокремити дві функціональні частини підземного науково-дослідного комплексу: *підземну частину* та *наземну частину*.

Наявність певних функцій та їх домінування визначають склад функціональних груп приміщень, необхідних для забезпечення діяльності підземного науково-дослідного комплексу, життєдіяльності персоналу та відвідувачів, а також вертикальне та горизонтальне функціональне зонування. Спираючись на проведені дослідження та

отримані аналітичні дані, запропоновано нормативні параметри груп приміщень, функціональне зонування та виокремлено основні функціональні групи приміщень, притаманні для підземної та наземної частин науково-дослідного комплексу.

Для підземної частини характерні наступні групи приміщень: вхідна, експериментальна, науково-дослідна, технічна, санітарно-гігієнічна, службова, інженерна, транспортна, рекреаційна, медична.

Вхідна група підземної частини складається з тунелю, пункту пропуску та вестибюлю за необхідністю. Група цих приміщень є частиною транспортної, санітарно-гігієнічної, а також службової функціональних зон, оскільки не має чітко виділених планувальних меж. Вхідна група є сполучною ланкою між підземною та наземною частинами і може бути представлена кількома пропускними шлюзами в залежності від об'ємно-планувального рішення та технологічних вимог. Шлюзи мають бути герметичними з додатковими очисними установками та можливістю повної ізоляції підземної частини комплексу на випадок небезпеки. До вхідної групи також мають увійти шляхи евакуації, щонайменше один, котрі будуть сполучатися із поверхнею. Евакуаційні виходи слід розміщувати не далі 25 м від найбільш віддаленого робочого місця.

Експериментальна група приміщень включає в себе експериментальні зали, кількість котрих визначається експериментами та дослідженнями, що проводяться в комплексі. Зали можуть бути розділені на дві частини, в одній з котрих має знаходитися додаткове обладнання для підтримки експерименту. Зали сполучаються між собою допоміжними тунелями, мають бути забезпечені аварійними виходами та сполучатися з основними транспортними шляхами за допомогою службових тунелів. За площею експериментальні зали займають третину загальної площі підземної частини комплексу із врахуванням службових та транспортних тунелів. Площа експериментальних залів розраховується відповідно до технологічних вимог експерименту, що про-

водиться, та у відповідності до обладнання, що має бути встановлене. Експериментальна група приміщень є функціональною доміантною підземної частини комплексу, дана функціональна група формує об'ємно-просторову та функціонально-планувальну структуру кожного комплексу.

Нижче наведені основні розмірні характеристики експериментального обладнання, що використовується в дослідженнях темної матерії, фізики елементарних частинок та ядерної астрофізики. Установа ICARUS T600 складається з двох ідентичних модулів розмірами 3,6x3,9x,19.6 м, загальним об'ємом приблизно 275 м³ кожен. Детектор MODULAR має характерні розміри 8x8 м² кожного модулю, враховуючи конструктивні особливості його встановлення, розміри збільшуються до 11x20 м, за технологічними вимогами необхідне встановлення кранів, що збільшує висоту робочої зони до 20 м. Спираючись на аналіз світового досвіду проектування експериментальних залів, головна зала може розмістити в собі від однієї до чотирьох експериментальних установок, чії розміри в середньому можуть складати 30x20x20 м. Можна припустити, що середні розміри експериментального залу складатимуть 20 м ширини, 20 м висоти і 100-120 м довжини за умови розміщення в середньому трьох експериментальних установок (рис.2.9).

Зважаючи на низку факторів, що впливають на розвиток наукових досліджень в області фізики та астрофізики, важливо мати можливість в подальшому розширити простір лабораторії за рахунок лабораторних секцій – тунельних модулів розміром 20x20x20 м. Однак, площу експериментальних залів слід розраховувати згідно з технічним завданням на проектування.

Група *науково-дослідних* приміщень складається з аналітичних лабораторій, обчислювальних приміщень та приміщень, призначених для контролю за експериментами. Площа кімнати контролю експериментів становить 17x10 м. Площа лабораторії, призначеної для дослідження безнейтринного подвійного бета-розпаду, становить

10x10 м. В залежності від класифікації комплексу за науковою галуззю, науково-дослідна група приміщень може включати в себе біологічні лабораторії, лабораторії для дослідження геологічних особливостей місцевості, хімічні лабораторії, лабораторії геофізики, фундаментальної фізики, а також ті, що спеціалізуються на контролі та спостереженні за навколишнім середовищем і природно-кліматичними явищами. Частина приміщень науково-дослідної групи може знаходитися безпосередньо в службових тунелях, що сполучаються з експериментальними залами. Площу слід розраховувати згідно з технологічними вимогами до окремих лабораторій та обладнання (рис.2.10).

Санітарно-гігієнічну групу приміщень складають чисті кімнати, санвузли, душові та гардеробні для персоналу і окремий блок приміщень для відвідувачів з гардеробною, санвузлами та очисним обладнанням. Проектуючи групу санітарно-гігієнічних приміщень важливо відокремити приміщення призначені для використання персоналом і приміщення, призначені для відвідувачів. Гардеробні слід розраховувати 0,9 м² на одного працівника, душові – 2 м² на одну душову сітку, умивальні з розрахунку 1 м² на один кран, туалети – 2,5 м² на один унітаз, 1 м² на один пісуар. Розраховувати слід 2 жіночих унітази та 1 унітаз і 1 пісуар на 100 осіб.

До *службової* групи приміщень входять приміщення служби охорони, контрольно-пропускні пункти, складські приміщення, приміщення для зберігання зброї, сховище. Службові приміщення складів слід розраховувати, виходячи з норми 2,5 – 6 м² на одного працівника.

Інженерна група приміщень містить в собі приміщення, що відведені під інженерні комунікації, управління, технічне обслуговування та проектування систем спостереження та контролю, обладнання для систем виявлення та пожежогасіння,

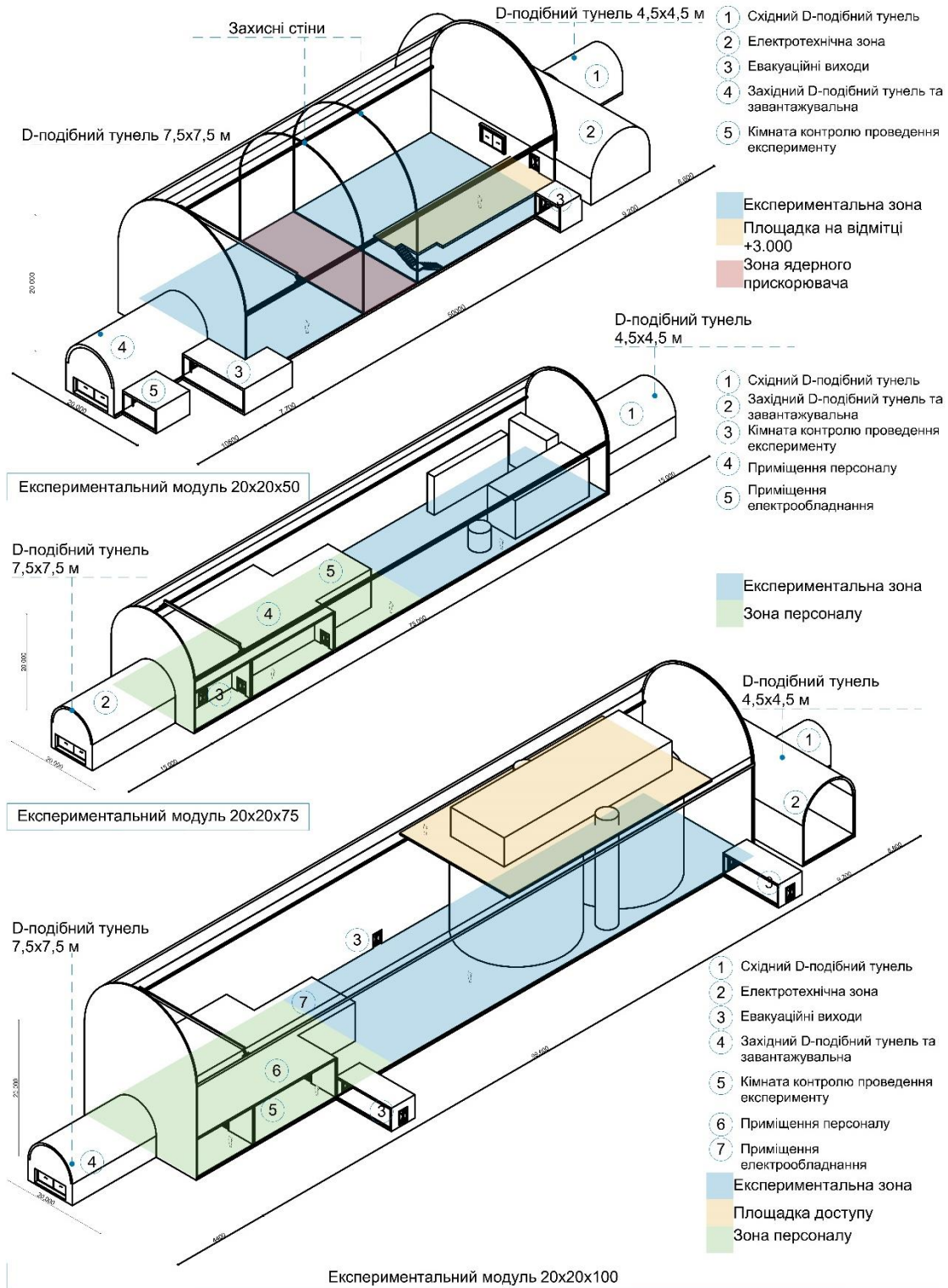


Рис.2.9.

Функціонально-планувальна організація трьох типів експериментальних модулів

обслуговування та проектування спеціальних приміщень відведених під відеоспостереження, системи безпеки, життєзабезпечення, моніторингу газу, радону та радіоактивного фону.

Транспортна група приміщень включає в себе службові та аварійні тунелі, що сполучають експериментальні зали та лабораторії між собою і з зовнішніми тунелями. До складу даної функціональної групи також входять транзитні горизонтальні тунелі в межах комплексу, а також тунелі, що сполучають підземну та наземну частини через горизонтальний автомобільний чи вертикальний тунель шахти. Також частиною транспортної функціональної зони є пункт мийки машин. Транспортні тунелі слід влаштовувати D-подібної форми розміром 7,5 x 7,5 м з розрахунку на одночасне перебування двох вантажівок, а також передбачити пішохідну доріжку шириною 1 м з однієї сторони тунелю, що буде відгороджена бетонною стіною. Пішохідні та транспортно-пішохідні тунелі для малогабаритних транспортних засобів варто передбачити D-подібної форми розмірами 3,5 x 3,5 м, допускаються значення 4,5 м та 2,5 м в ширині.

Рекреаційна зона являє собою кімнату для відпочинку наукового та технічного персоналу. Її доцільно розміщувати у «чистій» зоні, що здебільшого влаштовується в тунелях. *Медичний* пункт слід приймати не менше 12 м² при чисельності працюючих від 50 до 150, та 18 м² понад 150 до 300 співробітників. Підземна частина має бути забезпечена дефібриляторами та аптечками першої медичної допомоги.

Наземна частина складається з ряду функціональних груп приміщень: вхідна група, адміністративно-побутова, науково-дослідна, навчально-просвітницька, харчова, житлова, службова, технічна, медична, рекреаційно-дозвілєва. Для наземної частини науково-дослідного комплексу характерна павільйонна структура (рис.2.12).

Вхідну групу складають приміщення вестибюлю, рецепція, гардеробні приміщення, санвузли для відвідувачів. Дана група приміщень здатна сформувати перше

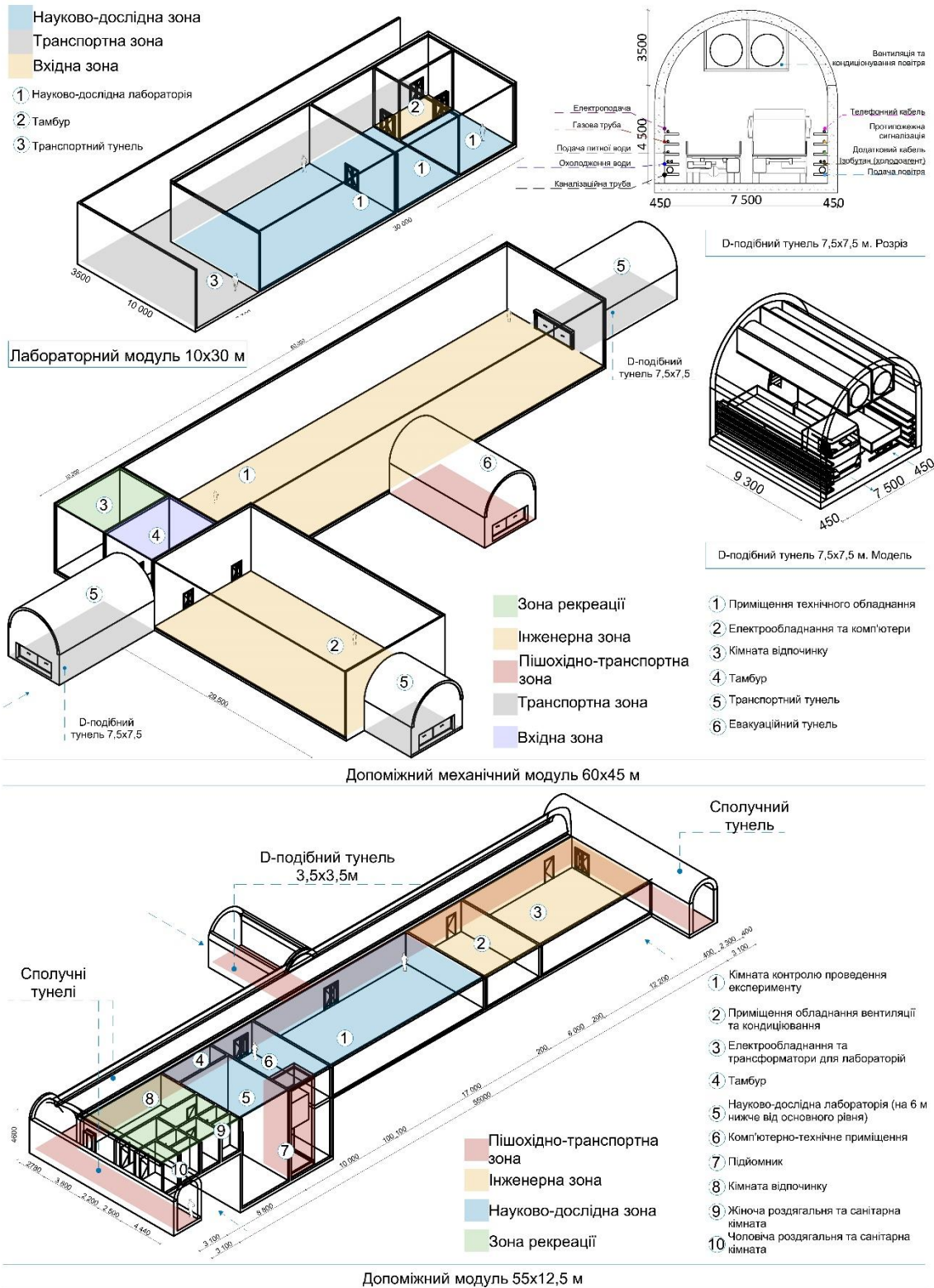


Рис.2.10.

Функціонально-планувальна організація науково-дослідних (лабораторних) модулів

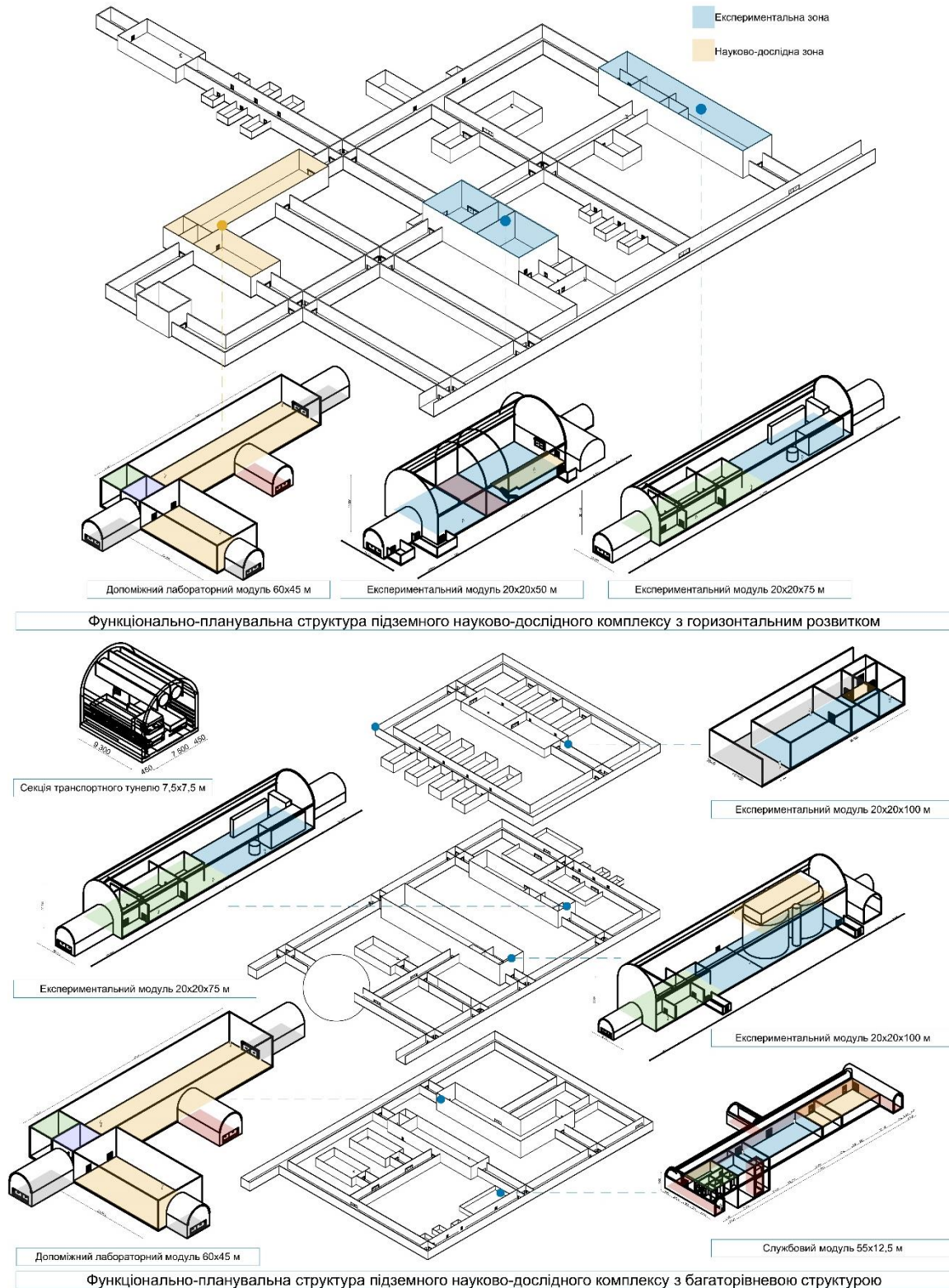


Рис.2.11.

Варіації функціональних моделей підземних науково-дослідних комплексів з використанням експериментальних та лабораторних модулів

враження про науково-дослідний комплекс, забезпечує розподіл пішохідних потоків відвідувачів та персоналу комплексу за допомогою горизонтальних комунікацій – коридорів та вертикальних комунікацій – ліфтово-сходових вузлів. Гардеробні та санвузли варто розраховувати $0,08 \text{ м}^2$ на 1 людину.

Адміністративно-побутова група приміщень включає в себе офісні приміщення, штаб-квартиру, конференц-залу, кабінети адміністрації, блоки приміщень структурних відділів, що працюють в комплексі. Групу приміщень адміністративно-побутової зони доцільно розмістити поблизу вхідної групи, а також забезпечити доступ до підземної частини комплексу. Приміщення управління слід брати з розрахунку 4 м^2 на одного працівника, приміщення для конференц-залу слід вираховувати, виходячи з норми 24 м^2 при чисельності працівників найчисельнішої зміни 50-100 осіб, 36 м^2 для 101-200 осіб, 48 м^2 для 201-300 осіб. Площа приймальнь має бути не менше 12 м^2 .

До *науково-дослідної* функціональної групи приміщень входять наземні лабораторії фізики та електроніки, наземні випробувальні площадки. Лабораторія електроніки може включати в себе приміщення та обладнання характерні для астрономічних та астрофізичних досліджень: лабораторії фізики Сонця та тіл Сонячної системи, фізики та еволюції зірок і галактик, фізики космічної плазми та ін. Науково-дослідну групу приміщень доцільно винести в окремий корпус.

Група приміщень *навчально-просвітницької* функціональної зони складається із конференц-зали призначеної для проведення лекцій, семінарів, науково-практичних конференцій та симпозіумів, бібліотеки з читальним залом. Площу читальної зали слід вираховувати виходячи з розрахунку $2,7 \text{ м}^2$ на одне місце, книгосховище – $2,5 \text{ м}^2$ на 1000 одиниць зберігання. Аудиторії призначені для проведення лекцій та семінарів із спеціальним обладнанням варто на 50-100 місць проектуються виходячи з розрахунку не менше $1,8 \text{ м}^2$ на одного слухача. Дану групу приміщень можливо розмістити в окремому блоці, якщо дозволяють габарити ділянки.

Харчовий блок приміщень складається з обідньої зали, до котрої входять приміщення їдальні та буфету, та допоміжних приміщень для приготування їжі. Блок приміщень харчування зазвичай розміщують на першому поверсі, встановлюючи функціональні зв'язки між даною групою приміщень та вхідною зоною. Частина ха

рчового блоку – обідня зала – може розташуватися за межами будівлі на терасах та обладнаних площадках.

Група *житлових* приміщень забезпечена кампусами із житловими кімнатами для працівників науково-дослідного комплексу, а також хостелом чи готелем для перебування гостей. Проектуючи житлову функціональну зону, важливо розмежувати житловий простір працівників комплексу та відвідувачів. Кожну групу доцільно розмістити в окремих будівлях.

Група *службових* приміщень наземної частини є подібною до підземної – включає в себе контрольно-пропускний пункт, кімнату охорони, кімнату спостереження, складські приміщення. До групи *технічних* приміщень входять приміщення топочної, вентиляційної, сервісний та комунікаційний центр з комп'ютерним обладнанням.

Блок *медичних* приміщень слід розміщувати в окремій будівлі при зовнішніх лабораторіях та розраховувати в обмеженні до 500 осіб. Повинен бути забезпечений періодичний медичний прийом працівників та надзвичайний у випадку травматизації на виробництві чи внаслідок нещасних випадків. Має надаватися перша медична допомога, проводитися вакцинопрофілактика, навчальні курси та тренінги для команди екстрених ситуацій. Дефібриляторами та аптечками першої медичної допомоги мають забезпечуватися зовнішні лабораторії.

Рекреаційно-дозвілєва функціональна зона здебільшого втілюється за рахунок можливості влаштування парку чи скверу на території комплексу, або ж влаштуван

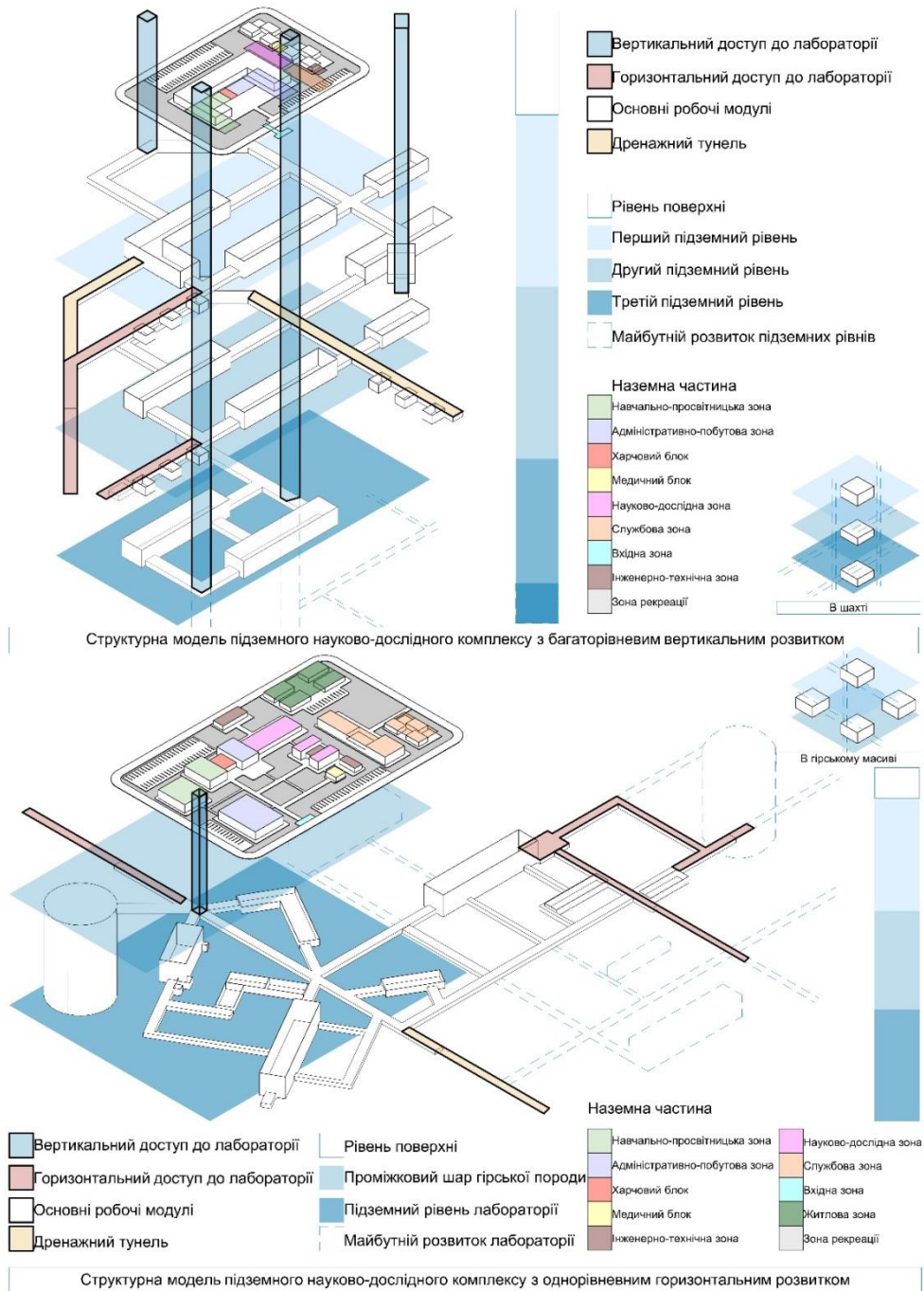


Рис.2.12.

Функціональні зони наземної частини та її зв'язки з підземною частиною (в шахті; в гірському масиві)

ня планетарію, музею, виставкової зони чи зали віртуальної реальності в одній з будівель комплексу.

На основі опрацьованої літератури, наукової та нормативної, зокрема звітів про проектування Індійської нейтринної обсерваторії [44,45], віртуальні тури підземними лабораторіями Gran Sasso [37] та SNOLab [85], звітів від CERN було виконано експериментальне проектування. Результатами проектування стали три типи модулів: експериментальні, науково-дослідні, допоміжні.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II

У II розділі визначено загальну методика дослідження, обрано системний підхід до проведення дослідницьких дій, виокремлені основні етапи дослідження. Обрано методи, що використовуються під час наукового дослідження: *теоретичні* та *емпіричні*, *міждисциплінарні* та *дисциплінарні* архітектурні методи. Серед *загальнонаукових* методів дослідження були обрані: аналіз і синтез; спостереження та абстрагування; метод контент-аналізу; історико-еволюційний метод; порівняльний аналіз; метод якісного і кількісного аналізу; концептуальний аналіз; метод систематизації; факторний аналіз; метод аналізу та узагальнення типологічних розробок. До *спеціалізованих* архітектурно-містобудівних методів увійшли: графоаналітичний аналіз; методика комплексної оцінки території; метод аналізу архітектурно-планувальної організації; метод аналізу об'ємно-просторової організації; метод функціонального моделювання; ергономічний аналіз, концептуальне та експериментальне проектування.

Спираючись на проведені дослідження, вивчення 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.

Задля поглиблення розуміння структури підземного науково-дослідного комплексу, а також заради створення рекомендацій щодо проектування подібних закладів, спираючись на вітчизняний та закордонний досвід проектування, були виведені основні критерії класифікаційної системи: цільове призначення, інженерно-геологічні характеристики, технічні характеристики, архітектурно-планувальні характеристики, групи ризиків. Дані параметри є визначальними при проектуванні підземних науково-дослідних комплексів, мають вплив на якісний та кількісний склад приміщень, визначаються технологічними вимогами, впливають на функціональне зонування, об'ємно-планувальну схему та місткість комплексу. Спираючись на класифікаційну систему, можна визначити характерні особливості підземних науково-дослідних комплексів в залежності від місця їх розташування, що в подальшому стане основою для визначення типологічних особливостей цих об'єктів.

Для підземних комплексів, що розташовані в шахті, характерний вертикальний тип доступу до підземної частини, кількість основних залів є довільною та здебільшого залежить від цільового призначення комплексу. Глибина такого комплексу залежить від глибини залягання шахтних тунелів, а за об'ємом вони здебільшого є великими та надвеликими. За композиційно просторовою схемою підземна частина може бути як блокованою, так і компактною, що залежить від цільового призначення об'єкта та експериментальних досліджень, що проводяться. На поверхні можлива як

павільйонна, так і блокована забудова. За кількістю рівнів підземні комплекси є багаторівневими за умови блокованої структури.

Підземні науково-дослідні комплекси розташовані в гірському масиві можуть мати як вертикальний, так і горизонтальний тип доступу. Похилий тунель може використовуватися в якості службового. Ці комплекси є багатозальними та надглибокими. Зі світового досвіду проектування видно, що переважаюча більшість таких комплексів є малими та середніми за об'ємом. Лише підземну лабораторію Цзіньпін в Китаї можна класифікувати як надвелику, що розміщується в гірському масиві. Для цих комплексів характерна павільйонна забудова на поверхні та блокована структура підземної частини. Також, підземна частина має однорівневий горизонтальний розвиток.

З метою розробки рекомендацій стосовно архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів та задля подальшого дослідження теми, на основі проведеного аналізу світового досвіду проектування комплексів, були визначені основні функції об'єкту та дані їх характеристики: експериментальна, науково-дослідна, навчально-просвітницька, науково-туристична, профілактично-безпекова, житлова, медична. Запропонований вертикальний розподіл функціональних груп приміщень на підземну та наземну частини комплексу. Визначені основні функціональні зони, що характерні для підземної частини: вхідна, експериментальна, науково-дослідна, технічна, санітарно-гігієнічна, службова, інженерна, транспортна, рекреаційна, медична. Також виокремлені основні функціональні групи приміщень, котрі характерні для наземної частини комплексу: вхідна група, адміністративно-побутова, науково-дослідна, навчально-просвітницька, харчова, житлова, службова, технічна, медична, рекреаційно-дозвіллева. Визначено, що для наземної частини, на відміну від підземної групи приміщень, характерна павільйонна структура.

РОЗДІЛ III

ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ

Формування архітектурного середовища підземних науково-дослідних комплексів обумовлене низкою факторів, що були розглянуті в другому розділі. Також вагомий вплив мають цільове призначення комплексу та його місце розташування, що впливають на об'ємно-просторову та функціональну організацію підземних науково-дослідних комплексів, а також на організацію генерального плану наземної території.

Третій розділ дисертаційного дослідження ставить за мету виявити основні містобудівні засади формування підземних комплексів; створення загальних рекомендацій щодо організації генерального плану території та вибору ділянки розташування; визначення типів підземних науково-дослідних комплексів та виявлення притаманних їм особливостей функціонально-планувальної організації; визначення основних принципів реалізації підземних науково-дослідних комплексів.

3.1. Містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів

Спираючись на проведені дослідження та аналіз світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів, доцільно зауважити, що при проектуванні такого комплексу важливим аспектом є ретельний підбір території. Розташування підземного науково-дослідного комплексу здатне впливати на ряд експериментальних, науково-дослідних та соціальних функцій, які в свою чергу мають вплив на архітектурно-планувальну та об'ємно-просторову організацію комплексу. Аналіз та систематизація світового досвіду містобудівного формування підземних науково-дослідних комплексів необхідний для визначення основних засад розташування даного типу комплексів на місцевості, зокрема в контексті існуючої забудови (інженерних

комунікацій, підземних шахт, тунелів) та розробки рекомендацій щодо формування та розвитку таких комплексів на території України в межах програми відбудови.

В ході дослідження визначено ряд умов, котрим підпорядковується вибір місця розташування підземного комплексу:

1. Запит або пропозиція від Європейської організації з ядерних досліджень (ЦЕРН) про необхідність створення підземного науково-дослідного комплексу для проведення експериментальних досліджень в галузях ядерної фізики, астрофізики, геології та біології на території України.
2. Рішення НАН України та центрального органу виконавчої влади України, що забезпечує формування та реалізує державну політику в сфері наукової та науково-технічної діяльності, про необхідність будівництва підземного науково-дослідного комплексу. Будівництво має бути зумовлене актуальністю розвитку наукової та науково-технічної галузі України в умовах відбудови та з метою розвитку та поглиблення знань науковців. А також задля втілення теоретичних знань і досліджень в практичну складову; проведення експериментальних досліджень, науково-практичних конференцій, симпозіумів та популяризації наукової діяльності серед молодих вчених, підвищення статусу Української держави серед міжнародних наукових організацій.
3. Містобудівні – організація промислової інфраструктури за межами населеного пункту, взаємозв'язок з мережею наукових закладів, наявність чи відсутність шахт (діючих та недіючих), можливість зведення комплексу в гірському масиві, та наявність ділянки для наземної забудови, що впливає із завдання на проектування, місткості та експериментальних і наукових функцій, можливість розбудови підземного простору, що впливає з інженерно-геологічних умов. Містобудівні фактори також мають враховувати інтенсивність населення, транспортну доступність комплексу від чого залежатиме

наявність чи відсутність житлового кластеру на поверхні, доступ до підземної частини через наявні горизонтальні (транспортні) або вертикальні (шахти) тунелі.

4. Інженерно-геологічні - властивості ґрунтів, наявність та характер ґрунтових вод, сейсмічні умови ділянки, обраної для проектування. Виходячи з рівня ґрунтових вод та характеру їх течії, а також наявних чи відсутніх підземних інженерних споруд та комунікацій, визначається допустима глибина, що дозволить проводити будівельні роботи. Глибина має забезпечувати потрібний радіоактивний фон для проведення експериментальних досліджень, що визначаються завданням на проектування.
5. Економічні – економічний розвиток держави, її можливість забезпечити не лише проектування, а й експлуатацію підземного науково-дослідного комплексу.
6. Природо-кліматичні – температурні характеристики місцевості та вологості навколишнього середовища. Не зважаючи на те, що температура в підземному середовищі є постійною та контрольованою за допомогою технології вентиляції та кондиціонування повітря, вологість вхідного повітря має тенденцію змінюватися в залежності від сезонності. Природо-кліматичні умови території (індекс якості повітря, умови інсоляції та санітарно-гігієнічні умови) мають забезпечувати комфорт при перебуванні на поверхні.
7. Екологічні – аналіз придатності підземних надр до використання, аналіз впливу підземного комплексу на навколишнє середовище (шум, вібрації, вплив на якість повітря, безпековий вплив) та вплив навколишнього середовища на підземний об'єкт (шум, вібрації, шахто-видобувні роботи).
8. Функціонально-планувальні – домінуюча функція комплексу, що визначається науковою галуззю (астрофізика, фізика елементарних частинок, ядерна фізика, мультидисциплінарний комплекс) (рис.3.1.).

Крім зазначених факторів, що впливають на розташування підземного науково-дослідного комплексу, важливою передумовою для вибору ділянки проектування комплексу є кількість експериментальних залів, площа науково-дослідної зони та типів досліджень, що проводяться. Враховуючи специфіку експериментальних досліджень, що проводяться зокрема в області астрофізики та фізики елементарних частинок, та фактори ризиків, розташування та розмір ділянки проектування має передбачати наземну частину комплексу, до якої мають увійти функціональні групи приміщень здатні забезпечити постійне перебування персоналу на території.

Аналіз світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів показав, що такий тип закладів найкраще розміщувати за межею населених пунктів.

Оскільки зведення підземної частини комплексу потребує значних експлуатаційних витрат, важливою передумовою для вибору ділянки є наявність існуючих підземних споруд. Зокрема, на території України для будівництва можуть бути використані військові споруди радянської доби, що знаходяться у підніжжя гірського масиву або ж соляні чи рудні шахти. Горизонтальні тунелі здатні розмістити в собі частину необхідного обладнання, а також забезпечити доступ важкого транспорту до підземної частини. Вертикальний шахтний ліфт здатен забезпечити зв'язок підземної частини із наземною, спростити доступ наукового та технічного персоналу до експериментального та інженерного обладнання. Перевагою вертикального доступу до підземної частини є його безпечність та можливість ізолювати підземну частину в разі екстрених випадків.

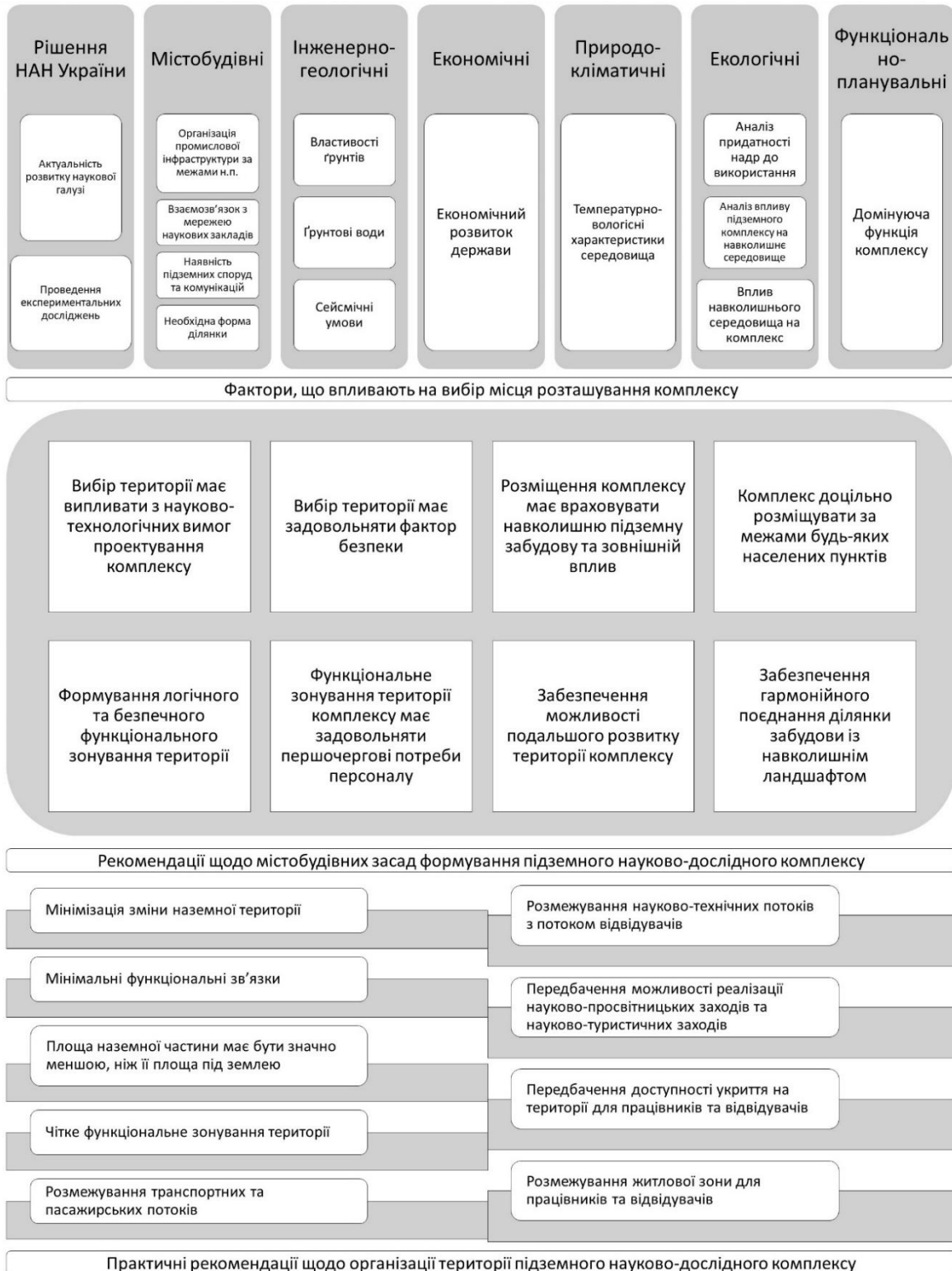


Рис.3.1.

Містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів

Гірничодобувні вертикальні шахти також можуть стати передумовою для розміщення підземного науково-дослідного комплексу задля зменшення експлуатаційних затрат. При влаштуванні підземних груп приміщень важливо впевнитися, що гірничодобувна діяльність у діючій шахті не має шумового чи вібраційного впливу на проведення експериментальних досліджень. Перевагою шахт, зокрема соляних, є значно нижчий природній радіоактивний фон, що є необхідним для наднизьких фонових експериментальних досліджень в області фізики елементарних частинок.

Розташування підземного науково-дослідного комплексу в гірничовидобувних шахтах зумовлює багаторівневість комплексу, його вертикальне зонування. З класифікації та на основі світового досвіду проектування глибокопідземних лабораторій зрозуміло, що комплекси розміщені в шахтах мають великі та надвеликі об'єми, а також характеризуються значною глибиною, що обумовлена глибиною прокладання шатхних тунелів. Для даних комплексів, в більшості випадків, характерною є блокована структура та вертикальне функціональне зонування. Доступ до підземної частини комплексу забезпечується через вертикальний тунель, за можливості до певних експериментальних залів має бути обладнаний горизонтальний чи похилий тунель для доступу крупногабаритного автомобільного транспорту. Здебільшого такі надвеликі підземні комплекси використовують для проведення досліджень в галузях фізики та ядерної фізики, а також геології, геофізики та біології.

Розвиток наземної частини підземних комплексів, що розташовані в шахті, часто зумовлений організацією наземної території самої шахти. Наземні будівлі та споруди можуть бути реконструйовані або ж відновлені шляхом ревіталізації та перепрофілювання у лабораторні, адміністративно-побутові та житлові кампуси.

Розташування підземного науково-дослідного комплексу в гірському масиві вимагає значно більших експлуатаційних витрат, однак наразі є значно більш поширеною практикою в світі, що зумовлене наявністю горизонтальних тунелів прокладених крізь гірські масиви. Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення в таких умовах

не зазнають жорстких обмежень існуючою забудовою чи підземними комунікаціями, а доступ забезпечується через горизонтальний тунель. В світовій практиці проектування підземних комплексів в гірському масиві їх цільове призначення стосується здебільшого галузі астрофізики та космічного випромінювання. Експериментальні дослідження в цій науковій галузі не вимагають значних площ, тому дані комплекси характеризуються малими та середніми об'ємами, а глибина їх залягання продиктована виключно необхідними лабораторними умовами. Розміщення комплексу в гірському масиві дозволяє його подальше розширення в разі необхідності та зумовлює багатофункціональність комплексу. Однак зв'язок підземної та наземної частин може бути ускладненим у випадку розташування наземних будівель біля підніжжя гірського масиву.

Важливим аспектом у виборі ділянки для розташування підземного науково-дослідного комплексу є можливість забезпечення подальшого розвитку території комплексу, як підземної, так і наземної складових. При перспективній розбудові важливо забезпечити як транспортні, так і логістичні зв'язки між існуючими спорудами та тими, що будуть зведені. Розташування підземного науково-дослідного комплексу та планування навколишньої території і майбутньої забудови може дати початок новій містобудівній структурі – підземному науковому містечку, концептуальні проекти котрих розглядалися авторкою на початку дослідження. Крім цього, важливо також забезпечити логічні транспортні та пішохідні зв'язки між функціональними зонами на території комплексу.

Визначаючи містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів та їх територіальну організацію, важливо зауважити, що сучасне суспільство, зокрема наукове, потребує задоволення широкого діапазону соціальних процесів, котре має бути відображеним у функціональних зонах території підземного науково-дослідного комплексу. Крім того, варто також звернути увагу на сучасні реалії, науково-технічний прогрес та загрози, що існують для державної цілісності України.

Тому, зонування та планування території комплексу, що має обмежений режимний доступ, має передбачати майбутнє розширення, подальший розвиток та безпеку персоналу і відвідувачів.

Таким чином, на основі проведеного аналізу, можна сформулювати рекомендації щодо містобудівних засад формування підземного науково-дослідного комплексу та організації його території:

- вибір території має впливати з експериментальних, науково-дослідних і технологічних вимог проектування комплексу;
- вибір території має задовольняти, перш за все, фактор безпеки розміщення комплексу відносно інших містобудівних структур;
- розміщення комплексу має враховувати навколишню підземну забудову, негативний шумовий та вібраційний вплив, інженерні та транспортні комунікації;
- комплекс має бути розміщений за межами будь-яких населених пунктів;
- формування логічного та безпечного функціонального зонування території;
- функціональне зонування території комплексу має задовольняти першочергові потреби наукового та технічного персоналу;
- забезпечення можливості розвитку території комплексу та його можливого перетворення в окрему містобудівну структуру;
- забезпечення гармонійного поєднання ділянки забудови із навколишнім ландшафтом;
- по периметру наземної території комплексу має бути забезпечена цілодобова охорона.

3.2. Рекомендації щодо функціональної організації генерального плану території підземного науково-дослідного комплексу

Проектування території підземного науково-дослідного комплексу є досить важливим та складним завданням, оскільки вимагає чіткого функціонального зонування, розмежування транспортних та пішохідних потоків, відмежування загальнодоступної зони від науково-дослідної. Планування наземної території комплексу має повноцінно реалізовувати усі функціональні процеси, що відбуваються в її межах. Задля втілення цієї мети під час розробки генерального плану території варто зважити на наступні рекомендації:

- мінімізація зміни наземної території;
- мінімальні функціональні зв'язки з поверхнею та на поверхні;
- площа, яку займає споруда або її елементи, має бути значно меншою, ніж її площа під землею;
- чітке функціональне зонування території;
- розмежування транспортних та пішохідних шляхів;
- розмежування науково-технічних потоків з потоком відвідувачів;
- передбачення можливості реалізації науково-просвітницьких заходів та науково-туристичних заходів (семінари, симпозіуми, екскурсії);
- передбачення доступності укриття на території для працівників та відвідувачів;
- розмежування житлової зони для працівників та відвідувачів.

Важливим завданням при плануванні наземної території підземного науково-дослідного комплексу є встановлення логічних та чітких взаємозв'язків між функціональними зонами території. Функціональне зонування підземних науково-дослідних комплексів здатне змінюватися в залежності від типу, особливості ділянки розташування, величини комплексу.

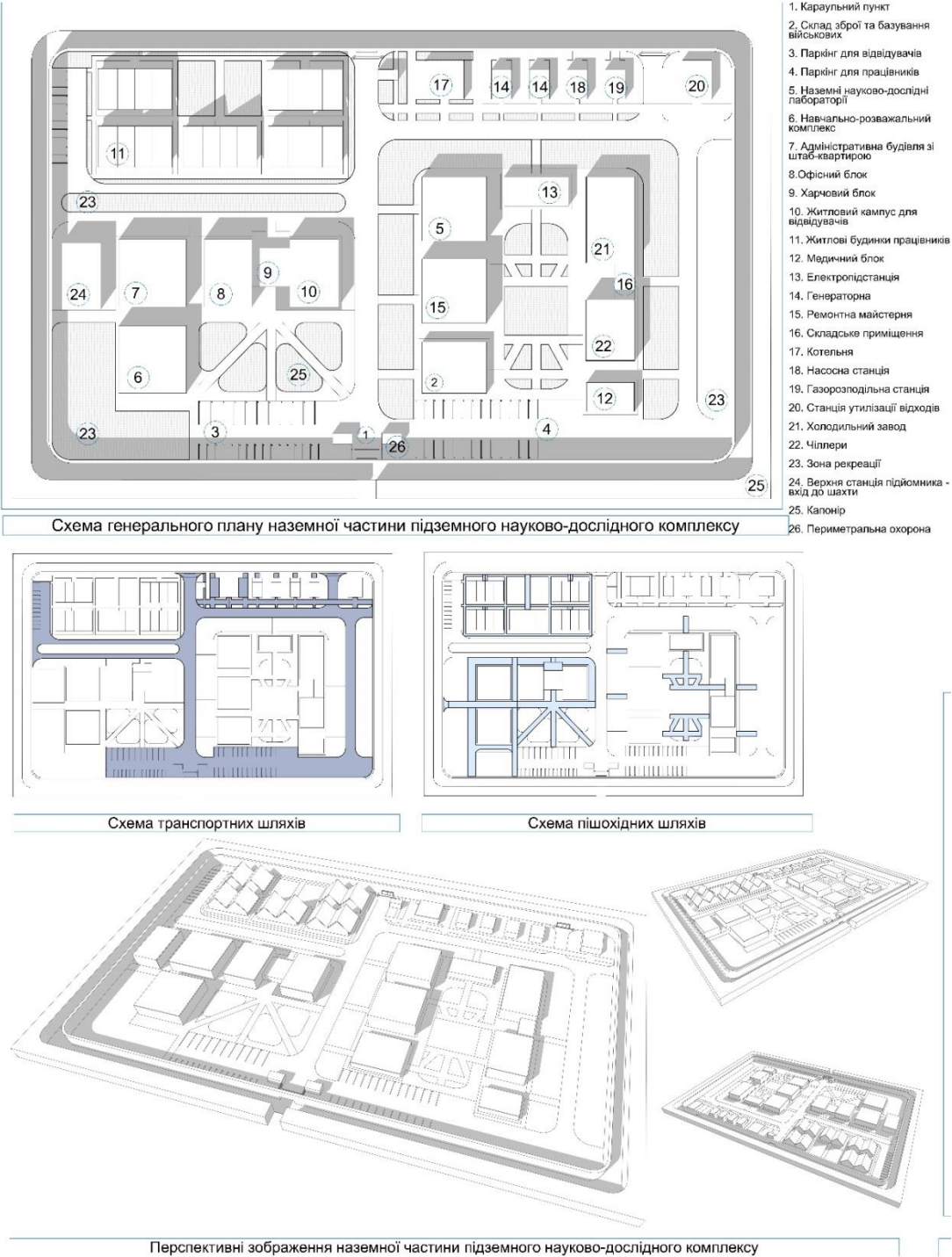


Рис.3.2.

Схема генерального плану типової наземної частини (тип 1)

До повного набору функціональних зон входять: вхідна зона; науково-дослідна; навчально-просвітницька; інженерна; адміністративна; господарсько-побутова; житлова; службова; медична; рекреаційна; безпекова; зона паркінгу та транспортних шляхів. Задля кращого розуміння функціональної моделі генерального плану території комплексу, варто більше детально ознайомитися з особливостями функціональних зон.

Вхідна зона почасти допомагає скласти враження від будь-якого закладу, в тому числі й науково-дослідного комплексу. Вона потребує відповідного естетичного оформлення, має передбачати головний в'їзд на територію для персоналу та відвідувачів. В межах зони має бути облаштований контрольний пункт, служба воєнізованої охорони, реєстрація та інформаційний пункт. Територія режимного об'єкту має знаходитись під цілодобовою периметральною охороною, а в'їзд на територію дозволений виключно за пропуском.

Науково-дослідна зона включає в себе розміщення будівель та споруд наземних науково-дослідних та обчислювальних лабораторій, експериментальних площадок, вимірювальних приладів та систем для збору та аналізу даних про стан навколишнього середовища.

Навчально-просвітницька зона передбачає облаштування експозицій та виставок в рамках проведення наукових конференцій, симпозіумів, семінарів та екскурсій. В межах цієї зони також доцільно розміщувати багатофункціональні будівлі, що здатні вмістити в собі планетарій, бібліотеку, зону віртуальної реальності та інші.

Облаштування *інженерної зони* передбачає розміщення інженерних комунікацій електропостачання, водопостачання, опалення, вентиляція та інших систем забезпечення автономності та життєдіяльності комплексу. До цієї зони також входить облаштування підстанцій, розподільних пунктів, генераторів та мереж на території ком-

плексу. На території мають бути передбачені холодильний завод та чіллери, що будуть охолоджувати підземну територію та спеціальні приміщення на наземній частині комплексу. Також на території має бути передбачена станція зв'язку, а сам об'єкт має бути заживлений як перша категорія споживачів електроенергії. В межах інженерної зони доцільно облаштувати верхню станцію підйомника.

Адміністративна зона передбачає розташування будівлі штаб-квартири, офісів, приміщень харчового блоку, санітарних приміщень та благоустрою навколо. В *господарсько-побутовій зоні* необхідно передбачити заїзд для вантажного транспорту, складські території, підсобні будівлі, зону для утилізації відходів, господарську зону при харчовому блоці, зону для вивозу сміття. Також важливо відмежувати господарсько-побутову зону від інших зон, особливо зону для утилізації відходів.

Житлова функціональна зона характеризується облаштуванням будівель для постійного, регулярного та тимчасового перебування на території комплексу персоналу та відвідувачів. При проектуванні цієї зони важливо розмежувати житлові споруди постійного та регулярного перебування для персоналу та тимчасового – для відвідувачів. До складу житлової функціональної зони також необхідно включити благоустрій прибудинкових територій: МАФи, елементи озеленення та ландшафтного дизайну, місця для відпочинку.

Службова зона передбачає влаштування ремонтних та виробничих цехів, випробувальних майданчиків, розміщення комплексної казарми (склад зброї та базування військових). До складу *медичної зони* входить будівлі лікарняного закладу, екстреної медичної допомоги, тренувань персоналу для надання першої медичної допомоги та облаштування прилеглих навколишніх територій, рекреаційна зона.

Рекреаційна або ландшафтно-паркова зона слугує для забезпечення місць для відпочинку персоналу та відвідувачів на свіжому повітрі. В цій зоні варто облаштувати невеликий сквер, алеї, місця для сидіння, спілкування та відпочинку. Увагу також

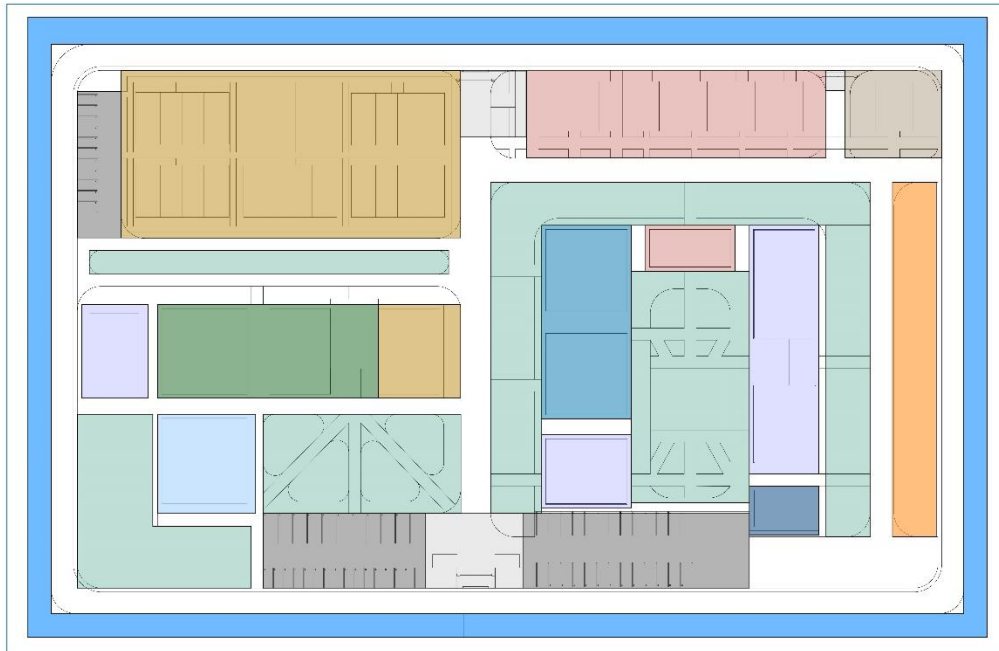
варто приділити й аспектам ландшафтного дизайну, шляхом влаштування клумб, альпійських гірок, садів та інших елементів благоустрою.

Облаштування *безпекової зони* є чи не найважливішим в умовах сучасних реалій та гарантій безпеки в майбутньому. Важливо забезпечити підземні укриття на території комплексу, що не будуть межувати з підземною частиною науково-дослідного комплексу, транспортними чи транзитними підземними шляхами, інженерними комунікаціями. Укриття мають слугувати захистом на випадок ракетного обстрілу, авіаудару, запуску ударних дронів, а також артилерійського обстрілу та обстрілу з РСЗВ, застосування хімічної чи тактичної ядерної зброї. Підземні укриття також мають бути передбачені на випадок екстремальних ситуацій на об'єкті. Крім цього, обов'язково мають бути передбачені шляхи евакуації з підземної частини комплексу та евакуаційні шляхи з території об'єкта. Мають бути дотримані пожежні норми та запроектовані шляхи під'їзду пожежних машин та іншої техніки. При загрозі застосування ядерної тактичної зброї вся підземна частина науково-дослідного комплексу має слугувати укриттям.

При проектуванні *зони паркінгу* та *транспортних шляхів* важливо розмежувати тимчасові стоянки для відвідувачів (особисті авто та екскурсійні автобуси), паркінг для персоналу, службову стоянку для технічного транспорту. Транспортні шляхи мають бути розмежованими та не мають перетинатися. Має бути забезпечений під'їзд технічного та службового транспорту до підземної частини комплексу через підземний автомобільний тунель. На території також доцільно передбачити майданчик для зльоту, посадки та стоянки гелікоптерів.

Експериментальне проектування.

На основі визначених містобудівних засад та сформованих рекомендацій щодо організації генерального плану наземної території підземних науково-дослідних комплексів були створені концептуальні 3д моделі генеральних планів. Для розробки



Функціональне зонування наземної частини підземного науково-дослідного комплексу

Вхідна зона	Службова зона	Адміністративна зона	Капонір
Науково-дослідна зона	Інженерна зона	Рекреаційна зона	
Медична зона	Господарсько-побутова зона	Зона паркінгу та транспортних шляхів	
Навчально-просвітницька зона	Житлова зона	Резервна зона	



1. Караульний пункт
2. Склад зброї та базування військових
3. Паркінг для працівників
4. Паркінг для вантажних автомобілів
5. Науково-дослідний блок
6. Адміністративний блок зі штаб-квартирою
7. Харчовий блок
8. Медичний блок
9. Холодильний завод
10. Чіллери
11. Зовнішні експериментальні майданчики
12. Зона утилізації відходів
13. Електропідстанція
14. Ремонтна майстерня
15. Складське приміщення
16. Котельня
17. Насосна станція
18. Газорозподільна станція
19. Генераторна
20. Свердловина
21. Верхня станція підйомника - вхід до шахти
22. Капонір
23. Периметральна охорона

Схема генерального плану наземної частини підземного науково-дослідного комплексу

Рис. 3.3

Схема генерального плану типової наземної частини (тип 2)

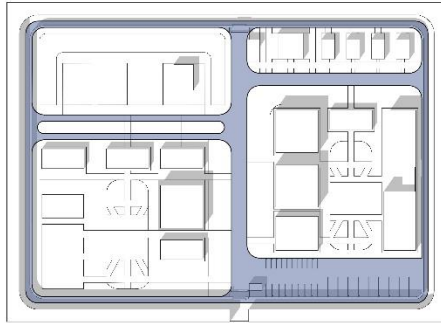


Схема транспортних шляхів наземної частини

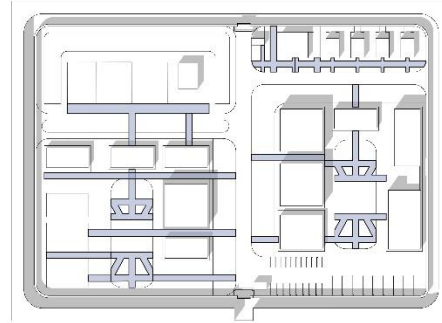
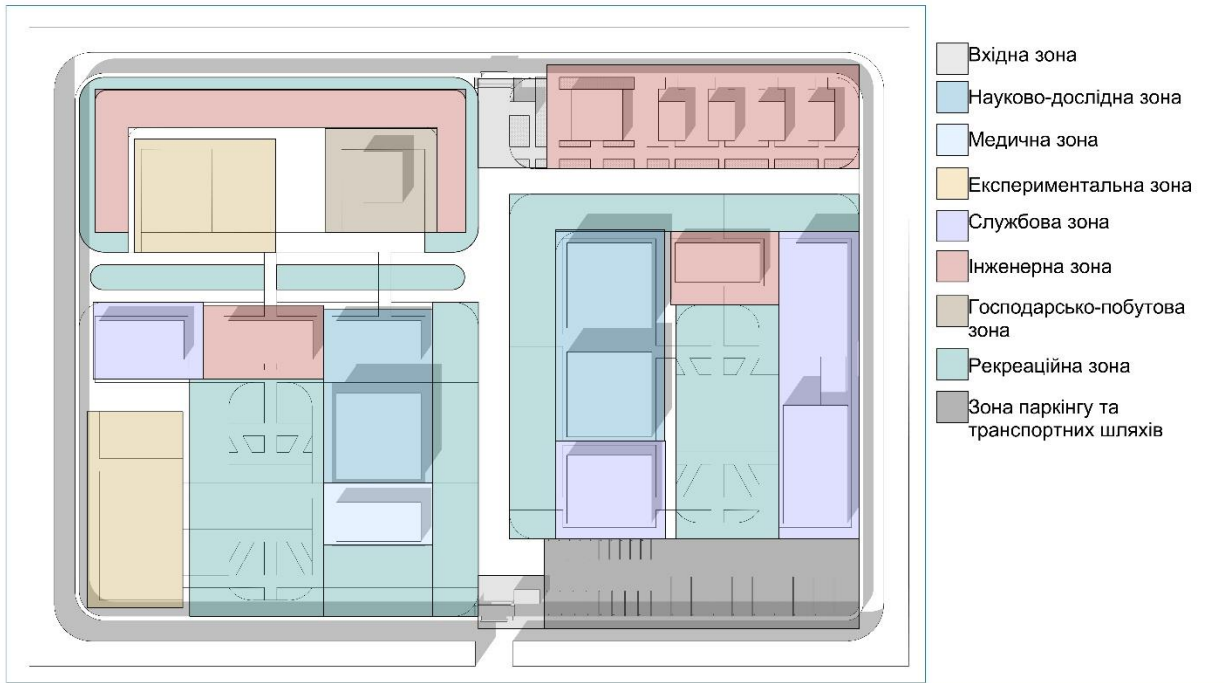
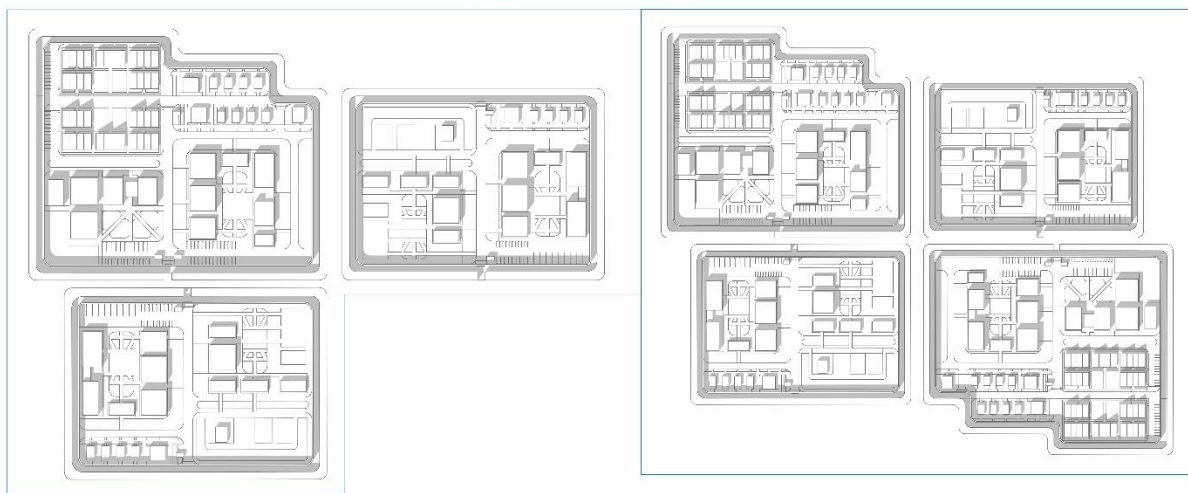


Схема пішохідних шляхів наземної частини



Функціональне зонування наземної частини



Поступове об'єднання типових наземних територій підземного науково-дослідного комплексу

Рис. 3.4

Функціональне зонування наземної частини (тип 2)

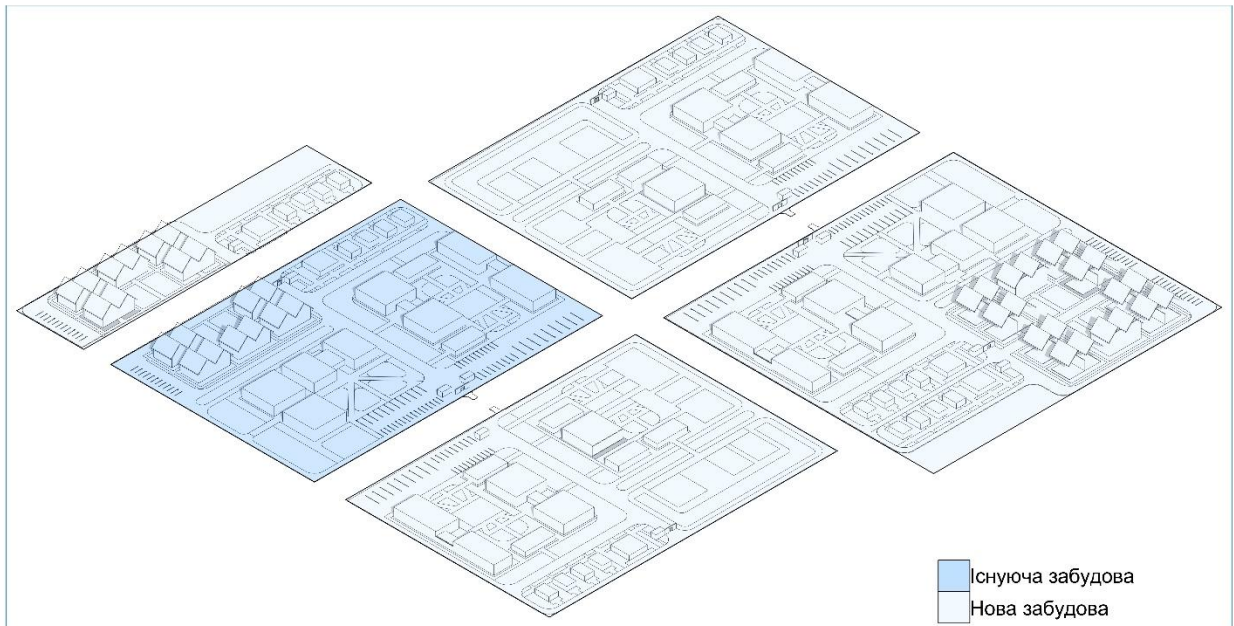
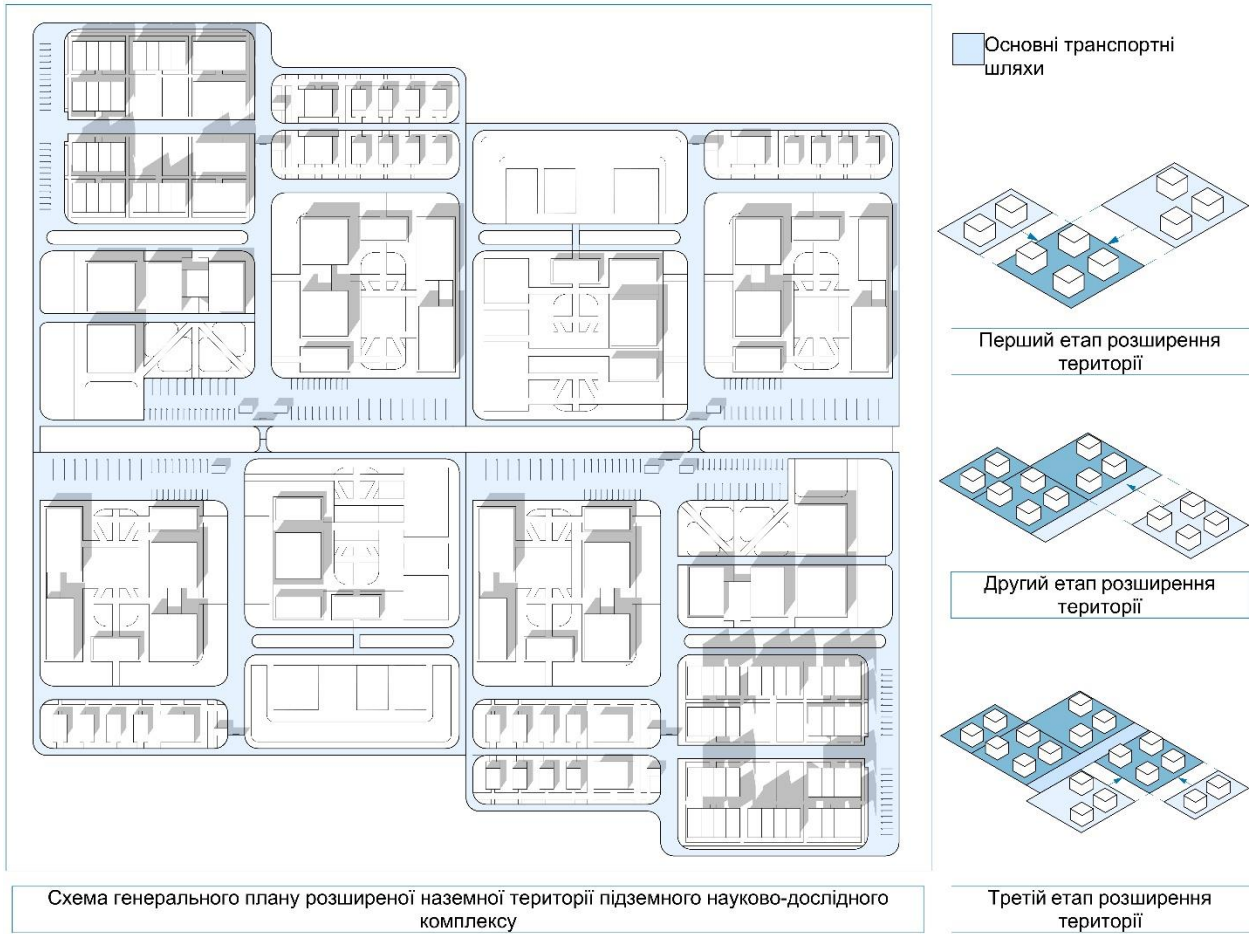


Схема поетапного розширення наземної території підземного науково-дослідного комплексу

Рис. 3.5

Схема генерального плану розширеної наземної території

були обрані дві умовні ділянки для забудови території. Для обох генеральних планів характерний павільйонний тип наземної забудови. Перший тип (рис.3.2.) ділянки характеризується наявністю адміністративно-побутової та житлової зони та розділений на три основні зони, що характеризуються доступністю: зона загального доступу, зона обмеженого доступу, зона забороненого доступу.

До зони загального доступу входять: адміністративна зона, навчально-просвітницька, житлова зона для відвідувачів, рекреаційна зона та зона паркінгу для відвідувачів. Зона обмеженого доступу включає в себе житлову зону для персоналу, рекреаційно-дозвілєву зону та медичну зону, а також службовий паркінг. До зони обмеженого доступу увійшли: науково-дослідна зона, інженерна зона, службова зона та господарсько-побутова зона. Розподіл зон обумовлений режимністю проектного об'єкта.

Другому типу (рис.3.3) ділянки також притиманна павільйонна структура, однак він характеризується відсутністю зона загального доступу та призначений лише для розміщення детекторів та організації певних експериментальних досліджень на відкритому просторі. До зони обмеженого доступу увійшли: частина інженерної зони, що відповідає за життєзабезпечення на території комплексу, господарсько-побутова зона, службова зона, частина медичної зони та ландшафтно-паркова зона.

Зона забороненого доступу включає в себе: експериментальну зону, частину інженерної зони, що обслуговує проведення експериментальних досліджень, науково-дослідну зону, медичну та ландшафтно-паркову. Обидві ділянки також забезпечені санітарно-захисною зоною із зелених насаджень. В'їзд на територію передбачений окремо для відвідувачів від умовної головної магістралі, та за рахунок об'їзду для персоналу, що проживає на території, або виконує господарсько-побутову функцію.

На ділянці першого типу також передбачені паркомісця для крупногабаритного транспорту, службових маловітражних автомобілів, невеликих грузових автомобілів. Передбачені паркомісця для особистих автомобілів відвідувачів комплексу та місця для екскурсійних автобусів. Також передбачено зелені насадження на території.

Ділянки розроблені з метою втілення теоретичних рекомендацій на практиці, в даному випадку в концептуальному проектуванні. Передбачено також три етапи подальшого розширення території. Перший етап включає в себе об'єднання ділянки першого та другого типу з додатковим розвитком житлової та інженерної зони. Другим етапом передбачено приєднання типової першої ділянки до утвореного осередка, створення проїжджої частини та об'їзду території. На третьому етапі розширення наземної території передбачене додавання типової ділянки другого типу до вже існуючої та розширення житлової та інженерної зон (рис.3.4).

3.3. Типологічні особливості підземних науково-дослідних комплексів

Типологічні особливості підземних науково-дослідних комплексів визначаються науковим призначенням комплексів, специфікою досліджень, що проводяться, та глибиною їх розташування. Функціональні групи приміщень та їх склад є подібними в більшості підземних науково-дослідних комплексів, а площі тих чи інших функціональних зон та приміщень залежать від домінуючої наукової галузі, напрямків досліджень та об'ємно-планувальних особливостей комплексу.

В запропонованій авторкою класифікації підземних науково-дослідних комплексів було визначено три типи даних комплексів за науковою галуззю: фізики та ядерної фізики, астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарні. Залежно від специфіки досліджень та експериментів, що проводяться, визначається глибина розташування підземної частини комплексу, домінуюча функціональна група приміщень, їх площа та об'єм підземної частини.

В ході дослідження були проаналізовані світові підземні лабораторії, що зосереджені на дослідженнях в галузі фізики елементарних частинок, ядерної фізики, а також дослідженнях в області астрофізики. Деякі зі світових аналогів підземних лабораторій з часом розширюють свою науково-дослідну діяльність на галузі біології та

медицини, геології та геофізики. Такі підземні науково-дослідні комплекси доцільно визначити як мультидисциплінарні.

Для кожного типу підземного науково-дослідного комплексу визначений склад приміщень та функціональних блоків, розроблені структурні моделі, що залежать від видів експериментальної та наукової діяльності. Тип комплексу визначається домінуючими функціональними блоками згідно з розробленими моделями.

Підземні лабораторії фізики та ядерної фізики (рис.3.5) є найбільш поширеним типом підземних науково-дослідних комплексів, що отримали значний розвиток в останні десятиліття. В комплексах цього типу, як в підземній, так і наземній частинах, можуть бути зосереджені усі різновиди діяльності – від експериментальної та науково-дослідної до навчально-просвітницької та туристичної. Вони поєднують в собі дослідження в галузях фізики та ядерної фізики, фізики елементарних частинок. Незважаючи на те, що домінуючою функціональною групою приміщень в цих комплексах є зали з експериментальними установками для дослідження елементарних частинок та подвійного бета-розпаду, нерідко вони поєднуються з установками, призначеними для вивчення темної матерії та антиматерії, що притаманне дослідженням в галузі астрофізики. Такі комплекси формуються за межами населених пунктів на глибині від 1400 м до понад 2000 м, під гірським масивом або в існуючих шахтах, за об'ємом є великими та надвеликими, і характеризуються багатозальністю.

Аналіз світових аналогів проектування підземних лабораторій фізики та ядерної фізики дає зрозуміти, що такі заклади проектуються як монолітні структури та мають горизонтальний розвиток підземної частини на одній відмітці глибини.

В складі типової підземної лабораторії фізики та ядерної фізики присутні наступні функціональні зони:

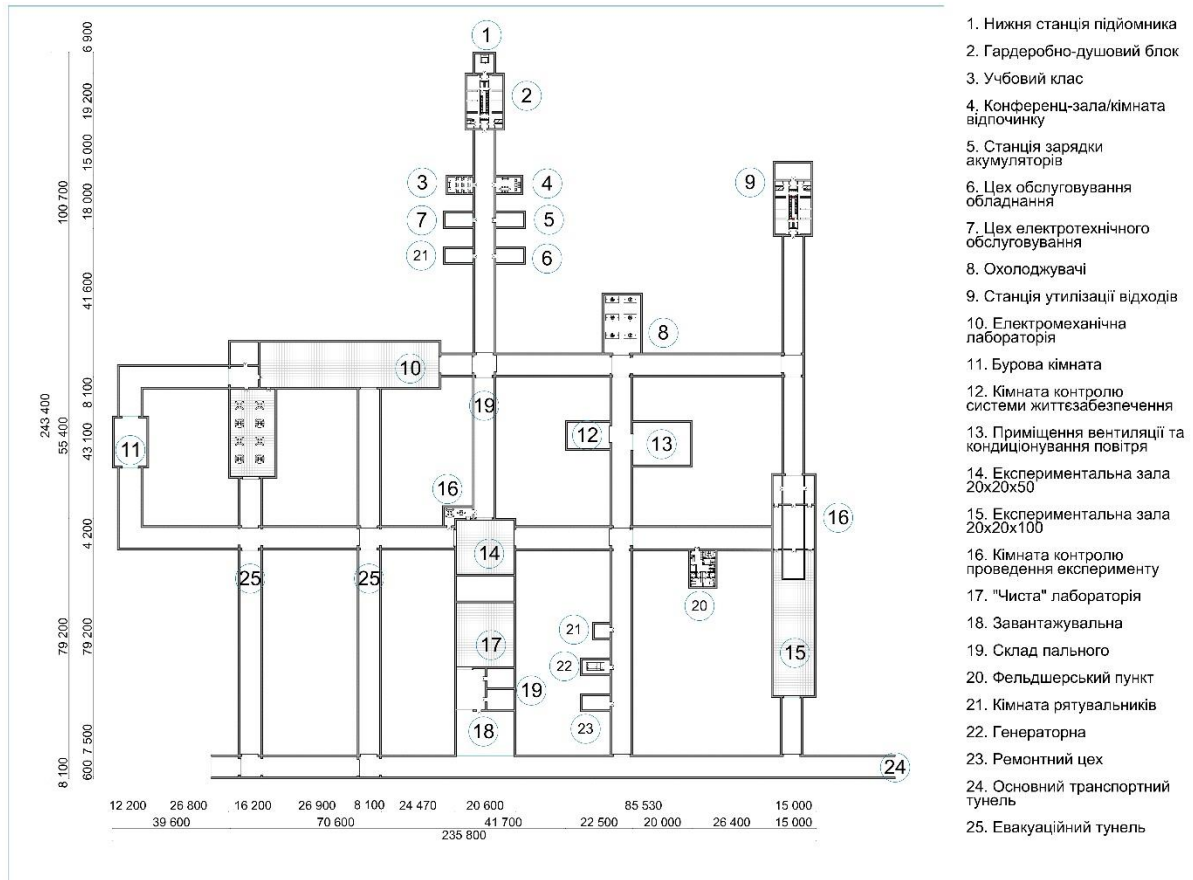
- вхідна – нижня станція підйомника, вертикальний тунель, що пов'язує підземну та наземну частину, контрольно-пропускний пункт, санпропускник;

- експериментальна – від трьох і більше основних залів з кімнатами контролю за проведенням експериментів. Характерні розміри основних залів: 20x20x50/75/100 м, де ширина та висота дорівнюють 20 м, а довжина змінюється в залежності від експериментальних установок. Одна експериментальна зала може вміщувати від трьох до п'яти експериментальних установок в залежності від розмірів та експериментів, що проводяться. Експериментальні зали пов'язані між собою транзитними тунелями, у котрих також можуть бути розміщені обладнання або експериментальні установки. Такі тунелі є значно меншими порівняно з основними залами.
- науково-дослідна зона – приміщення з обчислювальною технікою та електроприладами, додаткові лабораторні приміщення;
- санітарно-гігієнічна зона включає в себе чисту кімнату та санвузли, також в «чистій» зоні варто передбачити учбовий клас для проведення конференцій, зустрічей, а також забезпечити можливість відпочинку для персоналу;
- зона утилізації відходів є герметичним приміщенням, що слугує для утилізації відходів. Вона має бути віддалена від основних підземних приміщень та містити гардеробну чистого одягу, кімнату знезараження, душову, санвузол, гардеробну брудного одягу та герметичну кімнату для зберігання відходів;
- інженерна – система життєзабезпечення та інженерні комунікації;
- механічна – група допоміжних приміщень, що підтримують функціонування експериментальних установок та загальний стан лабораторії;
- транспортна – автомобільні шляхи, евакуаційні та аварійні тунелі, транзитні шляхи, контрольно-пропускний пункт для транспорту;
- медична – пункт надання першої домедичної допомоги;
- резервна зона передбачена для розширення підземної частини лабораторії за умови можливості добудови додаткових тунелів, експериментальних залів, лабораторій тощо.

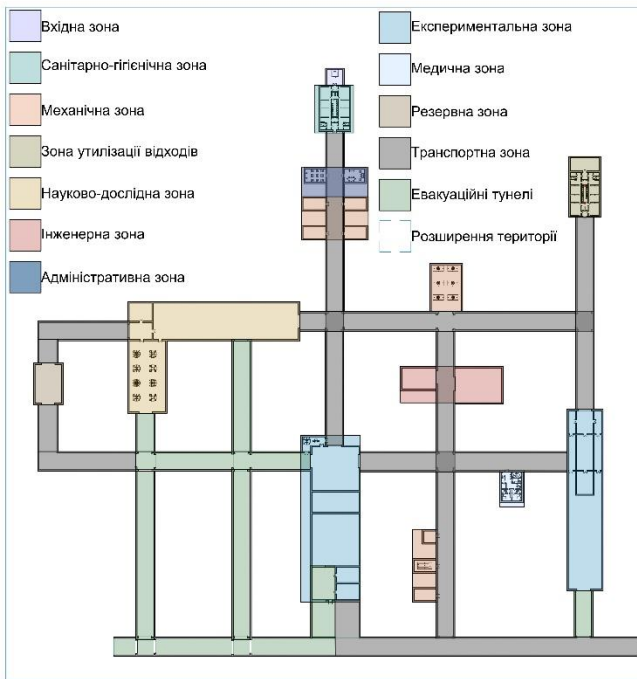
Функціональні зони наземної частини такого комплексу залежать від завдання на проектування, розмірів ділянки, кількості співробітників, тривалості їх перебування на території та функцій, що покладені на підземний науково-дослідний комплекс.

Підземні лабораторії астрофізики та космічного випромінювання (рис.3.6) спеціалізуються на дослідженнях нейтрино, темної матерії, антиматерії, гравітаційних хвиль та космічного випромінювання. Дослідження та систематизація знань про світові аналоги проектування даного типу підземних лабораторій дозволяють стверджувати, що цей тип переважно розміщується у підземних шахтах та має блоковану структуру. Найнижча відмітка глибини підземних лабораторій, що спеціалізуються на дослідженнях в галузі астрофізики та космічного випромінювання, досягає близько 5 км від поверхні. Глибина залягання експериментальних тунелів в Сендфордському підземному науково-дослідному комплексі досягає відмітки у 4850 м. Розгалужена багаторівнева структура цього комплексу знаходиться в шахтних тунелях під гірським масивом на відмітках 300 м, 800 м, 1700 м, 2000 м, 4100 м, 4550 м та 4850 м. В проекті комплексу також закладено збільшення глибини до 7400 м протягом наступних 15 років. Втім, комплекс спеціалізується є на дослідженнях в галузях геології та біології, що робить його радше мультидисциплінарним.

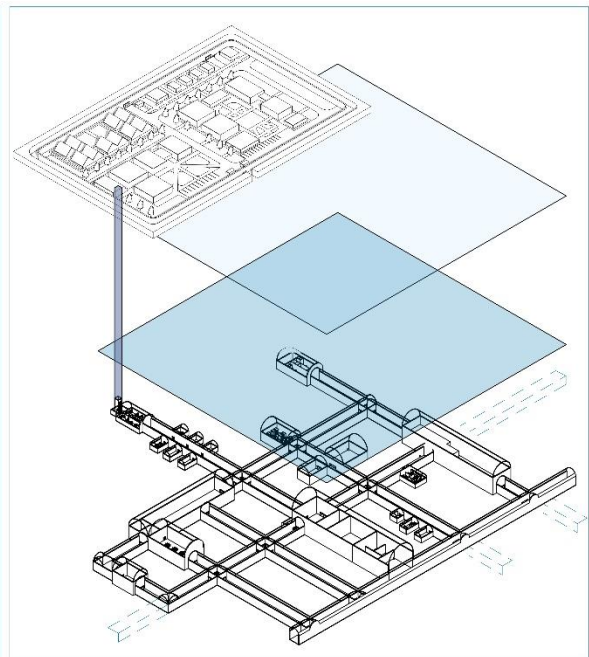
Тож більшу увагу варто звернути на світові аналоги даного типу лабораторій, котрі тяжіють до компактної структури підземної частини. Серед таких варто виділити підземний науково-дослідний комплекс в Австралії – SUPL, лабораторію



Типологічні особливості підземного науково-дослідного комплексу фізики та ядерної фізики



Функціональне зонування підземного науково-дослідного комплексу



Аксонетрична схема підземного науково-дослідного комплексу фізики та ядерної фізики

Рис. 3.6

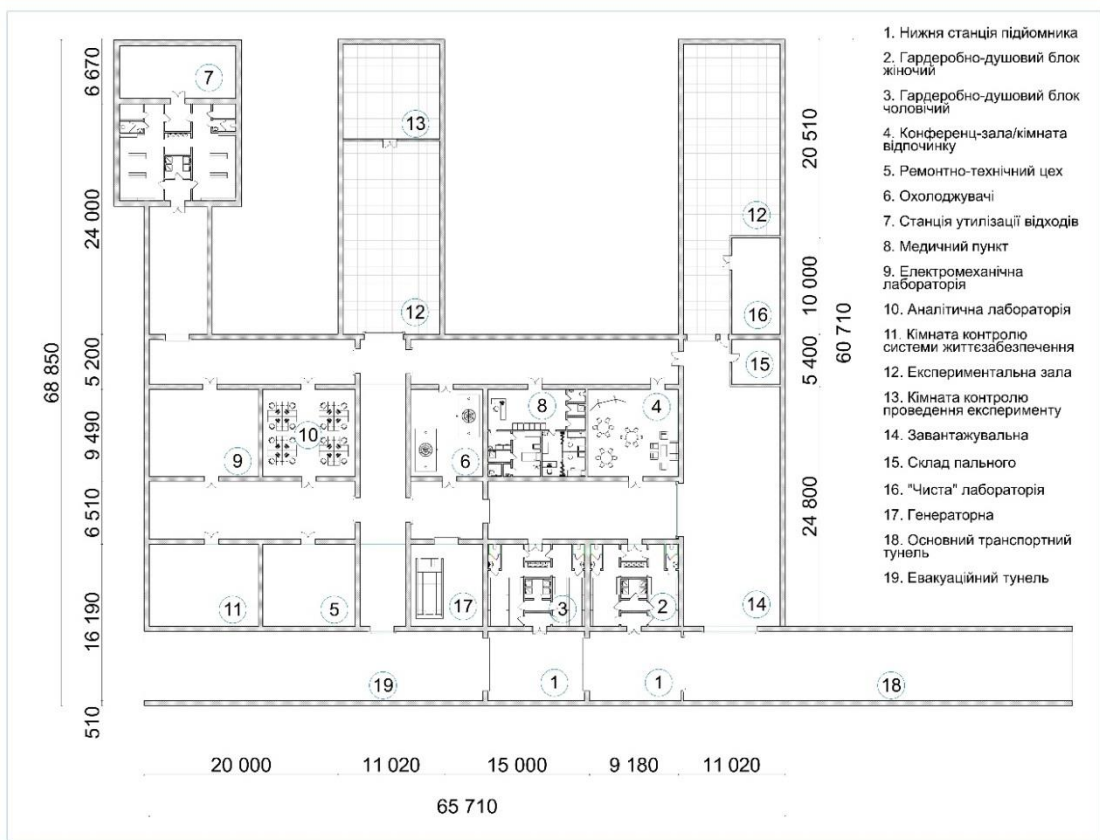
Підземний науково-дослідний комплекс фізики та ядерної фізики

Modane у Франції, лабораторію Boulby в Англії, котрим притаманний однорівневний горизонтальний розвиток.

Для типової підземної лабораторії астрофізики та космічного випромінювання характерні наступні функціональні зони:

- вхідна – шахтні ліфти, що поєднують наземну частину комплексу з підземними структурами на різних рівнях;
- експериментальна – одна основна зала середньою довжиною 30 м та шириною 10 м, висота такої зали може сягати 15 м, що обумовлене доволі компактними розмірами експериментальних установок, що застосовуються для досліджень в астрофізиці;
- науково-дослідна – прилеглі аналітичні та обчислювальні лабораторії;
- санітарно-гігієнічна – приміщення чистих кімнат, сан-вузли, душові;
- інженерна – тунелі з вентиляційним обладнання та установками кондиціонування, обладнання призначене для підтримки експериментальних досліджень;
- транспортна – вертикальні шахтні тунелі, що пов'язують між собою різнорівневі структури, транзитні тунелі, котрі слугують горизонтальними зв'язками між установками на визначеному рівні;
- медична зона передбачає пункт надання домедичної допомоги;
- резервна зона має передбачати розширення лабораторії.

Функціональне наповнення наземної частини комплексу також залежить від кількості співробітників та терміну їх перебування. Здебільшого, комплекси, що мають настільки розвинуту підземну структуру, мають забезпечувати житлову, рекреаційно-дозвіллеву, харчову та інші функції, що забезпечують довготривалу життєдіяльність співробітників на території комплексу. Підземна частина має бути пов'язана



Типологічні особливості підземного науково-дослідного комплексу астрофізики та космічного випромінювання

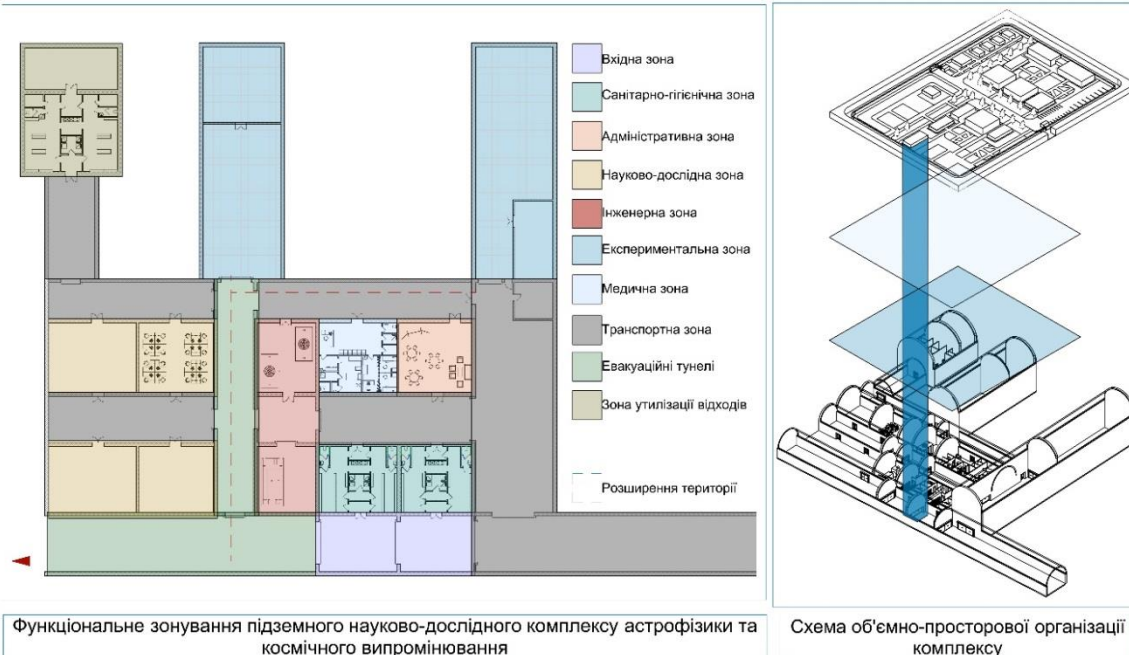


Рис.3.7

Підземний науково-дослідний комплекс астрофізики та космічного випромінювання

з наземною науково-дослідною структурою – інститутом, штаб-квартирою, офісною чи лабораторною будівлею.

Мультидисциплінарні підземні науково-дослідні комплекси (рис.3.7,3.8) отримали свій розвиток в останнє десятиліття. Не зважаючи на те, що в лабораторіях ядерної фізики можуть проводитись експериментальні дослідження в галузі астрофізики, а в лабораторіях з дослідження космічного випромінювання можуть проводитись експерименти з галузі фізики, лише кілька світових аналогів можна типізувати як мультидисциплінарні лабораторії. Такі підземні лабораторії спеціалізуються на дослідженнях в галузях: фізики, астрофізики, геології, геофізики та біології. Для цього типу лабораторій характерний багаторівневий розвиток та вертикальне функціональне зонування. З таких типів лабораторій лише SNOlab має однорівневий горизонтальний розвиток. Одним з прикладів розгалуженої структури підземної частини є CallioLab – підземна мультидисциплінарна лабораторія в місті Пюхасалмі, Фінляндія. В підземному комплексі є чотири основні лабораторії, що спеціалізуються в галузях: фізики, біології та харчового виробництва, підземного інформаційного моделювання, гігієни праці, геології та гідрології, сейсміці. Глибина комплексу складає 1440 м. Доступ забезпечується через похилий тунель та вертикальну шахту.

Для мультидисциплінарного типу підземних лабораторій характерна наявність наступних функціональних зон:

- вхідна – шахтний ліфт, що забезпечує зв'язок підземної та наземної частин;
- експериментальна - від 3 і більше експериментальних залів з установками. В Сендфордській лабораторії довгобазисна нейтринна установка має наступні параметри: 2 детекторні зали 145 м довжиною, 20 м шириною та 28 м висотою; 1 допоміжна зала – 190 м довжини, 20 м ширини та 11 м висоти. «Module f Opportunity» - одна з установок експерименту DUNE (Deep underground neutrino experiment – глибокопідземний нейтринний експери

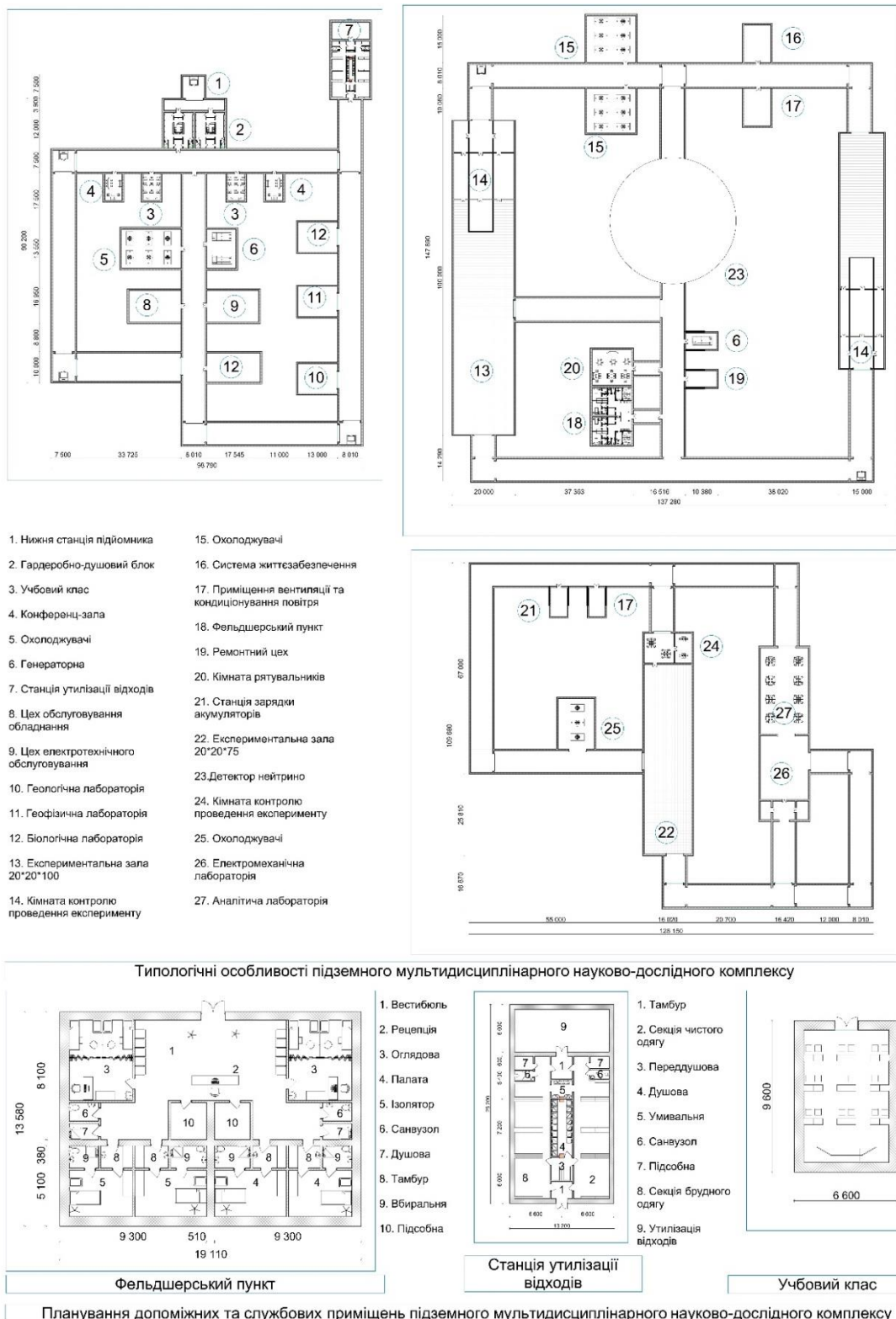


Рис. 3.8 Мультидисциплінарний підземний науково-дослідний комплекс

- мент) має розміри 73 м довжини, 20 м ширини та 28 м висоти. Експериментальна зона, зокрема експеримент DUNE, передбачає зв'язок

підземним тунелем близько 1300 км між двома лабораторіями: SURF (Сендфорський підземний науково-дослідний комплекс в штаті Південна Дакота) та FermiLab (штат Ілінойс);

- науково-дослідна – від 1 до 4 лабораторних корпусів, в кожному з яких проводяться суміщенні дослідження в одній чи двох наукових галузях;
- інженерна – допоміжне обладнання та обладнання, що забезпечує життєдіяльність під земною поверхнею;
- транспортна – транспортні тунелі: похилі та вертикальні, ліфти, горизонтальні тунелі, евакуаційні та аварійні тунелі.
- санітарно-гігієнічна може бути суміщена разом із вхідною зоною та включає в себе чисте приміщення, сан-вузли, душові, кімнати відпочинку.

Наземна частина даного типу комплексу може передбачати довготривале перебування співробітників на території, отже має забезпечувати житлову, адміністративно-побутову, рекреаційно-дозвілєву, харчову та медичну функції. В наземній частині також варто передбачити науково-дослідну зону з аналітичними та обчислювальними лабораторіями, службову та інженерну зони.

Тип мультидисциплінарних підземних науково-дослідних комплексів вважається авторкою дослідження найбільш перспективним для формування та розвитку на території України, оскільки здатний забезпечити розвиток досліджень не лише в галузях ядерної фізики та астрофізики, а й забезпечити необхідні умови для вдосконалення досліджень в галузях медицини, біології та оборонної промисловості.

Експериментальне проектування.

Спираючись на проведений аналіз світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів та керуючись визначеними в процесі дослідження типами даних комплексів, були розроблені концептуальні функціональні моделі кожного типу комплексів.

Перший тип підземного науково-дослідного комплексу фізики та ядерної фізики (рис.3.5) запропоновано організувати в гірському масиві, сформувати його, виходячи з положень класифікації – надвеликим, багатозальним, однорівневим, з горизонтальним типом доступу для транспорту та вертикальним – для персоналу. Підземна частина комплексу умовно поділена на три зони, зважаючи на клас доступності кожної: зона загального доступу, зона доступу інженерного персоналу, зона доступу наукового персоналу.

Зона загального доступу організована при входній зоні підземної частини комплексу включає в себе: входну зону з контрольно-пропускним пунктом, санітарно-гігієнічну зону. Зона загального доступу, що була відмежована, складається з: науково-дослідної зони, транспортної зони та резервної зони. До зони доступу інженерного персоналу входять: механічна зона, інженерна зона, медична зона. Зона доступу наукового персоналу обмежується експериментальною зоною. Розподіл підземного комплексу є умовним. В комплексі передбачені також евакуаційні шляхи та розширення території через горизонтальні транспортні тунелі та резервну зону.

Експериментальна зона представлена двома експериментальними залами розмірами 20x20x50 м та 20x20x75 м. Кожна зала забезпечена кімнатою контролю проведення експерименту. Одна з них має завантажувальну та доступ до складу пального. Між двома залами в необхідній доступності є медичний пункт, а також кімната рятувальників, резервне джерело живлення – генератор та ремонтний цех. Зали сполучаються між собою допоміжними горизонтальними тунелями, мають евакуаційні виходи, забезпечені герметичними шлюзами для додаткової ізоляції та безпеки. Науково-дослідна зона представлена електромеханічною лабораторією габаритними розмірами 60x45 м, що включає в себе входну зону та зону для персоналу. Підземна частина комплексу має обов'язкове забезпечення охолоджувачами та приміщенням для утилізації відходів, в тому числі і ядерних.

Другий тип – підземний науково-дослідний комплекс астрофізики та космічного випромінювання (рис.3.6) запропоновано організувати в шахті, забезпечивши основний вертикальний доступ та допоміжний горизонтальний для автомобільного транспорту. Структура комплексу – компактна, однорівнева та двозальна. За об'ємом його можна класифікувати як малий. Комплекс астрофізики має значно менші габарити порівняно з комплексом фізики та ядерної фізики, що пояснюється меншими габаритами обладнання, котре використовується в галузі астрофізики. Комплекс, подібно до першого типу, має умовний поділ на три зони: загального доступу, доступу інженерного персоналу та доступу наукового персоналу.

Зона загального доступу включає в себе вхідну зону, санітарно-гігієнічну, медичну, механічну та зону транспортних шляхів. Зона доступу інженерного персоналу обмежується інженерною зоною, а зона доступу наукового персоналу – експериментальною та науково-дослідною.

Експериментальна зона включає в себе дві експериментальні зали розмірами 30x15 м разом з кімнатою контролю проведення експериментів в одній залі та «чистій» лабораторії в іншій. Науково-дослідна зона представлена електромеханічною та аналітичною лабораторіями. Комплекс забезпечений евакуаційними тунелями та передбачає подальше розширення.

Третій тип комплексу – мультидисциплінарний підземний науково-дослідний комплекс (рис.3.7, 3.8) має найбільші габаритні розміри з усіх та класифікований як надвеликий та найглибший. Характерною особливістю даного типу є його багаторівневість та вертикальне функціональне зонування. Комплекс пропонується розмістити в шахті та умовно розділити на три рівні. Перший рівень включає в себе зону мультидисциплінарних досліджень, другий розділений на зону досліджень в галузі астрофізики та зону досліджень в галузі фізики. Третій рівень повністю зайнятий зоною досліджень в галузі фізики.

На кожному рівні визначені відповідні зони доступності, а також сформований розподіл функціональних зон по рівнях відповідно. Рівні сполучені між собою вертикальними шахтними ліфтами, однак до кожного рівня забезпечений і індивідуальний доступ та організований його зв'язок з поверхнею.

Перший рівень складається з лабораторій геології, геофізики, біологічної лабораторії, а також має свій окремий блок системи життєзабезпечення, приміщення вентиляції та кондиціонування повітря, а також цех електромеханічного обслуговування. На другому рівні, в зоні досліджень в галузі астрофізики, розміщено детектор нейтрино, що габаритними розмірами подібний до аналогічного в лабораторії SNOlab, Канада, та експериментальну залу розмірами 20x20x100 м, що здатна вмістити в собі кілька експериментальних установок. Зона досліджень в галузі фізики на цьому ж рівні представлена експериментальною залою розмірами 20x20x75 м. Приміщення на другому рівні також налічують медичний пункт, кімнату рятувальників, генератор, ремонтний цех, охолоджувачі, станцію зарядки акумуляторів та приміщення для утилізації відходів.

Третій та, відповідно, найглибший рівень відповідає за дослідження в галузі фізики і представлений експериментальною залою розмірами 20x20x75 м та залою 20x20x100 м. Зали мають доступ до кімнати контролю проведення експериментів, поєднуються між собою транзитними тунелями. На рівні передбачені медичний пункт, охолоджувачі, цехи обслуговування та електромеханічного обладнання, а також санвузол. На кожному рівні передбачені евакуаційні тунелі, що сполучаються з поверхнею, а також передбачене як горизонтальне, так і вертикальне розширення підземної частини комплексу. На прикладі третього типу підземного науково-дослідного комплексу також показаний його можливий взаємозв'язок з наземною частиною.

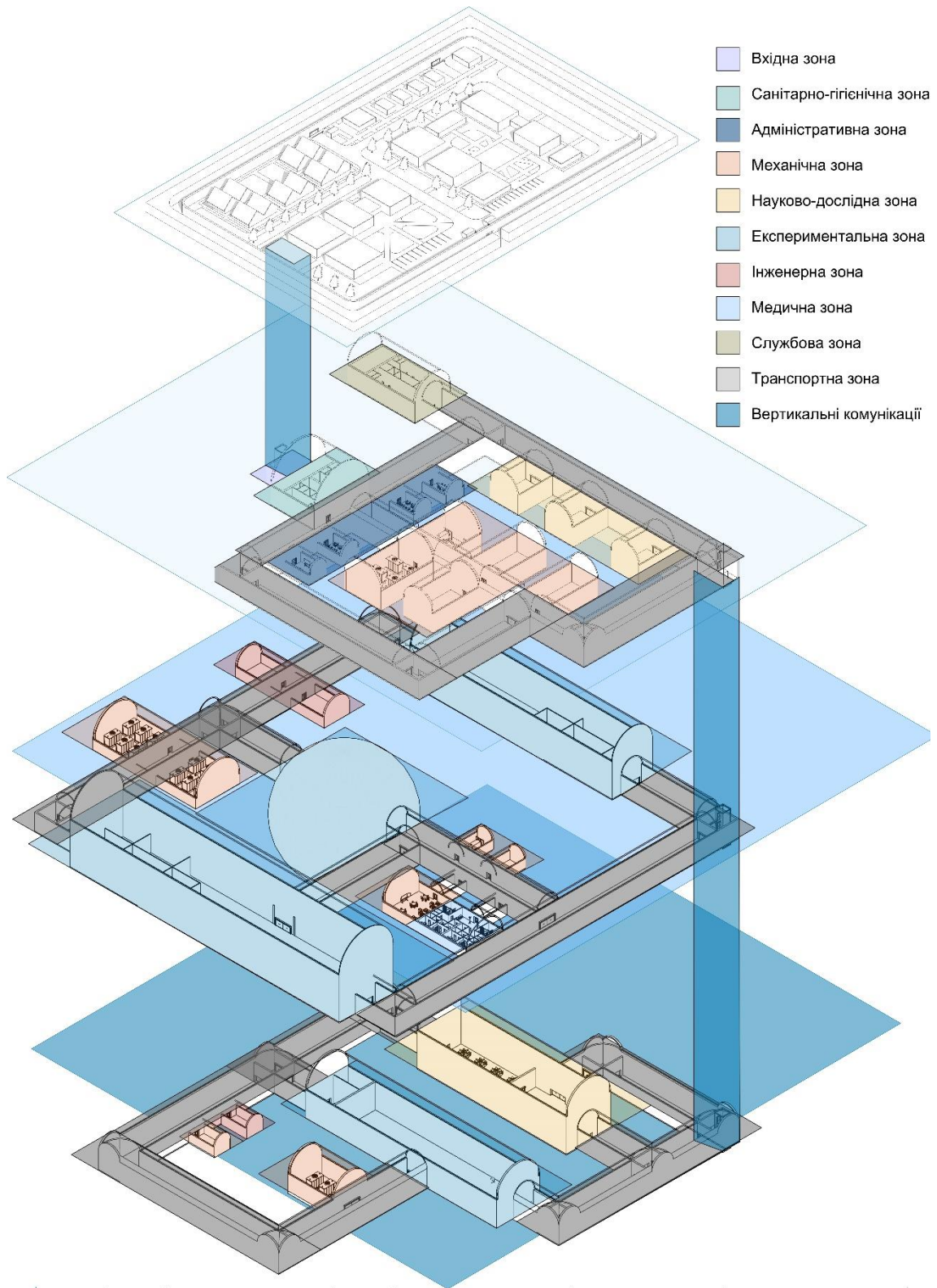


Рис.3.9

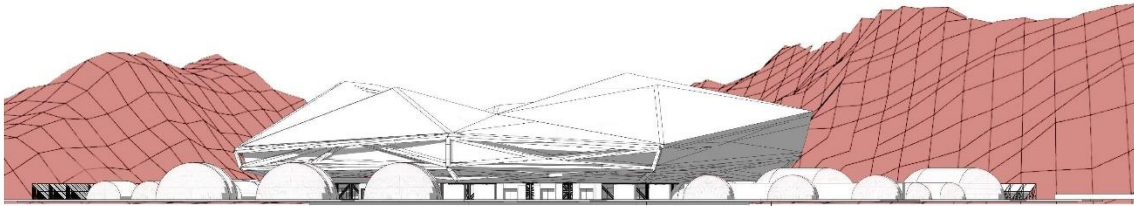
Функціональне зонування мультидисциплінарного підземного науково-дослідного комплексу

3.4. Принципи архітектурно-планувальної організації середовища підземних науково-дослідних комплексів

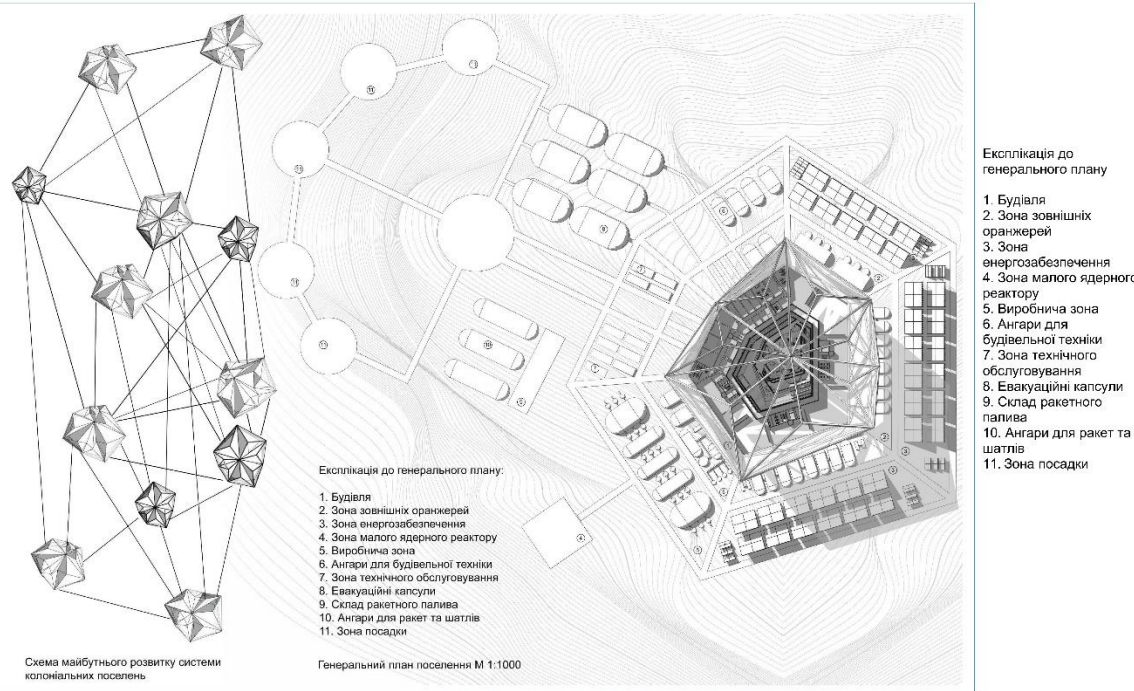
За результатами проведеного дослідження, аналізу та систематизації отриманих даних сформульовані принципи, якими доцільно керуватися при вирішенні архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів: принцип наукової відповідності; принцип автономності; принцип ергономічної відповідності; принцип просторового розвитку.

Принцип наукової відповідності (рис.3.9). Особливості та специфіка експериментальних досліджень, що мають проводитись в комплексі, а також науково-дослідні процеси вимагають дотримання визначених технічних та технологічних вимог при проектуванні підземного науково-дослідного комплексу. Об'ємно-просторова та функціонально-планувальна організація підземної та наземної частин комплексу безперечно має впливати з вимог до влаштування експериментальних залів та науково-дослідних лабораторій. Експериментальні установки, що використовують для проведення досліджень в галузях фізики, ядерної фізики, астрофізики мають різні фізичні та технічні характеристики, експерименти потребують жорсткого дотримання визначених вимог: глибини, клімату, рівню космічного випромінювання, рівню радіації та інші. Важливим аспектом в даному підході є також відповідність ділянки проектування – фактори, що впливають на містобудівну організацію комплексу.

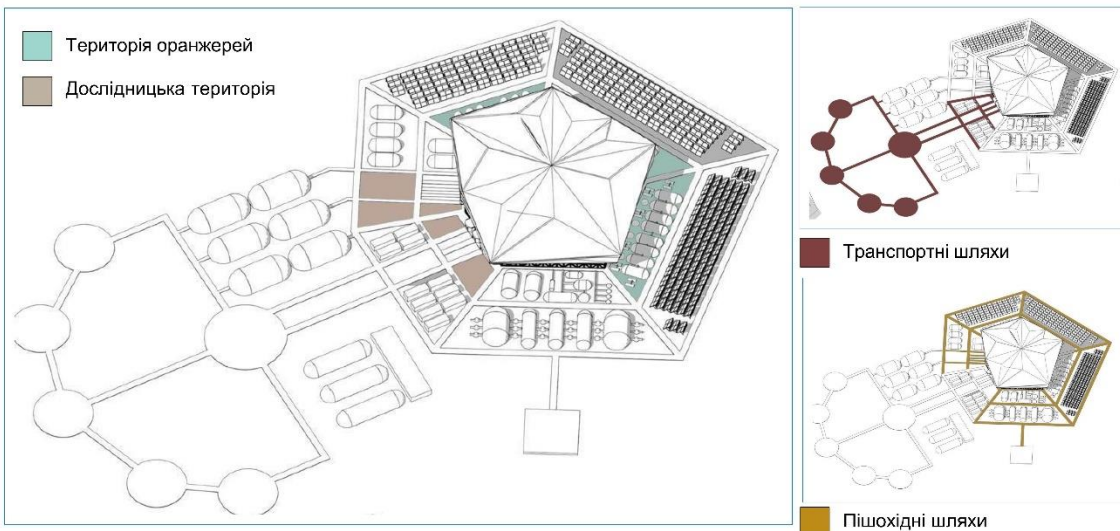
При пошуку архітектурного рішення комплексу варто враховувати особливості проведення експериментів, мультидисциплінарність комплексу, кількісний та якісний склад наукових співробітників та службового персоналу, термін їх перебування на об'єкті та можливість забезпечення науково-просвітницької та туристичної діяльності комплексу. В першу чергу комплекс має бути орієнтований на задоволення науково-



Головний фасад наземної частини



Генеральний план наземної частини комплексу



Територіальне зонування наземної частини комплексу

Рис. 3.10

Впровадження принципу наукової відповідності на прикладі підземного багатофункціонального комплексу

дослідних та експериментальних потреб, тобто виконувати своє основне функціональне призначення. В залежності від низки факторів, що були розглянуті в попередніх розділах, залежно від типу проєктованого комплексу, кількісного та якісного складу співробітників, має бути розглянута можливість розвитку наземної частини комплексу у вигляді однієї споруди або ж ансамблю кількох споруд, що виконуватимуть другорядні функції та будуть здатні задовольнити соціальні та фізіолого-психологічні потреби працівників. Керуючись даним принципом, важливо передбачити можливість значного розширення території підземної частини, її вертикального чи горизонтального розвитку.

Наукова специфіка підземного науково-дослідного комплексу знаходить своє втілення в усіх компонентах проєкту: територіальне зонування (науково-дослідні площадки, експозиції, зона утилізації відходів), чіткий функціональний розподіл підземної та наземної частин, функціональні зв'язки між зонами комплексу, інтер'єрне вирішення підземної та наземної частин, екстер'єрне вирішення (засоби візуальної комунікації, тектонічне та художнє вирішення наземних споруд), об'ємно-просторове вирішення підземної частини.

При проєктуванні підземного науково-дослідного комплексу доцільно керуватись *принципом автономності* (рис.3.10). Особливості функціонування підземного науково-дослідного комплексу та специфіка його експериментальної складової вимагають певних природо-кліматичних умов, що мають бути забезпечені низкою інженерних систем. Важливою умовою є кондиціонування, вентиляції та фільтрації зовнішнього повітря, що потрапляє через вентиляційні шахтні канали. В експериментальних залах, в залежності від технічних характеристик установок та умов проведення експериментів, мають бути забезпечені сталі вологість та температура повітря, його хімічний склад. В науково-дослідних підземних лабораторіях ці характеристики можуть відрізнятися, а в загальнодоступних приміщеннях – тунелях, чистих приміщеннях та кімнатах відпочинку ці характеристики мають відповідати фізіологічним потребам

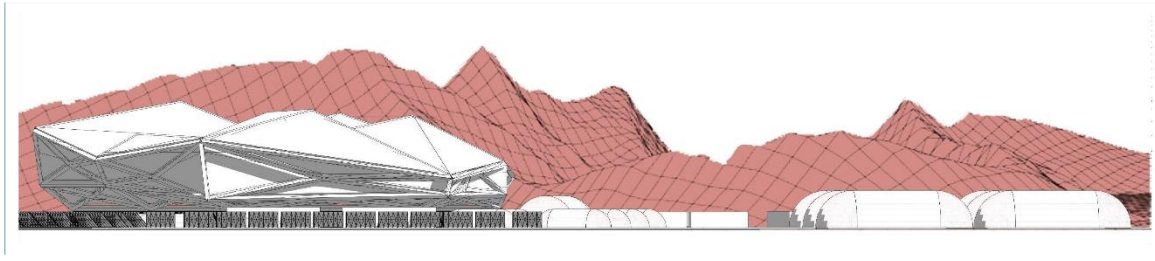
працівників. При створенні автономного підземного комплексу має бути влаштована система життєзабезпечення, що включає в себе: систему управління атмосферою, систему управління водою, систему управління продовольством та систему управління відходами.

Система управління атмосферою включає в себе утилізацію вуглекислого газу та забезпечення киснем, живлення атмосфери, хімічний контроль складу повітря, контроль тиску, вологи та температури повітря, моніторинг якості повітря, а також моніторинг диму. До системи управління водними ресурсами входить водопостачання питної та технічної води, моніторинг якості, кількості та хімічного складу води, моніторинг кількості води в охолоджуючих резервуарах, поповнення водних ресурсів.

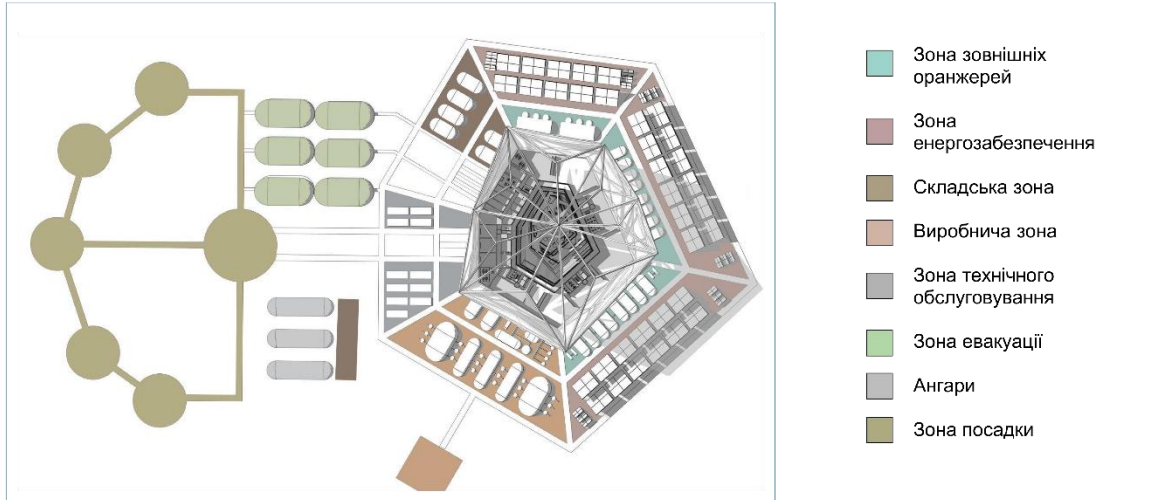
Система управління продовольством включає в себе поставку продуктів харчування, контроль їх якості та правильне зберігання. Діяльність цієї системи доцільно забезпечити на поверхні, ніж в підземному середовищі. Система управління відходами має відповідати за збір та зберігання твердих відходів, каналізаційну систему, сегрегацію та утилізацію відходів після проведення експериментів.

На території комплексу мають бути передбачені резервні джерела електроенергії – дизельні генератори, акумулятори, інвертори, та джерела опалення – котельня, буржуйки. Принцип автономності проявляється в необхідності забезпечення безперебійної роботи підземного науково-дослідного комплексу, забезпечення його повної незалежності від зовнішніх джерел енергопостачання та факторів, що здатні мати негативний вплив на його роботу.

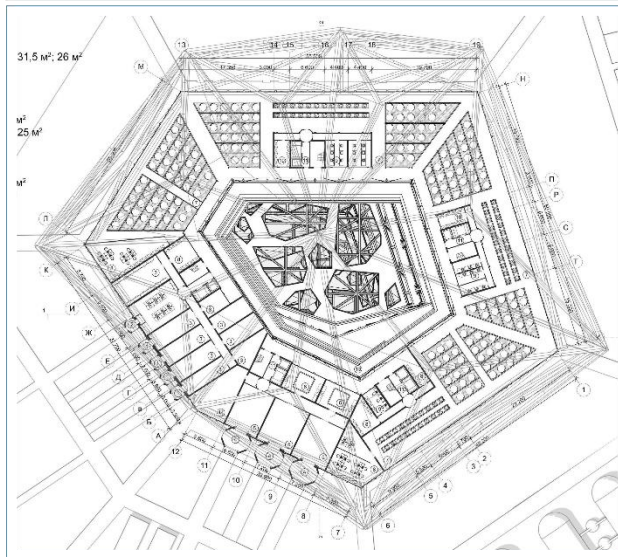
Аспект екологічності перш за все варто розглядати з точки зору сталого розвитку. Сталий розвиток має бути зумовлений збереженням ресурсів для майбутніх



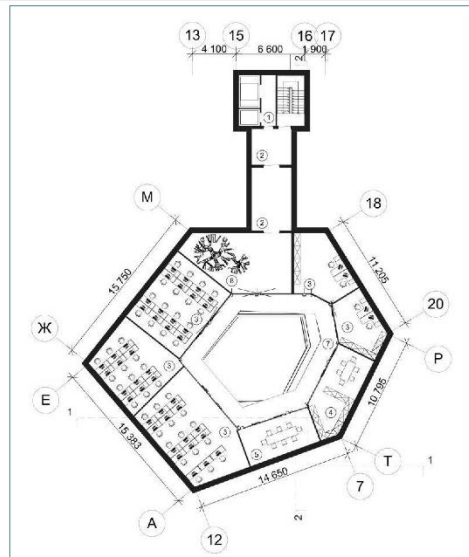
Влаштування альтернативних джерел електроенергії на наземній території комплексу



Влаштування альтернативних джерел електроенергії на наземній території комплексу



1. Модулі EVA для астронавтів
2. Зовнішнє сховище для зразків
3. Скла захисних костюмів та балонів з киснем
4. Модулі EVA для роверів та марсоходів
5. Ангари
6. Приміщення технічного обслуговування
7. Зона гідропоніки
8. ISRU
9. Лабораторні приміщення
10. Склад насіння та добрив
11. Ліфтово-сходовий вузол
12. Атріумний простір
13. Горизонтальні комунікації



1. Сходово-ліфтовий вузол
2. Двокамерний тамбур-шлюз
3. Кімната контролю системи життєзабезпечення
4. Кімната контролю ISRU
5. Конференц-зала
6. Атріумний простір
7. Горизонтальні комунікації
8. Зелена зона

Влаштування альтернативних джерел електроенергії на підземних рівнях комплексу

Рис. 3.11

Впровадження принципу автономності на прикладі підземного багатофункціонального комплексу

покоління, чого можна досягти шляхом збалансування експлуатації надр з їх збереженням. Важливими критеріями сталого розвитку підземного простору є: придатність геологічного простору, вплив підземного середовища на зовнішні екосистеми та взаємодія з підземними структурами [4]. Враховуючи специфіку підземних лабораторій, неможливо говорити про їх стовідсоткову екологічність, однак можна застосувати екологічні підходи до їх проектування та зменшення їх негативного впливу на навколишнє середовище. Серед цих підходів варто виокремити наступні:

- екологічні інфраструктури мають бути багатоцільовими і використовувати змішане землекористування;
- зменшення викидів енергії та парникових газів;
- включення та розвиток зеленої інфраструктури (організація рекреаційної паркової зони на території комплексу);
- забезпечення соціальної та економічної вигоди для навколишніх громад;
- організація заходів з адаптації до кліматичних та природніх змін (рис.3.10).

Застосування принципу екологічності варто розглянути на прикладі підземного дата-центру в Гельсінкі. Підземний дата-центр керується критерієм багатоцільового та змішаного землекористування, що впроваджений у повторно використанні раніше створеного підземного простору. Цей критерій може знайти своє відображення у використанні недіючих шахт або автомобільних тунелів. В Гельсінському підземному дата-центрі морська вода використовується для охолодження, що є поширеною практикою зокрема в охолодженні реакторів на АЕС. За наявності прилеглих водоймищ, водосховищ чи дамб, також можна організувати водопостачання для забезпечення охолоджувальних процесів в підземному просторі. Забезпечення подачі гарячої води в систему централізованого тепlopостачання також здатне принести користь місцевій громаді. Повторне використання охолоджувальної води сприяє адаптації до змін клімату. Основним аспектом у використанні принципу екологічності під час проектування підземного комплексу є збереження наземного ландшафту та мінімізація

змін навколишнього середовища. Архітектурно-просторове середовище має проектуватися виходячи з положень про кліматичні особливості підземного простору:

- приміщення, які потребують постійних температур, розташовані на найнижчому рівні;
- використання приміщень із меншими кліматичними вимогами у якості буферної зони;
- приміщення з найвищими вимогами до обігріву мають бути розташовані безпосередньо під поверхнею;
- приміщення з вимогою прямого денного освітлення розміщуються безпосередньо під поверхнею (рис.3.10).

Серед основних положень, якими має керуватися проєктант, застосовуючи *принцип ергономічної відповідності* (рис.3.11) є перш за все створення легкого та доступного для розуміння плану середовища, що має покращити можливість орієнтації в просторі. Увагу також варто приділити створенню чіткого образу всередині підземного середовища, аби компенсувати відсутність зображення ззовні та безпосереднього зв'язку з поверхнею. За умови проєктування верхніх рівнів, що знаходяться під поверхнею, має бути забезпечений візуальний зв'язок між внутрішнім та зовнішнім простором, доступ природнього світла до середовища за рахунок світло-прозорих конструкцій оболонки, світлових ліхтарів чи технологій

сонячних колекторів, що здатні збирати, фокусувати та передавати сонячну енергію та світло під земну поверхню за допомогою волоконно-оптичних кабелів.

При проєктуванні такого типу підземних споруд, як лабораторії, важливими є засоби візуальної комунікації, що відповідають загальноприйнятим та зрозумілим методам попередження про небезпечні зони, зони підвищеного ризику та безпечні зони. Це можна втілити за допомогою табличок, інформаційних знаків, піктограм та кольорів, визначених загальною класифікаційною системою.

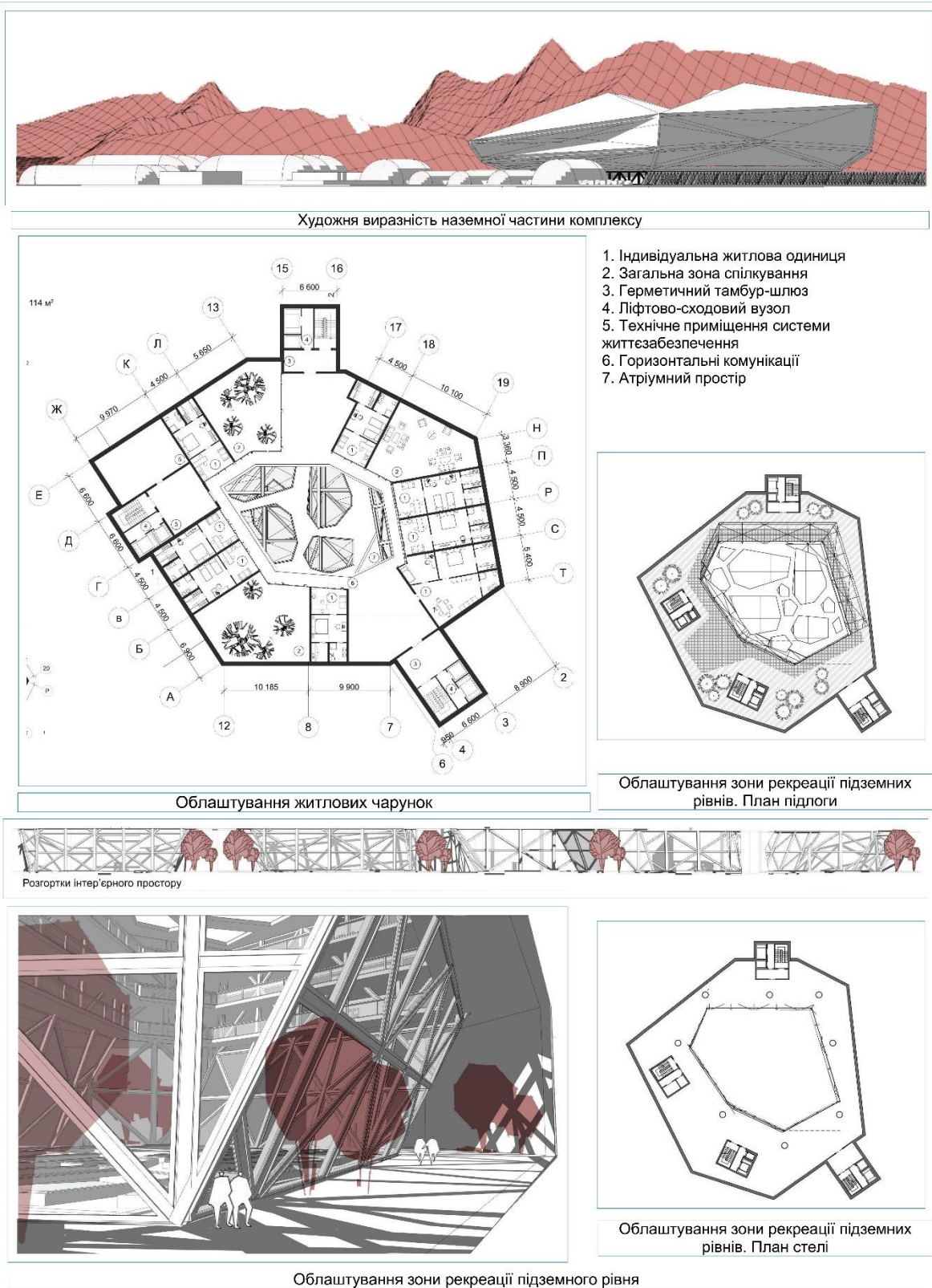


Рис. 3.12

Впровадження принципу ергономічної відповідності на прикладі підземного багатофункціонального комплексу

Керуючись *аспектом безпеки* (рис.3.11) при проектуванні підземного науково-дослідного комплексу, на його наземній території необхідно передбачити укриття для відвідувачів та персоналу. Організація підземного простору має передбачити безперешкодний доступ до аварійних тунелів, евакуаційних виходів та укриття, що будуть ізольовані від основних функціональних та потенційно небезпечних зон та мати вихід на поверхню або ж за межі комплексу. Територія підземного науково-дослідного комплексу, що є режимним об'єктом, має бути забезпечена системою периметральної охорони, котра включає в себе воєнізовану охорону, місця їх базування, склад зброї. Територія комплексу має бути огорожена захисною конструкцією, а допуск до об'єкту має забезпечуватись виключно через контроль-пропускний пункт.

Аспект естетичної виразності (рис.3.11) полягає у створенні образу комплексу з проробленим на всіх рівнях архітектурно-композиційним сприйняттям: комплекс повинен мати чіткі межі, розподілені пішохідні та транспортні шляхи, вузлові точки та орієнтири. Розміри об'єктів комплексу мають бути узгоджені з людським масштабом і між собою – об'єкти повинні створювати цілісну картину сприйняття. Естетичну виразність підземного науково-дослідного комплексу варто розмежувати на дві зони впливу: на поверхні та під земною поверхнею. На поверхні естетична виразність досягається наступними шляхами:

- засобами візуальної комунікації – виділена вхідна група за допомогою архітектурно-композиційних прийомів: колір, архітектурна домінанта тощо;
- мінімізацією зміни наземної території – мінімальні функціональні зв'язки з поверхнею та на поверхні; площа, яку займає споруда або її елементи, має бути значно меншою, ніж її площа під землею; використання існуючих змін у ландшафті (штучних або природніх);
- функціональною організацією – логічне зонування території комплексу, відокремлення науково-дослідної зони від загальнодоступної та житлової і рекреаційно-дозвілєвої;

- задоволення психологічних, фізіологічних та соціальних потреб – організація зон спілкування, усамітнення, розмежування робочих процесів, сприятливі гігієнічні та ергономічні умови. *Психологічний* комфорт досягається задоволенням вищих людських потреб: досягнення високого фізичного комфорту; оптимальне кольоро-фактурне рішення; створення домашнього затишку у житловій індивідуальній зоні; розподілення функціональних зон; різноманітність окремих просторів; можливість персоналізації простору.
- середовище має відповідати ергономічним вимогам – проектування світла світло має проектуватися так, як і на поверхні — віддається перевага природному сонячному світлу, що можливо забезпечити завдяки світло-прозорим конструкціям оболонки, та біле штучне світло, що здатне імітувати спектр сонячного світла; шум — приміщення мають проектуватися з урахуванням акустичних вимог до шумоізоляції або шумопоглинання; гігієна має забезпечуватися на кожному рівні — дезінфекція та влаштування індивідуальної душової kabіни у кожній житловій чарунці; предметно-просторове середовище має відповідати всім ергономічним вимогам.

Під земною поверхнею досягнення естетичної виразності щільно пов'язане з ергономічними вимогами та досягається наступним чином:

- функціональною організацією – чітке функціональне зонування та розмежування зон; відокремлення експериментальної та науково-дослідної зони від зон чистих приміщень та транспортних шляхів;
- оптимальне задоволення базових людських потреб, що включає в себе: оптимальні температуру, тиск, вологість; дотримання ергономічних вимог; високі акустичні показники; очищене повітря; хороші гігієнічні умови;
- безпекою у плануванні для мінімізації ризику виникнення пожежі, витоку небезпечних речовин.

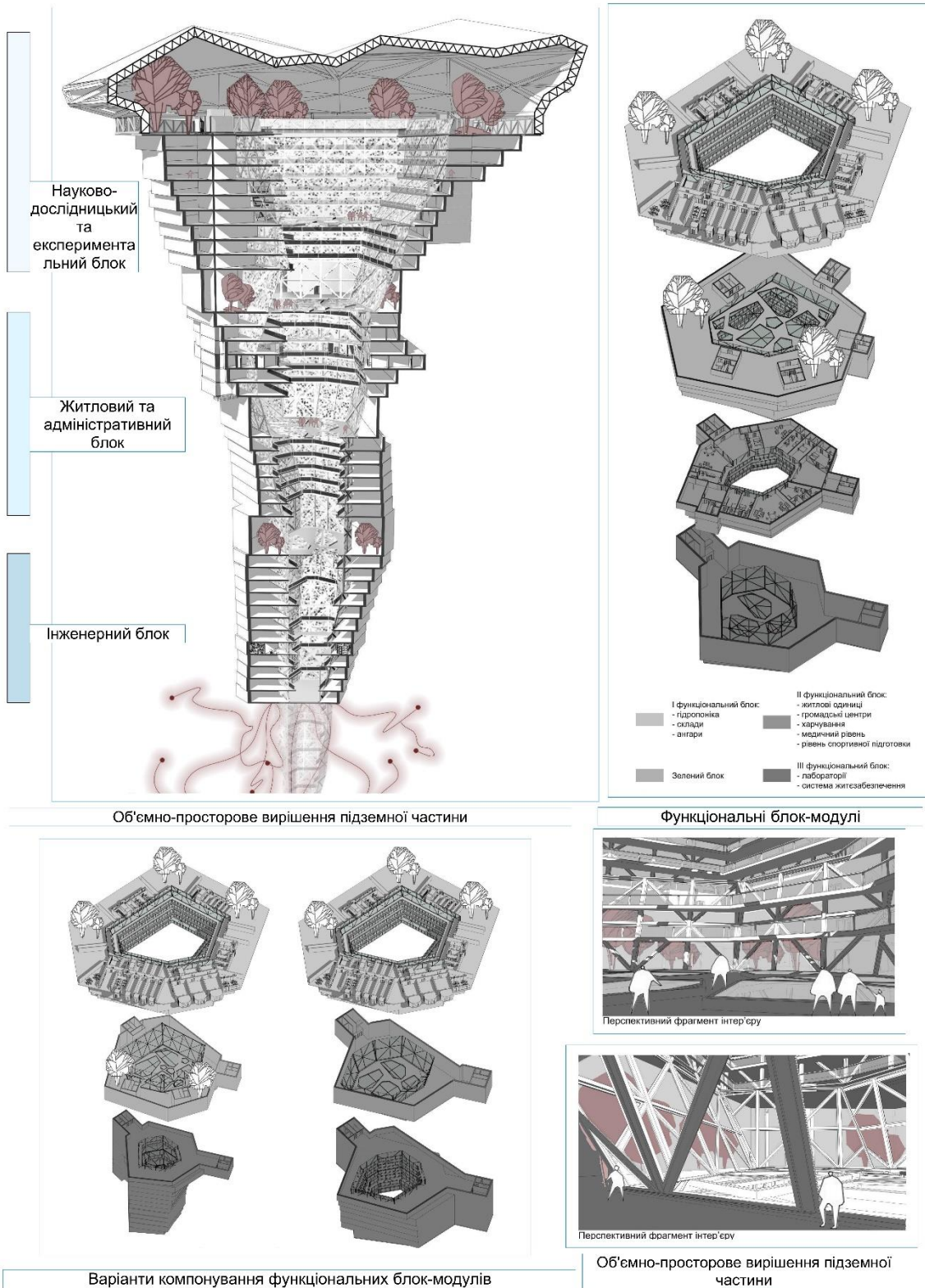


Рис. 3.13

Комплексне впровадження принципів в проектуванні підземного багатофункціонального комплексу

Принцип просторового розвитку полягає в створенні типових блок-модулів, що здатні забезпечити подальший розвиток підземного науково-дослідного комплексу, зміну його конфігурації. Використання типових підземних блок-модулів можливе також і для влаштування підземних споруд іншого функціонального призначення. Експериментальні блок-модулі можуть використовуватись для спорудження підземних промислових споруд, нафтових та газових сховищ. Науково-дослідні модулі можуть бути використані для зведення підземних частин госпіталів та лікарень, лабораторних приміщень науково-дослідницьких інститутів, обчислювальних лабораторій. За умови встановлення додаткових огорожуючих конструкцій, ці модулі можуть використовуватись для спорудження підземних приміщень шкіл та адміністративних будівель. Допоміжні модулі призначені для перебування в них наукового та службового персоналу, ці модулі доцільно використовувати для облаштування укриттів, підземних приміщень, що виконують адміністративну, комунікативну та рекреаційну функції. Горизонтальні комунікації, що також складаються з конструктивних D-подібних модулів та виконані із тубінгів, доцільно застосовувати при облаштуванні підземних транспортних та пішохідних шляхів, автодорожніх та залізничних тунелів.

Дослідження та вивчення принципів архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів є необхідним етапом для проектування такого типу комплексів та їх подальшого функціонування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III

В Розділі III досліджені містобудівні засади формування підземних науково-дослідних комплексів. Визначені основні фактори, що впливають на вибір ділянки розташування комплексу. Серед них: запит ЦЕРН на влаштування підземного науково-дослідного комплексу на території України, рішення НАН України, містобудівні фа-

ктори, інженерно-геологічні, економічні, природо-кліматичні, екологічні, функціонально-планувальні. Спираючись на світовий досвід проектування підземних лабораторій, виявлені основні тенденції містобудівного формування даного типу комплексів.

На основі проведеного дослідження сформульовано низку основних рекомендацій щодо функціональної організації генерального плану наземної території підземних науково-дослідних комплексів. Визначений повний набір функціональних зон наземної території: вхідна зона, науково-дослідна, навчально-просвітницька, інженерна, адміністративна, господарсько-побутова, житлова, службова, медична, рекреаційна, безпекова, зона паркінгу та транспортних шляхів. Подана детальна характеристика кожної функціональної зони.

Спираючись на отримані результати під час аналізу світових аналогів проектування, визначення основних факторів впливу та формування класифікації підземних науково-дослідних комплексів, виявлені їх основні типи: підземні лабораторії фізики та ядерної фізики, підземні лабораторії астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарні підземні лабораторії. В ході детального вивчення особливостей, що характерні для кожного типу закладів, визначені основні функціональні зони підземних частин даних комплексів, наведені характерні розміри певних експериментальних установок, а також основних експериментальних залів, що притаманні кожному типу комплексу. Виявлені основні функціональні зв'язки в межах підземної частини та зв'язки між підземною та наземною частинами. Виявлений взаємозв'язок між типом підземного науково-дослідного комплексу та розвитком його наземної частини. Наведені особливості архітектурно-планувальної організації кожного типу підземного комплексу на основі сформованої класифікації та типології.

За результатами проведених досліджень визначені основні принципи, котрими доцільно керуватися при проектуванні підземного науково-дослідного комплексу: принцип наукової відповідності, принцип екологічності, принцип ергономічної відпо-

відності. Приведений детальний опис роботи кожного принципу архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, виявлені взаємозв'язки між принципами проектування досліджуваного типу закладів.

На основі проведеного дослідження, сформованих рекомендацій до організації генерального плану території, визначених типів підземних науково-дослідних комплексів було виконане експериментальне проектування в процесі котрого були дотримані основні принципи, виведені в результаті дослідження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході проведенного наукового дослідження встановлено, що тема архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, наразі є актуальною та перспективною для подальшого розвитку науково-дослідницької галузі, зокрема галузі ядерної фізики, а також геології та біології. Актуальність обраної теми дослідження пов'язана також з військовою та оборонною промисловостями України, оскільки підземний науково-дослідний комплекс здатен сприяти відновленню ядерного потенціалу України. Стан проблеми наразі потребує подальшого дослідження, зокрема питання формулювання класифікаційної структури, визначення типологічних особливостей та принципів архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів, створення рекомендацій щодо проектування даного типу підземних комплексів на території України.

Проаналізовано зарубіжний та вітчизняний історичний розвиток освоєння підземного середовища та виокремлено шість характерних періодів його освоєння: зародження, формування, розвиток, становлення, розквіт, період міленіуму. Наведені основні особливості кожного періоду та представлені характерні будівлі та споруди, в яких втілені дані особливості. В ході дослідження історичного освоєння підземного простору виокремлено період ХХ століття, що дав початок проведенню експериментальних досліджень, що почали виходити за межі Стандартної Моделі фізики та потребувати особливих умов «надтихого» та «надчистого» середовища, позбавленого впливу радіаційного випромінювання, космічного випромінювання, шумових та вібраційних впливів. Таке середовище здатне забезпечити лише підземна споруда. Спираючись на аналіз історичного розвитку світового та вітчизняного досвіду освоєння підземного простору, було виявлено значні відмінності між закордонним та українським досвідом до періоду розквіту. Починаючи з ХХ століття закордонний та вітчизняний досвід освоєння підземного простору мають значно більше спільних рис, однак

розвиток підземної урбаністики в Україні потребує подальшого вивчення та комплексного розвитку.

В ході історичного аналізу процесу освоєння підземного простору визначено, що поява підземних науково-дослідних комплексів характерна для етапу розквіту, тобто в другій половині ХХ століття. Проаналізовано сучасні підземні науково-дослідні комплекси, що мають узагальнюючу назву – глибокопідземні лабораторії, більшість з котрих розташовані в країнах Європи. На основі проведеного графічного аналізу та контент-аналізу, виявлені основні тенденції містобудівної, об'ємно-просторової, функціональної та архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів. Виявлено, що характерною рисою усіх комплексів даного типу є чітке та раціональне функціональне зонування, продиктоване вимогами до проведення експериментальних досліджень. Основною тенденцією містобудівної організації є розташування підземних комплексів за межами населеного пункту в шахті або гірському масиві. Тенденцією об'ємно-просторової організації є влаштування блокованої структури підземної частини комплексу та павільйонної на наземній території. Наразі тенденції архітектурно-планувальної організації підземної частини комплексів характеризується однорівневим горизонтальним розвитком, однак, на думку авторки дослідження, найбільш перспективною є багаторівнева структура підземної частини з вертикальним функціональним зонуванням та влаштуванням комплексу в існуючих підземних спорудах біля підніжжя гір.

В ході аналізу світового досвіду проектування, а також вивчення літературних джерел зарубіжних та вітчизняних науковців, доведено, що практика проектування підземних науково-дослідних комплексів на теренах України наразі не є поширеною. Єдиний підземний науково-дослідний комплекс, що наразі є не діючим через підтоплення, не здатен задовольнити потреби сучасної науки. Отже, обрана тема дослідження вимагає подальшого розвитку та вдосконалення.

В загальній методиці дослідження запропоновано використання комплексного підходу, що дозволяє розглядати підземний науково-дослідний комплекс як систему взаємопов'язаних ланок, що впливають одна на одну. Окреслені основні методи, що застосовуються протягом усього дослідження та отримані в ході цього результати. В дослідженні використані емпіричні та теоретичні методи, а також спеціалізовані архітектурні, зокрема метод функціонального моделювання та концептуального проектування, задля поглиблення розуміння функціональних взаємозв'язків в комплексі. За допомогою методу комплексної оцінки території, було проаналізовано схему організації наземної території підземної лабораторії Гран-Сассо в Італії. За допомогою методу спостереження та натурного обстеження було досліджено віртуальний тур лабораторіями SNOlab та Гран-Сассо, що дозволило виявити основні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів.

За допомогою методу оцінки впливу факторів на організацію підземного науково-дослідного комплексу, виявлені основні чинники, що мають вплив на містобудівну, об'ємно-просторову та архітектурно-планувальну структуру даних комплексів. До їх переліку увійшли наступні: інженерно-геологічні, технологічні, природо-кліматичні, містобудівні, конструктивні, економічні, законодавчі, екологічні, архітектурно-планувальні. Виявлені тісні взаємозв'язки між зазначеними групами чинників та закономірності їх впливу один на одний, що входить в загальну концепцію застосування системного підходу. За допомогою методу оцінки факторів впливу були визначені фактори, що мають найбільший вплив на вибір ділянки проектування та експлуатацію підземного науково-дослідного комплексу, подані в числових значеннях на базі адаптованого авторкою методу оцінки впливу факторів, що використовується в економічній галузі.

Спираючись на проведені дослідження та вивчені фактори впливу, розроблено класифікаційну систему підземних науково-дослідних комплексів, згідно з якою визна-

чені наступні критерії поділу: цільове призначення, інженерно-геологічні характеристики, технічні характеристики, архітектурно-планувальні характеристики, групи ризиків. За цільовим призначенням підземні комплекси поділено на три категорії: фізики та ядерної фізики, астрофізики та космічного випромінювання, мультидисциплінарні. Група інженерно-геологічних характеристик складається з наступних параметрів класифікації: за просторовим плануванням – в шахті, в гірському масиві; за типом доступу – горизонтальний, вертикальний, похилий. За технічними характеристиками підземні науково-дослідні комплекси класифіковано: за кількістю експериментальних залів – однозальні, двозальні, багатозальні; за глибиною – мілкового закладання (400-700 м); глибокого закладання (1000-2000 м); надглибокого закладання (понад 2000 м); за об'ємом – малі (від 3000 м³ до 10 000 м³); середні – (від 10 000 м³ до 50 000 м³); великі (від 50 000 м³ до 150 000 м³); надвеликі (від 150 000 м³ до 300 000 м³). За архітектурно-планувальними характеристиками запропонований класифікаційний поділ: за композиційно-просторовою схемою – на поверхні (блоковані, компактні, павільйонні); під поверхнею (компактні, блоковані); за кількістю рівнів – однорівневі; багаторівневі. Та за факторами ризику надана наступна класифікація: екологічні ризики, робочі ризики, гірничо-пошукові ризики, соціально-економічні ризики.

Визначені основні функціональні групи приміщень комплексу (експериментальна, науково-дослідна, навчально-просвітницька, науково-туристична, профілактично-безпекова, житлова, медична). Запропонований вертикальний розподіл функціональних зон для підземної (вхідна, експериментальна, науково-дослідна, технічна, санітарно-гігієнічна, службова, інженерна, транспортна, рекреаційна, медична) та наземної (вхідна група, адміністративно-побутова, науково-дослідна, навчально-просвітницька, харчова, житлова, службова, технічна, медична, рекреаційно-дозвіллева) частин. Виявлені основні функціональні взаємозв'язки між функціональними зонами в межах підземної частини та між підземною і наземною частинами комплексу. Сформульовані рекомендації щодо номенклатури приміщень і їх параметрів.

Теоретичні дані, що були отримані в ході дослідження, знайшли своє відображення в експериментальному проектуванні. Були розроблені основні блок-модулі, з яких доцільно формувати об'ємно-просторове та архітектурно-планувальне рішення підземного науково-дослідного комплексу. Розроблені експериментальні, науково-дослідні, допоміжні та транспортні модулі, які можливо поєднати в цілісну структуру шляхом комбінації даних модулів. Також, передбачена адаптація цих модулів під інші функціональні потреби.

Визначені основні чинники, що впливають на містобудівну організацію середовища підземних науково-дослідних комплексів: рішення НАН України, містобудівні фактори, інженерно-геологічні, економічні, природо-кліматичні, екологічні, функціонально-планувальні. Виявлені містобудівні засади формування території підземних науково-дослідних комплексів: розміщення за межею населених пунктів, наявність гірничодобувних шахт або горизонтальних транспортних тунелів, наявність гірського масиву, можливість забезпечення подальшого розвитку наземної та підземної територій комплексу. На основі визначених містобудівних засад, були сформульовані рекомендації щодо містобудівної організації комплексу. Визначений повний склад функціональних зон генерального плану, їх особливості, функціональні зв'язки та сформульовані рекомендації щодо функціональної організації території комплексу з повним складом даних зон та наведені їх характеристики.

Враховуючи рекомендації щодо проектування наземної території підземного науково-дослідного комплексу, авторкою були розроблені архітектурно-планувальні моделі генеральних планів двох типів, що передбачають подальше розширення наземної території комплексу до можливого формування окремого містобудівного об'єкта з розвитком підземної частини.

Спираючись на аналіз світового досвіду проектування підземних науково-дослідних комплексів, визначені фактори, що впливають на їх організацію, а також за результатами розробленої класифікаційної системи визначено основні типи підземних комплексів.

Запропоновано наступний типологічний поділ підземних науково-дослідних комплексів: підземні лабораторії фізики та ядерної фізики – є найбільш поширеним типом, зосереджують в собі всі різновиди діяльності – від експериментальної та науково-дослідної до навчально-просвітницької та туристичної. Даний вид формується за межами населених пунктів на глибині від 1400 м до понад 2000 м, біля підніжжя гір або безпосередньо в гірському масиві. Для цього типу характерний горизонтальний розвиток підземної частини на одній відмітці глибини; блокована архітектурно-планувальна структура підземної частини та павільйонна структура наземної. Тип доступу до підземного комплексу фізики та ядерної фізики може бути організований як вертикальний, так і горизонтальний або похилий. Здебільшого, це визначається наявністю вже існуючих штолень чи тунелів, а також закладеними витратами.

Підземні лабораторії астрофізики та космічного випромінювання спеціалізуються на дослідженнях нейтрино, темної матерії, антиматерії, гравітаційних хвиль та космічного випромінювання. Цей тип характеризується розміщенням в гірському масиві, має компакту підземну структуру та блоковану наземну структуру. Для цього типу характерна мінімальна кількість експериментальних залів (1-2), що обумовлене технологічними властивостями експериментальних установок. Розвиток наземної території здебільшого посередній.

Третій тип підземних науково-дослідних комплексів, мультидисциплінарний, спеціалізується на дослідженнях в галузях фізики, астрофізики, геофізики, геології та біології. Для цього типу найбільш характерним є багаторівневий вертикальний розвиток, кожен з рівнів забезпечений окремим вертикальним доступом до поверхні, також забезпечена евакуація з кожного рівня на поверхню. Окремі рівні відведені кожен під

певну наукову галузь. Даний тип підземного комплексу наразі є найбільш перспективним для розвитку в Україні, оскільки здатен охопити не лише наукові галузі, а й військову та оборонну промисловість.

За допомогою експериментального проектування з основних блок-модулів, розроблених авторкою, були сформовані архітектурно-планувальні та об'ємні схеми кожного з трьох типів підземного науково-дослідного комплексу. Подані експлікації приміщень підземної споруди, функціональне зонування та представлені основні вертикальні зв'язки з наземною територією. Детально розглянутий тип мультидисциплінарного підземного науково-дослідного комплексу, подана експлікація приміщень на трьох базових підземних рівнях, представлена експлікація наземної частини комплексу, вертикальний взаємозв'язок між поверхнею та підземною спорудою.

Спираючись на проведені дослідження та авторські нароби експериментального проектування, запропоновані принципи архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів:

- принцип наукової відповідності – наукова специфіка та особливості досліджень, що проводяться, мають знаходити своє втілення в усіх компонентах проекту (територіальне зонування), функціонально-планувальна організація, об'ємно-просторова організація;
- принцип автономності – забезпечення автономного функціонування об'єкта, що передбачає його віднесення до I категорії споживання електроенергії, забезпечення альтернативними видами електроживлення – генераторами, влаштування свердловини та котельної на території, облаштування холодильного заводу, чіллерів, системи каналізації, водопостачання та водовідведення;

- принцип ергономічної відповідності – облаштування максимально безпечного середовища праці, шляхом облаштування евакуаційних шляхів, герметичних шлюзів, укриттів та сховищ; врахування робочих та інженерно-геологічних ризиків під час експлуатації об'єкту;
- принцип просторового розвитку обумовлений створенням чотирьох основних блок-модулів (експериментальний, науково-дослідний, допоміжний, транспортний), які при своєму поєднанні утворюють архітектурно-планувальну структуру підземного науково-дослідного комплексу. За потреби розроблені в ході дослідження модулі можуть бути адаптовані під різноманітні функціональні потреби.

Результати проведеного дисертаційного дослідження мають змогу стати основою для формування рекомендацій щодо створення нових норм проектування підземних лабораторних, науково-дослідних, військових та оборонних комплексів. Подальші дослідження на основі даної дисертаційної роботи можливо використати для дослідження підземних споруд різного функціонального призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A system approach to developing the underground space of metropolises under conditions of uncertainty and multifactor risks / N. D. Pankratova et al. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2018. No. 10. P. 18–25. URL: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.10.018>
2. About CERN [Електронний ресурс] Режим доступу - <https://www.home.cern/about> (дата звернення 3.12.2023)
3. About the Laboratory [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.supl.org.au/>
4. ACUUS at a Glance [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.acuus.org/about_us/
5. Admiraal, H., ed. Think deep: planning, development and use of underground spaces in cities. ISOCARP, 2015. 59 p.
6. Admiraal H., Cornaro A. Underground Spaces Unveiled: Planning and Creating the Cities of the Future. I C E Publishing, 2018. 232 p.
7. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. "Future cities, resilient cities–The role of underground space in achieving urban resilience." *Underground Space* 5.3 (2020): 223-228.
8. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. "Why underground space should be included in urban planning policy–And how this will enhance an urban underground future." *Tunnelling and Underground Space Technology* 55 (2016): 214-220.
9. Bertou X. The ANDES Deep Underground Laboratory. *Science Reviews* - from the end of the world. 2020. Vol. 1, no. 4. P. 66–73. URL: <https://doi.org/10.52712/sciencereviews.v1i4.24>

10. Besner J. Cities Think Underground – Underground Space (also) for People. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 209. P. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.129>
11. Bettini A. Highlights from Gran Sasso. *Proceedings of the International School of Subnuclear Physics, Erice, Sicily, Italy*. 2003. URL: https://doi.org/10.1142/9789812796653_0010
12. Bettini A. The world deep underground laboratories. *The European Physical Journal Plus*. 2012. Vol. 127, no. 9. URL: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2012-12114-y>
13. Bettini A. Underground laboratories. *Journal of Physics: Conference Series*. 2008. Vol. 120, no. 8. P. 082001. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/120/8/082001>
14. Bettini A. New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas. *Physics of the Dark Universe*. 2014. Vol. 4. P. 36–40. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006>
15. Bettini, Alessandro. "The world underground scientific facilities. A compendium." arXiv preprint arXiv:0712.1051 (2007).
16. Boulby Underground Laboratory [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.icl-uk.uk/undergroundlab/>
17. Broere W. Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 55. P. 245–248. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.012>
18. Brown H. *Next Generation Infrastructure: Principles for Post-Industrial Public Works*. Washington, DC : Island Press/Center for Resource Economics, 2014. 250 p.
19. Bulakh I., Merylova I. Sustainable Hospital Architecture - Potential of Underground Spaces. *Civil Engineering and Architecture*. 2020. Vol. 8, no. 5. P. 1127–1135. URL: <https://doi.org/10.13189/cea.2020.080539>

20. Bulakh I. The Architecture of Medical and Health Research Buildings and Complexes as The Basis of Sustainable Development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1275, no. 1. P. 012042. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1275/1/012042>
21. Carmody J. C., Sterling R. L. Design strategies to alleviate negative psychological and physiological effects in underground space. Tunnelling and Underground Space Technology. 1987. Vol. 2, no. 1. P. 59–67. URL: [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(87\)90143-x](https://doi.org/10.1016/0886-7798(87)90143-x)
22. Carmody J., Sterling R. L. Underground Space Design: Part 1: Overview of Subsurface Space Utilization Part 2: Design for People in Underground Facilities. Wiley, 1993. 328 p.
23. Carmona, M. (2021). Public Places Urban Spaces: The Dimensions of Urban Design (3rd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315158457>
24. Centre for Underground Physics in Pyhäsalmi [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.cupp.fi/tutkimus>
25. Charron A., Fergusson J. NORAD Modernization: Past, Present and Future. *Canadian Defence Policy in Theory and Practice, Volume 2*. Cham, 2023. P. 75–95. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37542-2_5
26. Cheng, Jianping; Wu, Shiyong; Yue, Qian; Shen, Manbin (2011). "Guoji Dixia Shiyanshi Fazhan Zongshu" 国际地下实验室发展综述 [A review of international underground laboratory developments] (PDF). 物理; Wuli; 'Physics' (in Chinese). 40 (3): 149–154.
27. 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

28. Civitarese O. The ANDES Underground Laboratory Project. *Nuclear and Particle Physics Proceedings*. 2015. Vol. 267-269. P. 377–381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.133>
29. CJPL Overview [Электронный ресурс] Режим доступа: https://cjpl.tsinghua.edu.cn/column/About_Overview
30. Coccia, E. "Underground laboratories in Europe." *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2006. Vol. 39. No. 1. DOI: [10.1088/1742-6596/39/1/134](https://doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134)
31. Cooperation agreement promotes sustainable use of underground urban space [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://unhabitat.org/cooperation-agreement-promotes-sustainable-use-of-underground-urban-space>
32. Debrock S., Van Acker M., Admiraal H. Design recommendations for sustainable urban underground spaces. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2023. Vol. 140. P. 105332. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105332>
33. Dib C. O. ANDES: An Underground Laboratory in South America. *Physics Procedia*. 2015. Vol. 61. P. 534–541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.12.118>
34. Gehl, Jan. *Cities for people*. Island press, 2013, 288 p.
35. Gohar, Y, Bolshinsky, I, Nekludov, I, Karnaukhov, I, INL), and Kharkov Institute of Physics and Technology). Ukraine experimental neutron source facility.. United States: N. p., 2008. Web.
36. Going deep for science [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://sanfordlab.org/feature/going-deep-science>
37. Google Maps [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.google.it/maps/@42.4527666,13.5735482,2a,75y,195.41h,99.71t/data=!3m6!1e1!3m4!1sgoFKiyrwwLBaVtMQIStnEQ!2e0!7i13312!8i6656?hl=en&entry=ttu>
38. Haiko H. I., Savchenko I. O., Matviichuk I. O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space. *Naukovyi Visnyk*

- Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2019. No. 3.
URL: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/14>
- 39.Hall J. The SNOLAB underground laboratory. *Journal of Physics: Conference Series.* 2020. Vol. 1468. P. 012252. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1468/1/012252>
- 40.Heise J. The Sanford Underground Research Facility at Homestake. *Journal of Physics: Conference Series.* 2015. Vol. 606. P. 012015. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/606/1/012015>
- 41.Hemeda S. Seismic Response Analysis and Protection of Underground Monumental Structures – The Catacombs of Kom EL-Shoqafa, Alexandria, Egypt. *Advances in Geotechnical Earthquake Engineering - Soil Liquefaction and Seismic Safety of Dams and Monuments.* 2012. URL: <https://doi.org/10.5772/28253>
- 42.Howes M. H. Methods and costs of constructing the underground facility of North American Air Defense Command at Cheyenne Mountain, El Paso County, Colo. [Washington] : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1966. 69 p.,
- 43.Ianni, A. "Considerations on Underground Laboratories." *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing, 2020. Vol. 1342. No. 1. DOI: [10.1088/1742-6596/1342/1/012003](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1342/1/012003)
- 44.India-based Neutrino Observatory [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.ino.tifr.res.in/ino/index.php>
- 45.INO/2005/01: An Interim Report of the INO Feasibility Study (May 1, 2005)
- 46.PERROT, J. "The Excavations at Tell Abu Matar, near Beersheba." *Israel Exploration Journal,* vol. 5, no. 3, 1955, pp. 167–89. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/27924619>
- 47.Jones, David G.C.. "Large Hadron Collider". *Encyclopedia Britannica,* 29 Nov. 2023, <https://www.britannica.com/technology/Large-Hadron-Collider> Accessed 9 December 2023.

48. Kaliampakos D. Underground Development: A Springboard to Make City life Better in the 21st Century. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 205–213. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.792>
49. K. J. Kang et al. Status and prospects of a deep underground laboratory in China / *Journal of Physics: Conference Series*. 2010. Vol. 203. P. 012028. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/203/1/012028>
50. Labs K. B. The architectural use of underground space: Issues & applications. [Mechanicsville, Pa.] : Undercurrent, 1979. 149 p.
51. Khodabakhshian M. Comparative Study on Cliff Dwelling Earth-shelter Architecture in Iran. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 649–657. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.762>
52. Kim, Yeongduk. "The Underground Laboratory in South Korea: facilities and experiments." APS April Meeting Abstracts. Vol. 2017. 2017.
53. Kozicka, J. (2008). Architectural Problems of a Martian Base Design as a Habitat in Extreme Condition (Doctoral dissertation, Dissertation, Department of Technical Aspects of Architectctural Design, Gdnask University of Technology, Gdansk, Poland).
54. Kril, Tetiana V. "ГЛИБИННО-ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ." Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України 12 (2019): 95-104.с.97
55. Lab History: Why Underground? [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.soudan.umn.edu/background/index_2.shtml
56. Lesko K. T. The Sanford Underground Research Facility at Homestake. *The European Physical Journal Plus*. 2012. Vol. 127, no. 9. URL: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2012-12107-x>

- 57.Li, XiaoZhao, et al. "Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space." *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 55. P. 59–66. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.02.003>
- 58.Lin S. T., Yue Q. Underground laboratories in Asia. *LOW RADIOACTIVITY TECHNIQUES 2015 (LRT 2015): Proceedings of the 5th International Workshop in Low Radioactivity Techniques*, Seattle, WA, USA. 2015. URL: <https://doi.org/10.1063/1.4927979>
- 59.Liu, Jifeng, et al. "History, advancements, and perspective of biological research in deep-underground laboratories: a brief review." *Environment international* 120 (2018): 207-214. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.031>
- 60.Mondal N. K. India-Based Neutrino Observatory (INO). *The European Physical Journal Plus*. 2012. Vol. 127, no. 9. URL: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2012-12106-y>
- 61.MORALES J. et al. THE CANFRANC UNDERGROUND LABORATORY. PRESENT AND FUTURE / *Proceedings of the Fifth International Workshop*, Edinburgh, UK. 2005. URL: https://doi.org/10.1142/9789812701848_0067
- 62.North American Aerospace Defense Command [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.norad.mil/About-NORAD/Cheyenne-Mountain-Air-Force-Station/>
- 63.Oerter R. *The Theory of Almost Everything: The Standard Model, the Unsung Triumph of Modern Physics*. Plume, 2006. 336 p.
- 64.Olson K. R., Morton L. W. Why Were the Soil Tunnels of Cu Chi and Iron Triangle in Vietnam So Resilient?. *Open Journal of Soil Science*. 2017. Vol. 07, no. 02. P. 34–51. URL: <https://doi.org/10.4236/ojss.2017.72003>
- 65.Pankratova, Nataliya, et al. "System approach to planning urban underground development." *J. Information Content and Processing*, Volume 6, Number 1, 2019: 3-17. URL: <http://www.foibg.com/ijicp/vol06/ijicp06-01-p01.pdf>

66. Paraskevopoulou, C., et al. "Underground space and urban sustainability: an integrated approach to the city of the future." *Proceedings of the Changing Cities IV Spatial Design, Landscape and Socioeconomic Dimensions*, Crete, Greece (2019): 24-29 URL: https://www.researchgate.net/publication/339337155_Underground_space_and_urban_sustainability_an_integrated_approach_to_the_city_of_the_future
67. Park K. The new underground facility in Korea, Yemilab. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2156, no. 1. P. 012171. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2156/1/012171>
68. Peltoniemi, Juha. "Future Underground Laboratory in Finland." *Dark Matter in Astro- and Particle Physics: Proceedings of the International Conference DARK 2002*, Cape Town, South Africa, 4–9 February 2002. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2002. URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-55739-2_54
69. Peng F-L. et al. A collaborative approach for urban underground space development toward sustainable development goals: Critical dimensions and future directions. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 2021. Vol. 15, no. 1. P. 20–45. URL: <https://doi.org/10.1007/s11709-021-0716-x>
70. Photos: Inside Cheyenne Mountain, America's Fortress [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.cnet.com/pictures/photos-inside-cheyenne-mountain-americas-fortress/>
71. Piquemal F. Modane underground laboratory: Status and project. *The European Physical Journal Plus*. 2012. Vol. 127, no. 9. URL: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2012-12110-3>
72. Praslova V., Riabets Y. Modern Trends of Organization of the Underground Urban Space. *Architecture, Civil Engineering, Environment*. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 45–51. URL: <https://doi.org/10.2478/acee-2023-0014>

- 73.W. Pytel et al. Universal approach for risk identification and evaluation in underground facilities / *Mining Science*. 2020. Vol. 27. URL: <https://doi.org/10.37190/msc202712>
- 74.Qiao, Yong-Kang, et al. Rethinking underground land value and pricing: A sustainability perspective. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. Vol. 127. P. 104573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104573>
- 75.Rappel, Joel (1980). *History of the Land - Israel, Volume I*, edited by Joel Rappel. Israel: The Israeli Ministry of Defense. pp. 47–60
- 76.Reynolds, E., Reynolds, P. "Planning for underground spaces “NY-LON” underground." *Think Deep: Planning, Development and Use of Underground Space in Cities*; Admiraal, H., Shipra, N.S. ISOCARP, 2015. 34-54 p.
- 77.Reynolds E. *Underground Urbanism*. Routledge, 2019. URL: <https://doi.org/10.4324/9781315523330>
- 78.Rhizome Tower. A thousand underground plateaus [Электронный ресурс] / Tinti F., Mariani D., Tognoni E. // Archilovers corporate website. - 2011. - Режим доступа: <https://www.archilovers.com/projects/128110/rhizome-tower.html#info> – Назва з екрана
- 79.Ryndiuk S., Maksymenko M. DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE AS A SOLUTION TO THE PROBLEMS URBANIZATION OF CITIES. *Modern technology, materials and design in construction*. 2021. Vol. 29, no. 2. P. 101–107. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107>
- 80.V. Kukela THE STRUCTURE OF THE STEP PYRAMID OF DJOSER IN EGYPT AS A CONCEPT OF PRIMORDIAL HILL. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017*. 2017. URL: <https://doi.org/10.5593/sgem2017/23/s11.095>

81. Shang Q. Underground Space: A View for the Conservation of Beijing Old City. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 265–276. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.799>
82. Smith N. J. T. The Development of Deep Underground Science Facilities. *Nuclear Physics B - Proceedings Supplements*. 2012. Vol. 229-232. P. 333–341. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2012.09.052>
83. Smith N. J. T. The SNOLAB deep underground facility. *The European Physical Journal Plus*. 2012. Vol. 127, no. 9. URL: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2012-12108-9>
84. SNOLAB | World-class underground science facility [Электронный ресурс] // SNOLAB website. – Режим доступа: <https://www.snolab.ca/facility/underground-facilities/>
85. SNOLab virtual tour [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.snolab.ca/wp-static/vr-tour/index.html>
86. Solotvina Underground Laboratory [Электронный ресурс] Режим доступа: http://lpd.kinr.kiev.ua/LPD_SUL.htm
87. Sterling, Raymond, and Priscilla Nelson. "City resiliency and underground space use." *Advances in Underground Space Development* (2013): 43-55.
88. Sustainability issues for underground space in urban areas / R. Sterling et al. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning*. 2012. Vol. 165, no. 4. P. 241–254. URL: <https://doi.org/10.1680/udap.10.00020>
89. 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)
90. Suzuki, Y., and K. Inoue. "Kamioka underground observatories." *The European Physical Journal Plus* 127 (2012): 1-8.

91. THE HADES UNDERGROUND RESEARCH LABORATORY [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.euridice.be/en/content/hades-underground-research-laboratory>
92. The history of CERN [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://timeline.web.cern.ch/taxonomy/term/89>
93. Ukraine [Электронный ресурс] Режим доступа: - <https://unhabitat.org/Ukraine>
94. Ukraine becomes an associate member of CERN [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://home.cern/news/news/cern/ukraine-becomes-associate-member-cern>
95. Ukraine to become Associate Member State of CERN [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://home.cern/news/press-release/cern/ukraine-become-associate-member-state-cern>
96. Undergroud Architecture, Arij AlKhayat, Scientific College of Design, Airports Heights, Muscat 00968, Sultanate of Oman
97. Underground Engineering for Sustainable Urban Development/ P.H. Gilbert and others. – Washington: The National Academies Press, 2013. – 230 p
98. Underground Metropolis [Электронный ресурс] // Evolo website. – 2011. – Режим доступа: <https://www.evolo.us/underground-metropolis/>.
99. Underground Science City [Электронный ресурс] // Amberg Engineering website. – 2016. - Режим доступа: <https://ambergengineering.com/references/projects/underground-science-city/>
100. Underground Science City [Электронный ресурс] // Surbana Jurong website. – 2016. - Режим доступа: <https://surbanajurong.com/sector/underground-science-city/>
101. UN-HABITAT and ACUUS [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.acuus.org/un-habitat/>
102. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2014. Vol. 6, no. 5. P. 387–398. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.05.005>

- 103.von der Tann, Loretta, et al. "From urban underground space (UUS) to sustainable underground urbanism (SUU): Shifting the focus in urban underground scholarship." *Land Use Policy* 109 (2021): 105650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105650>
- 104.von der Tann, Loretta et al. Systems approaches to urban underground space planning and management – A review. *Underground Space*. 2020. Vol. 5, no. 2. P. 144–166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003>
- 105.Votano, Lucia. "Underground Laboratories." *PATRAS 2010* (2010): 176-179.
- 106.X. Wang et al. Factors influencing the development potential of urban underground space: Structural equation model approach / *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2013. Vol. 38. P. 235–243. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.06.005>
- 107.Wendt R. L. Earth-sheltered housing, an evaluation of energy-conservation potential. Oak Riddle, Tenn : Oak Ridge National Laboratory, 1982. 52 p.
- 108.Wright, Aimee. *Underground Architecture: Connections Between Ground-Level Public Space and Below-Ground Buildings*. Diss. Open Access Te Herenga Waka-Victoria University of Wellington, 2012.
- 109.Yangyang pumped storage power plant [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cupweb.ibs.re.kr/en/facilities-and-equipment/underground-labs/y21/>
- 110.Yamaç, Ali, and Ezgi Tok. "Surveying some of the touristic underground cities of Cappadocia (Turkey)." *HYPOGEA 2015-PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY IN ARTIFICIAL CAVITIES*. 2015.
111. Zaini, Farah, K. Hussin, and M. M. Raid. "Legal considerations for urban underground space development in Malaysia." *Underground Space* 2.4 (2017): 234-245 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.11.001>
112. Zaini F., Suratman R., Che Kassim A. THE VERTICAL LAND USE ZONING FOR UNDERGROUND SPACE DEVELOPMENT IN MALAYSIA. *PLANNING MALAYSIA*. 2021. Vol. 19. URL: <https://doi.org/10.21837/pm.v19i18.1031>

113. R. Zargarian et al. A new sustainability framework for urban underground space / *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*. 2018. Vol. 171, no. 5. P. 238–253. URL: <https://doi.org/10.1680/jensu.15.00013>
114. Антоненко, Ігор Володимирович. "ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НАЗЕМНИХ І ПІДЗЕМНИХ ТОРГОВО-РОЗВАЖАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ УКРАЇНИ." The 6th International scientific and practical conference "Modern directions of scientific research development" (November 24-26, 2021) BoScience Publisher, Chicago, USA. 2021. 1153 p.. 2021.
115. Апатенко, Т.М. та Шередько, А.О. (2017) *Еволюція розвитку підземної урбаністики*. In: МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ СТАЛІЙ РОЗВИТОК МІСТ (МІСТОБУДІВНИЙ АСПЕКТ), листопад 2017 р., Харків. URL: https://eprints.kname.edu.ua/47230/1/ilovepdf_com-13-15.pdf
116. Бордун О. Ю. Забезпечення рекреаційною та транспортною інфраструктурою карстових печер Поділля / О. Ю. Бордун, А. Б. Ховалко // *Географія та туризм*. - 2012. - Вип. 19. - С. 87-94. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gt_2012_19_15
117. Бункер Лінії Арпада [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.arpad-line.com/bunker.php>
118. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд: Конструкції кріплення [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / Г. І. Гайко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 134 с].
119. Габрель М. М. Просторова організація містобудівних систем. Київ : А.С.С, 2004. 400 с.

120. Гайворонский Е. А. Особенности типологии и архитектуры объектов подземной урбанистики в Донецком регионе / Е. А. Гайворонский, А. М. Югов // *Сучасне промислове та цивільне будівництво*. - 2015. - Т. 11, № 2. - С. 65-79. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spcb_2015_11_2_5
121. Гайко Г. І. Підземні споруди (Г. І. Гайко) // Велика українська енциклопедія. URL: [https://vue.gov.ua/Підземні_споруди_\(Г._І._Гайко\)](https://vue.gov.ua/Підземні_споруди_(Г._І._Гайко)) (дата звернення: 13.11.2022).
122. Гайко Г. І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст. Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво". 2014. Вип. 25. С. 35–40.
123. Гайко, Г. І. "ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ В КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВЕЛИКИХ МІСТ." Journal homepage: <http://library.kpi.kharkov.ua> 1 (2018): 60-64.
124. 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.*
125. Гайко Г.І, Білецький В.С. Нарис історії гірництва в Україні. К.: ТОВ Видавничий дім «Києво-Могилянська академія». 2022. – 194 с.
126. Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі: (нариси з історії) / Г. Гайко, В. Білецький, Т. Мікось, Я. Хмура; Донец. від-ня Наук. т-ва ім. Шевченка, Ред. гірн. енцикл. - Донецьк : УКЦ, 2009. - 296 с. - Бібліогр.: с. 286-293. - укр.
127. ЄВРОПЕЙСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (ЦЕРН) [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/nauka/evrointegraciya/evropejska-organizaciya-yadernih-doslidzhen-cern>
128. Зінов'єва О. С. Сталий розвиток сучасного міста та сталість територіальної громади / О. С. Зінов'єва // *Регіональна політика : історія, політико-правові засади, архітектура, урбаністика : зб. наук. праць : в 2 ч. / Київ. нац. ун-т буд-ва і*

- архіт. ; редкол. : П. М. Куліков (голова) [та ін.]. – Київ ; Тернопіль : Бескиди, 2018. - Вип. 4, ч. 2 : Четверта міжнародна наук.- практ. конф., Київ, 23 листопада 2018 р. - С. 106 - 108. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7805>
129. Зінов'єва О. С. Сталий розвиток міста як відповідь на виклики пандемії / О. С. Зінов'єва // Просторове планування: Містопланування, архітектура, політичні та соціокультурні засади : зб. наук. праць / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; гол. ред. П. М. Куліков. - Київ : КНУБА, 2020. - Вип. 1, ч.1. - С. 100 - 105. - Бібліогр. : 3 назви. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/7075>
130. Інженерна геологія (з основами геотехніки) : підручник / В. Г. Суярко [та ін.]; заг. ред. В. Г. Суярко. – Харків : ХНУ, 2019. – 278 с.
131. Каменський В. І. Архітектурне середовище підземного простору / В. І. Каменський, Т. С. Вінниченко // Науковий вісник будівництва. - 2014. - № 2. - С. 37-40. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2014_2_11
132. Київський укріпрайон [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ukrainaincognita.com/nasha-spadshchyna/zamky-ta-fortetsi/kyivskiy-ukripraion>
133. Коркушко Л. М. Етапи розвитку підземної урбаністики / Л. М. Коркушко, А. М. Плешкановська // Містобудування та територіальне планування. - 2010. - Вип. 37. - С. 227-234. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_37_35
134. КОНДРАТЕНКО, Олег Юрійович. "Процес ядерного роззброєння і Україна." Науковий вісник Інституту міжнародних відносин НАУ. Серія: економіка, право, політологія, туризм 2.4 (2011): 75-79
135. Кравченко О. М. Печери та печерні монастирі другої половини XVII – XVIII ст. *Сумський історико-архівний журнал*. 2012. Т. XVI-XVII. URL: https://shron1.chtyvo.org.ua/Kravchenko_Oleksandr_Mykolaiovych/Pechery_ta_pecherni_monastyri_druhoi_polovyny_XVII_XVIII_st.pdf

- 136.Красніков С.В., Новіков С.О. "ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ НОВОГО СУЧАСНОГО СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА НА УКРАЇНИ." НАУКОВІ ПРАЦІ Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» 27-29 жовтня 2021 р: 251-256
- 137.Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень : Курс лекцій / О. В. Кустовська; Терноп. держ. екон. ун-т. - Т. : Екон. думка, 2005. - 124 с. - Бібліогр.: с. 123. - укр.
138. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. — Донецьк: Донбас, 2004. — 640 с. Інженерна геологія (з основами геотехніки) : підручник / В. Г. Суярко [та ін.] ; заг. ред. В. Г. Суярко. – Харків : ХНУ, 2019. – 278 с.
- 139.Матвійчук, Тетяна Олександрівна. "Просторовий розвиток міста через призму розвитку його підземного простору." Technology audit and production reserves 5.3 (13) (2013): 27-30.
- 140.Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти : підручник / В. Б. Швець, І. П. Бойко, Ю. Л. Винников, М. Л. Зоценко, О. О. Петраков, О. В. Солодянкін, В. Г. Шаповал, О. М. Шашенко, С. В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. – 231 с., видання друге, перероблене і доповнене
- 141.Могаричев Ю. М. "Пещерные города" в Крыму : Новый крым. путеводитель / Ю. М. Могаричев; Крым. фил. Ин-та археол. НАНУ, Крым. экон. ин-т КНЭУ, НИЦ "Крымоведения". - Симф. : СОНАТ, 2005. - 192 с. - рус.
142. Мокіна В.М. Сцинтиляційні детектори на основі кристалів молібдатів та вольфраматів для пошуку подвійного бета-розпаду : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.16 / В. М. Мокіна; НАН України, Ін-т ядер. дослідж.. - Київ, 2015. - 20 с. - укр.

143. Німеччина виділила 10 млн євро на створення в Україні центрів передових досліджень [Електронний ресурс] Режим доступу: - <https://www.eurointegration.com.ua/news/2023/11/10/7173299/>
144. Ніщик, Т. О. "ПІДЗЕМНИЙ ПРОСТІР ЯК ЕФЕКТИВНИЙ НАПРЯМ ПРОС-ТОРОВОГО РОЗВИТКУ МІСТА." Коммунальное хозяйство городов 94: 125-130 URL: https://eprints.kname.edu.ua/17254/1/125-130_%D0%9D%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BA_%D0%A2%D0%9E.pdf
145. Павленко, Олег Анатолійович, В. М. Сотниченко, and Дмитро Іванович Курас. "ЕВОЛЮЦІЯ ФОРТИФІКАЦІЙНОГО МИСТЕЦТВА НАПЕРЕДОДНІ ДРУГОЇ СВІТОВОЇ ВІЙНИ (НА ПРИКЛАДІ СТВОРЕННЯ КИЇВСЬКОГО УКРІПРАЙ-ОНУ)." The 12 th International scientific and practical conference "International scientific innovations in human life"(June 8-10, 2022) Cognum Publishing House, Manchester, United Kingdom. 2022. 991 p.. 2022
146. 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>
147. Панкратова Н.Д., Гайко Г.І., Савченко І.О. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проектних конфігурацій. – К.: Наукова думка, 2020. – 216 с.
148. Праслова В. О. Архітектурно-планувальна організація підземних торговельно-розважальних комплексів / В. О. Праслова // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. - 2008. - № 15. - С. 115-123. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/had_2008_15_16
149. Праслова Валентина Олександрівна. Архітектурно-планувальна організація підземних торговельно-розважальних комплексів : Дис... канд. наук: 18.00.02 – 2010
150. Про архітектурну діяльність: Закон України від 20.05.1999 № 687-XIV: станом на 31.03.2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-14#Text>

151. Про Генеральну схему планування території України: Закон України від 7 лютого 2002 року N 3059-III URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14#Text>
152. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
153. Проекти нацпрограми. Розвиток системи освіти [Електронний ресурс] Режим доступу: - <https://recovery.gov.ua/project/program/improve-education-system>
154. Пустовойтенко, В. П. "Обґрунтування гірничотехнічних передумов підземного будівництва з урахуванням гірничо-геологічних умов." Збірник наукових праць Національного гірничого університету 34 (1) (2010): 12-22.
155. Рижкова К. Г. Передумови будівництва науково-дослідних комплексів за принципами сталого розвитку / К. Г. Рижкова, О. С. Савицька // Архітектурний вісник КНУБА : наук.-вироб. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; відп. ред. П. М. Куліков. - Київ : КНУБА, 2016. - Вип. 8-9. - С. 474-476. - Бібліогр. : 2 назви. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/6509>
156. Російські окупанти обстріляли ядерну підкритичну установку «Джерело нейтронів» у Харкові [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://snriu.gov.ua/news/rosijski-okupanti-obstrilyali-yadernu-pidkriticynu-ustanovku-dzherelo-nejtroniv-u-harkovi>
157. Сало, В. (2021). АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО СПРИЯЛИ ВИНИКНЕННЮ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ. Містобудування та територіальне планування, (78), 445–454. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.445-454>
158. Сало, В. (2023). СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (66), 227–236. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.227-236>

159. Сало, Валерія. "ВПЛИВ ЧИННИКІВ НА АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ." Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування 65 (2023): 251-259
160. СВІТОВИЙ ЦЕНТР ДАНИХ З ГЕОІНФОРМАТИКИ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://wdc.org.ua/uk>
161. Семенюк, К.С. (2018) *Аспекти розвитку підземних споруд в контексті вирішення містобудівних проблем*. In: Матеріали XI Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Сталий розвиток міст», 24-26 квітня 2018 р., Харків.
162. Словник української мови: в 11 томах. — Том 5, 1974. — Стор. 327.
163. Смирнов, Ігор, and Джибо Цуй. "ЛІНІЯ АРПАДА ТА ЛІНІЯ МОЛотова ЯК РЕСУРС ДЛЯ РОЗВИТКУ МІЛІТАРІ-ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ." Географія, економіка і туризм: національний та міжнародний досвід/Матеріали XIV Міжнародної наукової конференції.—Львів, 2020.—458 с. Матеріали наукової конференції охоплюють особливості реалізації державної політики в галузі туризму, розробки туристичного продукту, економічного забезпечення туризму, просторового поширення туристичних (2020): 327.
164. Сохацький, Михайло. "Борщівський обласний краєзнавчий музей-науково-культурний центр Західного Поділля." Збірник праць Тернопільського осередку Наукового товариства ім. Шевченка 8 (2013): 459-475
165. Тартаковський В.К., Булавін Л.А. Ядерна фізика: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.:Знання, 2005. – 439 с. – (Вища освіта XXI століття) ISBN 966-346-020-2
166. Тімохін В. Перспективи і горизонти розвитку середовищного підходу / В. Тімохін // Досвід та перспективи розвитку міст України. - 2012. - Вип. 22. - С. 99-112. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dprmu_2012_22_18

- 167.Тесленок І. М., Перетокіна-Пічхая Н. В. Оцінка впливу факторів бізнес-середовища на підприємство сфери послуг з індивідуального пошиття одягу. *Ефективна економіка*. 2019. № 11. – URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=7426> DOI: [10.32702/2307-2105-2019.11.74](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.74)
168. Темна матерія і темна енергія у Всесвіті / Б. Новосядлий, С. Апунович, Ю. Кулініч // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. — Л., 2011. — Т. 8: Фізичний збірник. — С. 106-127. — Бібліогр.: 118 назв. — укр. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/75102>
169. Техніко-економічні аспекти освоєння підземного простору / В. П. Пустовойтенко, О. Р. Гавриш // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. - 2010. - № 34(1). - С. 32-36. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2010_34%281%29_6
170. Товкач Є. А. Печерне місто Чуфут-Кале / Товкач Є. А. // Українська орієнталістика : [збірник наукових праць]. - 2012. - Вип. 6 : Матеріали міжнародної наукової конференції "Кримські татари: етногенез, історія державних інституцій, міграційні процеси, культурна спадщина", (Київ, 20 жовтня 2012 р.). - С. 107-108. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/7423>
171. Трегобчук В. Концепція сталого розвитку для України / В. Трегобчук // Вісник Національної академії наук України. - 2002. - № 2. - С. 31-40. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2002_2_7
172. Тригуб, Р. М. "Роль споруд підземного простору в сучасному місті." Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві 12 (2019): 207-212 DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-25)
173. Турчин, Н. Історія становлення Києво-Печерської Лаври / Н. Турчин // Вісн. Київ. ін-ту бізнесу та технологій. – 2013. – № 2. – С. 156–157.
174. Угода між Україною та Європейською організацією ядерних досліджень (ЦЕРН) стосовно надання статусу асоційованого члена в ЦЕРН ЄОЯД (ЦЕРН);

- Угода, Міжнародний документ від 03.10.2013 URL:
https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/899_001#doc_info
- 175.Український астрономічний портал [Електронний ресурс] Режим доступу:
<http://www.astrosvit.in.ua/astroslovnyk/soniachni-neitryno>
176. Хижняк Ю. О., Склярєнко О. Є. "РАДІАЦІЙНИЙ ФОН М. ШОСТКА." Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (26-29 квітня 2022 р.). – Суми, 2022. – 24 URL:
https://repo.snau.edu.ua/bit-stream/123456789/11060/1/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8_%D0%9D%D0%9F%D0%9A_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8_04_2022.pdf#page=24
- 177.Федорук, Сергій Олексійович, and Анатолій Максимович Шкілько. "ФІЗИКА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК У КУРСІ ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ." Теорія та методика навчання математики, фізики, інфо (2004): 422.
178. Фізика : навчальний посібник для слухачів підготовчих курсів НУБіП України, абітурієнтів, що готуються до здачі ЗНО з предмету «фізика», самостійної роботи студентів інженерних спеціальностей вузів / В. В. Бойко [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2022. - 631 с.
179. Шевчук О. Г. Астрофізика // Велика українська енциклопедія. URL:
<https://vue.gov.ua/Астрофізика> (дата звернення: 3.12.2023).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Статті у фахових виданнях України

1. Сало, В. (2021). АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО СПРИЯЛИ ВИНИКНЕННЮ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ. Містобудування та територіальне планування, (78), 445–454. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.445-454>
2. Сало, В. (2023). ВПЛИВ ЧИННИКІВ НА АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (65), 251–259. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.251-259>
3. Сало, В. (2023). СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (66), 227–236. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.227-236>
4. Salo, Valeriia. "КРИТЕРІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ." Архітектурний вісник КНУБА 28 (2023): 111-117. DOI: <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.28.111-117>
5. Сало, В. (2023). СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ. Сучасні проблеми Архітектури та Містобудування, (68), 178-186 DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.178-186>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Участь у Міжнародних конференціях

6. Сало В. В. «Теоретичні передумови виникнення підземних комплексів спеціального та наукового призначення у найкрупніших містах». V Міжнародна науково-практична

конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» 20-21 травня 2021, Харків, ХНУБА;

7. Сало В. В. «Історичні особливості освоєння підземного простору» VII Міжнародна науково-технічна конференція «Архітектура історичного Києва. Інформаційні технології», КНУБА, м. Київ, 26-27 жовтня 2021
8. Сало В. В. «ПІДЗЕМНЕ МІСТО ЯК ВТІЛЕННЯ УТОПІЧНИХ ІДЕЙ СУЧАСНОСТІ» III Міжнародна науково-практична конференція «Філософія науки, техніки і архітектури в гуманістичному вимірі», КНУБА, Київ, 12-13 листопада, 2021;
9. Сало В. В. «Принципи гармонізації архітектурно-просторового середовища підземних комплексів» BMC-2022 – International Scientific-Practical Conference of young scientists "Build-Master-Class-2022", December 2022, Kyiv, Ukraine.
10. Сало В.В. «Особливості функціонально-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів», програма та тези доповідей Міжнародного науково-технічного форуму «Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика». Київ. 17 – 18 листопада 2022.
11. Сало В.В. «Особливості містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів», МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ФОРУМ «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології», 15-16 листопада 2023р., КНУБА, Київ.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

12. Сало В. В. «Аналіз досвіду проектування підземних комплексів спеціального та наукового призначення». VI Науково-практична конференція «Теорія і практика формування розвитку дизайну архітектурного середовища» 21.04.2021, Київ, КНУБА, кафедра ДАС
13. Сало В.В. «Вплив факторів на архітектурно-середовищну організацію підземних науково-дослідних комплексів», VIII Науково-практична конференція «Теорія і практика формування і розвитку дизайну архітектурного середовища: проблеми відновлення архітектурного і міського середовища в Україні».

ДОДАТОК Б
Акти впровадження



**Комунальне некомерційне підприємство
«ІРПІНСЬКА ЦЕНТРАЛЬНА МІСЬКА ЛІКАРНЯ»
ІРПІНСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

08205, Київська область, м. Ірпінь, вул. Садова, 38, тел./факс: 04597-61726
http://www.irpinmed.com.ua, e-mail: vozimr.irpen@ukr.net, код ЄДРПОУ 26191575

12.12.2023 № 340

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспірантки **Сало Валерії Володимирівни**
на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Акт складений про те, що наукові результати дисертаційної роботи «Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів» аспірантки кафедри Дизайну архітектурного середовища Київського національного університету будівництва і архітектури, Сало В.В. прийняті до впровадження у КНП «Ірпінська центральна міська лікарня» Ірпінської міської ради Київської області.

Здобувачкою розроблені та передані до практичного впровадження рекомендації щодо містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів, а також світовий досвід архітектурно-планувальної організації підземного простору, котрим доцільно керуватись при архітектурній організації підземного простору лікарні (влаштування укриттів, технічних приміщень, приміщень персоналу та пацієнтів).

Отримані в дисертаційній роботі науково-теоретичні концепції впровадження принципів та формування функціональних моделей окремих лабораторних модулів прийняті в якості рекомендацій до створення підземних лабораторних приміщень та спрямовані на розширення можливостей розвитку підземного простору лікарні.

Директор



Антон ДОВГОПОЛ

вих. № 08/12-2023
від 08 грудня 2023р

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
аспірантки **Сало Валерії Володимирівни**
на тему «Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації
підземних науково-дослідних комплексів в Україні».

Даний акт свідчить про те, що наукові результати дисертаційної роботи аспірантки кафедри Дизайну архітектурного середовища Київського національного університету будівництва і архітектури Сало В.В. прийняті до впровадження в проектній діяльності ТОВ «Архітектурна будівельна компанія «ЮГМА».

Здобувачкою були розроблені та передані для практичного впровадження методи оцінки факторів впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів, а також принципи архітектурно-планувальної організації підземних комплексів, котрими доцільно керуватися при їх проектуванні.

Визначені в дисертаційній роботі методичні рекомендації щодо містобудівної організації підземних науково-дослідних комплексів прийняті в якості рекомендацій для створення генеральних планів наземної території комплексу та направлені на підвищення якості проектування підземних комплексів в умовах сталого розвитку міського середовища.

Директор ТОВ «АБК «ЮГМА»

 М.В. Гарбар

№ _____
 від № _____

«Затверджую»

Проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку
 Київського національного університету будівництва і архітектури,

О. Ю. Ковальчук

2023 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи в учбовий процес

Сало Валерії Володимирівни

Ми, декан архітектурного факультету, д.т.н., проф. О.В. Кашенко, завідувач кафедри Дизайну архітектурного середовища, д. арх., проф. В.О. Тімохін, доцент кафедри Дизайну архітектурного середовища, канд.арх., В.О. Праслова, склали цей акт в тому, що окремі наукові висновки, результати та рекомендації дисертаційної роботи Сало Валерії Володимирівни на тему «Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні» впроваджені при розробці конкурсного проекту Президентського університету в Києві.

Декан архітектурного факультету,
 д.т.н., проф.

Олександр КАЩЕНКО

Завідувач кафедри Дизайну архітектурного
 середовища, д.арх., проф.

Віктор ТИМОХІН

Доцент кафедри Дизайну архітектурного
 середовища, к.арх., доц.

Валентина ПРАСЛОВА

№ _____
 від № _____

«Затверджую»

Проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку
 Київського національного університету будівництва і архітектури,

О.Ю. Ковальчук

2023 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи в учбовий процес

Сало Валерії Володимирівни

Ми, декан архітектурного факультету, д.т.н., проф. О.В. Кашенко, завідувач кафедри Дизайну архітектурного середовища, д. арх., проф. В.О. Тимохін, доцент кафедри Дизайну архітектурного середовища, канд.арх., В.О. Праслова, склали цей акт в тому, що окремі наукові висновки, результати та рекомендації дисертаційної роботи Сало Валерії Володимирівни на тему «Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні» впроваджені в учбовий процес Київського національного університету будівництва і архітектури на архітектурному факультеті на кафедрі Дизайну архітектурного середовища при консультації дипломного проєкту Кунь Софії Іванівни на тему «Принципи архітектурно-середовищної організації підземних вокзальних комплексів (на прикладі вокзалу в Київській області)».

Декан архітектурного факультету,
 д.т.н., проф.



Олександр КАЩЕНКО

Завідувач кафедри Дизайну архітектурного
 середовища, д.арх., проф.



Віктор ТИМОХІН

Доцент кафедри Дизайну архітектурного
 середовища, к.арх., доц.



Валентина ПРАСЛОВА

ДОДАТОК В

Додаткові матеріали, які засвідчують апробацію положень дисертації

СЕРТИФІКАТ

УЧАСНИКА

VIII Науково-практичної конференції

«Теорія і практика формування і розвитку дизайну архітектурного середовища: проблеми відновлення архітектурного і міського середовища в Україні»

18 квітня 2023

кафедра Дизайну архітектурного середовища

виданий

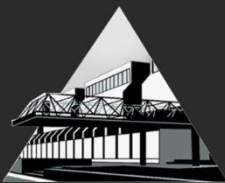
САЛО ВАЛЕРІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ

асистент; аспірант кафедри дизайну архітектурного середовища КНУБА

керівник: кандидат архітектури, доцент кафедри дизайну архітектурного середовища КНУБА Праслова В.О.

ВПЛИВ ФАКТОРІВ НА АРХІТЕКТУРНО-СЕРЕДОВИЩНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ

КОМПЛЕКСІВ



Кашенко О.В.

декан архітектурного факультету
доктор технічних наук, професор

Тімохін В.О.

завідувач кафедри ДАС
доктор архітектури, професор

КАФЕДРА

Дизайну архітектурного
середовища

2023



СЕРТИФІКАТ

УЧАСНИКА VI НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА
ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТКУ
ДИЗАЙНУ АРХІТЕКТУРНОГО СЕРЕДОВИЩА»

яка відбулася 21 квітня 2021 року
на платформі Teams
на кафедрі дизайну архітектурного середовища
Київського національного університету будівництва і архітектури

виданий аспіранту, асистенту кафедри дизайну архітектурного середовища Київського Національного університету будівництва і архітектури

Сало Валерії Володимирівні

Доповідь на тему: «АНАЛІЗ ДОСВІДУ ПРОЕКТУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ТА НАУКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ».

Проректор з наукової роботи КНУБА, проф.

О.І. Шкуратов

Декан архітектурного факультету КНУБА, проф.

О.В. Кащенко

Керівник конференції:

зав. кафедрою ДАС, д-р арх., проф.

В.О. Тімохін



Silesian University
of Technology



БУДІВЕЛЬНА
ПАЛАТА
УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ (КНУБА)
ДП НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА (ДП «НДІБВ»)
БУДІВЕЛЬНА ПАЛАТА УКРАЇНИ

АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА УКРАЇНИ (АБУ)
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МИСТЕЦТВ УКРАЇНИ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ІННОВАЦІЙНОГО БУДІВНИЦТВА (НДІ ІНБУД)
ІНСТИТУТ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ (ISMA)

СІЛЕЗЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (SUT)
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ТЕОРІЇ ТА ІСТОРІЇ АРХІТЕКТУРИ, МІСТОБУДУВАННЯ І ДИЗАЙНУ (НДІТІАМД)
ДЕПАРТАМЕНТ МІСТОБУДУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРИ КМДА

ДП «УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ПРОЕКТУВАННЯ МІСТ «ДІПРОМІСТО» ІМ.Ю.М.БИЛОКОНЯ



МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ФОРУМ

“Архітектура та будівництво: Відновлення України. Наука, технологія, практика”

VII Міжнародна
науково-технічна конференція
“Ефективні технології в будівництві”

VIII Міжнародна
науково-технічна конференція
“Архітектура історичного Києва. Архітектура та Дизайн - відновлення країни”

IX Міжнародна
науково-технічна конференція
“Нові технології в будівництві”

СЕРТИФІКАТ

підтвержує, що

САЛО Валерія Володимирівна

брав(ла) участь у конференціях форуму
17-18 Листопада 2022р. м.Київ, Україна

Rector of Kyiv National University of Construction and Architecture – the head of organizing committee

Rector of ISMA University – co-chair of organizing committee

CERTIFICATE

confirms that

Valeriia SALO

has participated in the conferences forum
November 17-18, 2022 Ukraine, Kyiv

Petro Kulikov
Roman Djakon

TOTAL:
15 hours - 0,5 ECTS



Certificate No.
KNUCA-22-11-337

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва та архітектури
Архітектурний факультет
Кафедра філософії

**ФІЛОСОФІЯ НАУКИ, ТЕХНІКИ І АРХІТЕКТУРИ
В ГУМАНІСТИЧНОМУ ВИМІРІ**

Тема доповіді
III Міжнародної науково-практичної конференції
12-13 листопада 2021 року
м. Київ

ЧАСТИНА II

- Проблеми сучасної архітектури
- Філософія ідеального міста: історія і сьогодення
- Філософія творчості: мистецтво, дизайн, архітектура

Київ 2021

УДК 001:1
Ч-75

Орг. комітет: П.М. Кузьма, д. екон. н., професор, Заслужений працівник освіти України, ректор КНУБА;
Д.О. Черванич, д. тех. н., доцент, Заслужений працівник освіти України, перший проректор КНУБА з гуманітарних наук;
О.Ю. Ковалюк, к. тех. н., старший викладач КНУБА;
професор з наукової діяльності КНУБА;
О.В. Кащенко, д. тех. н., професор, доцент архітектурного факультету, викладач кафедри пасивної та живочуї філософії КНУБА;
І.В. Чорноморченко, д. філософ. н., професор, завідувач кафедри філософії КНУБА;
В.О. Шарпіла – д. арх. професор, завідувач кафедри дизайну архітектурного середовища (ДАС) КНУБА;
А.В. Шарпіла – к. філософ. н., доцент кафедри філософії КНУБА;
О.А. Гринько – к. філософ. н., доцент кафедри філософії КНУБА;
Н.М. Лавуна – к. філософ. н., доцент кафедри філософії КНУБА;
Г.П. Таран – к. філософ. н., доцент кафедри філософії КНУБА

Відповідальний за випуск І.В. Чорноморченко

Рекомендовано до видання організаційною науковою конференцією
протокол № 6, від 09.11.2021 року

Філософія науки, техніки і архітектури в гуманістичному вимірі.
Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 12-13 листопада 2021 року). Частина II / ред. за випуск І.В. Чорноморченко. – К.: КНУБА, 2021. – 162 с.

У збірник включено теми доповідей і виступів, які підготовлені до Всеукраїнської наукової конференції «Філософія науки, техніки та архітектури в гуманістичному вимірі» (Київ, КНУБА, 2019).
Вчені-філософи, аспиранти, магістри та студенти порушили у своїх повідомленнях широкі кола проблем сучасної науки і техніки, а саме було стисло предстало ілюстрації сучасної науки і техніки, актуально інтелекту, академічної доброчесності, науково-технічної творчості, естетико-філософських проблем архітектури, а також розмаїття творчості у мистецтві та дизайні.

Організаційний комітет конференції не зважило поділяє думку учасників. За достовірність інформації відповідають автори поданих матеріалів. У збірнику максимально точно відображено орфографію та пунктуацію збройованого матеріалу.
Для науковців і викладачів, аспірантів і студентів, а також усіх небайдужих до розвитку науки, техніки, архітектури.

© КНУБА, 2021
© Архітектурний факультет, кафедра філософії, 2021

Катерина Гончаренко. «Полівійний код» постмодерної архітектури.....67

Дарина Сіра, Іван Чорноморченко. Філософія і архітектура: антропологічний підхід.....70

Тетяна Корольова. Філософія факторів та особливостей формування сільського громадського середовища.....73

ФІЛОСОФІЯ ІДЕАЛЬНОГО МІСТА: ІСТОРІЯ І СЬОГОДЕННЯ.....76

Віктор Тимочіт. Синкретичні образи ідеальних міст в їх впливі на розвиток сучасної архітектури.....76

Євген Перебудя, Юлія Балага, Олександр Ігнат. Місто як простір свободи та справедливості в контексті сучасних трансформацій.....79

Напалія Мозгова. Місто як духовний ландшафт людського буття.....82

Ірина Буря, Андрій Шарпіла. Дорога з утоні: філософія розвідки ступу сучасних українських міст.....85

Олена Гринько. Виховна функція архітектури в філософських утопіях.....87

Олександр Гуж, Олена Гринько. Філософія ідеального міста: історія і сьогодення.....90

Кристіна Кравчина, Тетяна Пузанова. Перші мислителі про ідеальне місто.....91

Мічелі Матейчук, Світлана Савіна. Біофільний дизайн як складова ідеального міста.....94

Ірина Сіра, Валентина Црвасова. Підземне місто як втілення утопічних ідей сучасності.....97

Олександр Мерзляк, Тетяна Соболюкова. Філософія ідеального міста: історія і сьогодення.....99

Ірина Мозговій. «Розумне місто» як урбаністична утопія інформаційної ери.....101

Принципи гармонізації архітектурно-просторового середовища підземних комплексів

Валерія Сало, аспірант¹

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано світовий досвід проектування підземних комплексів. Представлено ергономічні особливості архітектурно-просторової організації підземного простору. Виділено основні принципи гармонізації архітектурно-просторового середовища підземних комплексів.

Ключові слова: архітектурно-просторова організація, підземні комплекси, гармонізації архітектурного середовища, ергономічні особливості.

1. ВСТУП

В останні роки у всьому світі все більше уваги при плануванні та забудові крупних міст та міст-мегаполісів приділяється проблемам освоєння підземного простору. Використання простору у міському середовищі являє собою поєднання та взаємопроникнення природної та антропогенної складових середовища. Сучасне місто має представляти собою комфортне гармонічне середовище [1].

2. МЕТА РОБОТИ

На основі проведеного аналізу світового досвіду проектування підземних комплексів виділити основні принципи гармонізації архітектурно-просторового середовища підземних комплексів.

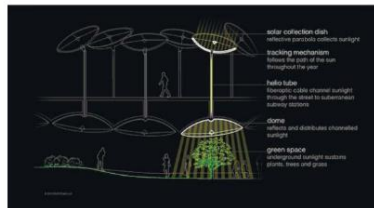


Рисунок 1. Схема роботи волоконної оптики

3.2. 'The Earthscraper'

Концептуальний проект перевернутого хмарочоса 'The Earthscraper' (Рис.2) являє собою перевернуту піраміду з центральним атриумом, що дозволяє природньому світлу

Асп. Сало В. В.

(Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна)

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ТА НАУКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ У НАЙКРУПНІШИХ МІСТАХ

Актуальність теми полягає в необхідності пошуку раціональних шляхів вирішення сукупності складних соціальних, демографічних, економічних, політичних, інженерних, технологічних, екологічних та техногенних проблем в дослідженнях архітектурно-планувальної та об'ємно-просторової організації підземних комплексів спеціального та наукового призначення.

Перспективність організації та розвитку підземних комплексів спеціального та наукового призначення ґрунтується на таких передумовах:

- демографічне перевантаження
- погіршення екологічної ситуації

Інноваційні технології в архітектурі і будівництві

- дефіцит міських територій
- загроза техногенних катастроф
- військові дії та ризик ядерного вибуху

За даними ООН, з 2008 року більша половина населення світу живе у містах, а у світі очікується, що кількість населення збільшиться щонайменше до 10 мільярдів чоловік у наступні чотири десятиліття. Оскільки, у цей період численність сільського населення у світі залишиться стабільною, цей ріст траплятиметься виключно у міських районах. За заявами Всесвітнього фонду природи (WWF), сучасне населення споживає на 20% більше природних ресурсів, аніж Земля здатна продукувати. Згідно прогнозу ООН, до 2030 року на планеті житиме 8,5 мільярда людей. До 2100 року численність населення зросте до 11,2 мільярдів, при цьому до 2030-го року половина жителів Землі не буде забезпечена питною водою, а на опріснення океанської води щорічні витрати складатимуть до 200 мільярдів доларів [1].

За даними Всесвітнього фонду природи (WWF) з доповіді «Жива планета» 2020 року,

ДОДАТОК Г

ВІДГУК

на дисертаційне дослідження Сало Валерії Володимирівни
**«ТИПОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ
ОРГАНІЗАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ КОМПЛЕКСІВ
В УКРАЇНІ»,**

поданої на здобуття науково ступеня доктора філософії за спеціальністю
191 – Архітектура та містобудування

Дослідження типологічних особливостей архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні, що здійснене здобувачкою Сало В.В., має безумовне теоретичне та, що важливо, практичне значення в умовах нашого сьогодення.

В сучасних умовах воєнного стану та післявоєнної відбудови України, вирішення проблеми архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів можливе за наявності відповідних теоретичних засад, рекомендацій щодо проектування підземних комплексів, основних принципів, якими доцільно керуватися при їх проектуванні. Досліджуваний здобувачкою об'єкт є спорудою потрібного призначення, що здатна забезпечити перспективний розвиток експериментальних досліджень в галузях фізики, астрофізики, біології, геології та медицини; слугуватиме укриттям на час війни; виконуватиме функцію комплексу, що сприятиме відновленню ядерного потенціалу України.

У дослідженні проаналізовано існуючі світові глибокопідземні лабораторії фізики та астрофізики. На основі проведеного аналізу визначені сучасні тенденції проектування та окреслений найбільш перспективний розвиток підземних науково-дослідних комплексів в Україні. В ході дослідження виявлено основні фактори впливу на організацію підземних науково-дослідних комплексів, вперше створено їх класифікаційну систему.

Вперше розроблено типологію даних споруд, запропоновані архітектурно-планувальні схеми кожного з трьох типів, що характеризуються модульною структурою та можливістю їх перепланування.

Розроблені здобувачкою експериментальні, науково-дослідні та допоміжні модульні структури можуть бути адаптовані для виконання відмінних від науково-дослідних функцій.

Дисертаційне дослідження є завершеною науковою роботою, відповідає вимогам МОН України, а здобувачка – Сало Валерія Володимирівна, заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 191 – Архітектура та містобудування.

Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор фізико-математичних наук, професор,
декан факультету архітектури, будівництва
та декоративно-прикладного мистецтва
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича


Фодчук І.М.

Підпис Фодчука І.М. «Засвідчено»
Вчений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича


Якубовська Н.О.





НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН СТАНДАРТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ТЕХНІЧНИЙ КОМІТЕТ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТК-320
«ОБ'ЄКТИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»

Повітрофлотський проспект, 31,
03037, Київ, Україна

тел/факс +38(044)249-72-49
ser_mihal@knuba.edu.ua

вих. № 1-01/0001 від «20» жовтня 2023 року
на № _____ від «_» _____ 202_ року

ВІДГУК

на дисертаційну роботу

САЛО ВАЛЕРІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ

на тему

«Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації
підземних науково-дослідних комплексів в Україні»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
191 – Архітектура та містобудування
19 – Архітектура та будівництво

Детальне вивчення дисертації САЛО Валерії Володимирівни «Типологічні особливості архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні» та її наукових публікацій, дозволяє зазначити наступні результати щодо оцінки їх наукового рівня, зокрема актуальності, наукової новизни, практичного значення наукових положень, висновків і рекомендацій, а також загальної оцінки роботи.

Представлене дисертаційне дослідження САЛО Валерії Володимирівни зумовлене вивченням типологічних особливостей архітектурно-планувальної організації підземних науково-дослідних комплексів в Україні. Тема будівництва, збереження та експлуатації спеціальних споруд, в тому числі мінних (підземних), або заглиблених давно є важливою проблемою у містобудуванні України.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації забезпечується логічною відповідністю методів дослідження стосовно сформульованої мети та конкретних завдань, а також базується на результатах авторського аналізу внутрішніх просторів та комунікацій підземного комплексу.

Мета дисертаційного дослідження сформульована достатньо чітко – встановлення закономірностей розвитку підземного середовища, а також формулювання принципів та рекомендацій щодо внутрішніх просторів та комунікацій підземного комплексу.

Ідея проекту полягає у створенні сучасної принципово нової системи підземних споруд багатопільового використання, які виконуватимуть роль наукових оборонних центрів, а також функції прихистку окремих категорій населення в

особливий період. Проект розглядає науково-прикладні і технологічні рішення із створення новітніх високоефективних комплексів оборонних підземних споруд з метою формування принципово нового спеціального фонду України.

Робочими гіпотезами дисертації є як визначення складу і змісту необхідних приміщень, так і основні принципи функціонального наповнення, планування і забудови зазначених споруд.

Аналіз літературних джерел показує, що розробка нових технічних і технологічних рішень з влаштування спеціальних підземних комплексів базується на принципах територіального формування збройних угруповань.

Формування безпеки в галузі розквартирування військ та капітального будівництва, що залежить від багатьох чинників: прогресивних норм, розроблених на рівні сучасних досягнень світової науки; новітніх проектних та конструктивних рішень; застосування сучасних стандартизованих будівельних технологій та будівельної техніки.

Науково-дослідних робіт з проблем сучасного розквартирування військ та фортифікації в Україні фактично не існує, або є у грифіваному вигляді для службового користування розробки часів СРСР, отже будь-які дослідження будуть новітніми і ініціативними.

Всі відомі попередні науково-дослідні роботи або застарілі і відображають досягнення 30-40 років минулого сторіччя, а отже не відображають перехід Держави на нові принципи побудови оборони згідно з вимогами Указу Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015 та рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про Стратегію національної безпеки України».

Переорієнтація напрямку стратегічного стримування із заходу на схід і факт агресії російської федерації диктує нагальну потребу в нових підходах до будівельних принципів участі в обороні і охороні Державного кордону.

Організація і виконання робіт з міжнародної, регіональної, національної стандартизації дадуть можливість поетапно привести нормативно-технічну базу до директив ЄС та міжнародних технічних регламентів, що сприятиме наближенню до стандартів країн ЄС, залучить країну до системи колективної безпеки в Європі та позитивно вплине на економічні і соціальні аспекти функціонування економіки України. Тому дисертаційне дослідження є актуальним для галузі стандартизації будівництва об'єктів спеціального призначення та розкриває основні напрямки та принципи створення трансформації внутрішніх просторів та комунікацій підземного містечка.

До найбільш важливих досягнень дисертаційної роботи, що мають вагому наукову новизну, слід віднести наступні:

- 1) сформульовані спеціальні принципи створення і трансформації внутрішніх просторів та комунікацій підземного комплексу - багатофункціональності та динамічності зв'язків, контекстуальної інтеграції в єдине середовище та візуального комфорту;

- 2) ґрунтовне дослідження та обстеження створення і трансформації внутрішніх просторів та комунікацій підземного комплексу та створення плану функціонального зонування замкнутих просторів з переліком поєднання функціональних зон всередині об'єкту;
- 3) впровадження результатів дисертації в історико-містобудівні дослідження конкретних об'єктів спеціального призначення та у навчальний процес Центру оборонних програм КНУБА.

Достовірність наукових положень, висновків та результатів ґрунтується потенційними результатами впровадження у практичну діяльність Центрального проектного інституту Міністерства оборони України.

Основні положення дисертаційного дослідження можуть бути використані для розробки генеральних планів об'єктів спеціального призначення та досліджень оборонних наукових кластерів та внутрішніх просторів та комунікацій підземного містечка. Також отримані теоретичні нароби можуть бути використані при наукових вишукуваннях та практичному проектуванні об'єктів спеціального призначення.

Висновки дисертаційного дослідження у логічній послідовності розкривають його результати і доводять, що завдання, які були поставлені, виконані у повному обсязі. Дисертаційне дослідження САЛО Валерії Володимирівни цілком відповідає рівню ступеня доктора філософії у сфері архітектури.

Практично дисертація використовуватиметься Технічним комітетом ТК-320 в якості робочих матеріалів при опрацювання відповідних відомчих стандартів.

Відповідальний секретар ТК-320  С.В. МИХАЛЬЧЕНКО

ДОДАТОК Д

Джерела ілюстрацій

Джерела ілюстрацій до Розділу 1

Рис. 1.1

Світова урбанізація за даними ООН:

- URL: <https://population.un.org/wup/Maps/Growth%20rates%20of%20urban%20agglomerations%20by%20size%20class/CityGrowthRate-2018-2030.png>
- URL: https://population.un.org/wup/Maps/Percentage%20urban%20and%20urban%20agglomerations%20by%20size%20class/CityPop_PercUrban-2018.png

Рівень урбанізації в Україні:

- URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Ukraine_City's_Population_Dynamics.PNG
- URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/UrbanPopChangeUkraine1989-2010.PNG>
- URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8_%D0%BF%D0%BE_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8F%D1%85_%282019%29.png
- URL: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/UrbanChange2005-2010Ukr.png>

Рис.1.2

- Підземний простір Гельсінкі URL: <https://www.researchgate.net/profile/Ilkka-Vaehaeaho/publication/273938359/figure/fig3/AS:391834607079430@1470432058439/Extract-of-the-Helsinki-Underground-UG-Master-Plan-Image-Helsinki-City-Planning.png>

- **Підземний простір Лондону** URL: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=18lga1Pvos_QpXGgNbQWr7lGB0uc&hl=en&femb=1&ll=51.51163624496684%2C-0.12472619696287657&z=13
- **Підземне місто в Пекіні** URL: https://media.cnn.com/api/v1/images/stellar/prod/150218092358-beijing-underground-housing-map.png?q=w_1122,h_849,x_0,y_0,c_fill
- **Мапа метрополітену Києва** URL: http://www.kiev-maps.com/images/maps/kiev_map_8.jpg
- **Мапа метрополітену Харкова** URL: https://www.city.kharkiv.ua/assets/files/docs/city/metro_map_2016.jpg
- **Мапа метрополітену Дніпра** URL: <https://gorod.dp.ua/metro/maps/metro2018.jpg>

Рис.1.3

- **Глибокопідземні лабораторії Пн. Америки та Канади:**
 - WIIP URL: <https://www.ans.org/file/6223/wipp.jpg>
 - Sanford Underground Research Facility URL: https://sanfordlab.org/sites/default/files/styles/featured_image/public/images/hero/yatesshaft-hero.jpg?itok=dm4iu535
 - Soudan Underground Laboratory URL: <https://www.twincities.com/wp-content/uploads/2016/11/6soudan.jpg>
 - SNOLAB URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/SNOLAB_2014-03-21.jpg
- **Глибокопідземні лабораторії країн Азії:**
 - INO URL: <https://gumlet.assettype.com/tnm%2Fimport%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmain-qimg-3742f5dfccaceb94b925a075ee6a197b.jpg?auto=format%2Ccompress&fit=max&format=webp&w=720&dpr=1.5>
 - China JingPing Underground laboratory URL: <https://p1-tt.byteimg.com/origin/tos-cn-i-qvj2lq49k0/93fac0b2fdb941f4bbd175dbcb163f96.jpg>
 - Yemilab URL: <https://indico.ibs.re.kr/event/430/contributions/2532/attachments/2339/2601/yemilab-20210701.pdf>
 - Yangyang: <https://image.dnews.co.kr/photo/photo/2022/02/22/202202221635180440380-2-264161.jpg>

- Kamioka Observatory: https://cerncourier.com/wp-content/uploads/2016/07/CCjap2_06_16.jpg
- **Глибокопідземні лабораторії країн Європи:**
 - Boulby URL: https://ichef.bbci.co.uk/news/976/cpsprodpb/116CE/production/_86647317_potash.png.webp
 - Великий адронний колайдер URL: https://ecotech.news/images/news/1907/190726_003.jpg
 - Modane URL: https://media.gettyimages.com/id/526259422/photo/modane-the-laboratoire-souterrain-de-modane-is-an-underground-laboratory-located-in-the-middle.jpg?s=1024x1024&w=gi&k=20&c=G3X_R-3OlrQp51hUo7pSPIV02-EzuQebCw-8u0gq3OI=
 - Canfranc URL: https://lsc-canfranc.es/wp-content/uploads/2018/12/1804-LSCanfranc_025-800x600.jpg
 - HADES URL: <https://i.pinimg.com/736x/eb/92/d0/eb92d0fc2216708eb9130b1af6f5399d.jpg>
 - Callio Lab URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Pyhasalmi_mine.jpg
 - LNGS URL: https://www.lngs.infn.it/images/About/Lngs_est_vista.jpg
 - Солотвинська лабораторія URL: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Ukraine-Solotvyno-Salt_Mine.jpg
- **Глибокопідземні лабораторії в Південній півкулі:**
 - ANDES URL: <https://www.roadtraffic-technology.com/wp-content/uploads/sites/17/2017/10/11-image-82.jpg>
 - Stawell URL: <https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5eaa6898f74e885ed43bae70/1593154811993-5AAMMM0T8AX50G3N6UFP/image-asset.jpeg>
- **Карти**
 - Північна Америка та Канада URL: https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:BlankMap-USA-states-Canada-provinces,_HI_closer.svg
 - Європа URL: https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Blank_map_of_Europe_cropped.svg
 - країни Азії URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Location_Map_Asia.svg

- Південна Америка URL:
https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Southamerica_blank.svg
- Австралія URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Australia_states_blank.png

Рис. 1.5.

Беєр-Шева

- URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Tel_Be%27er_Sheva#/media/File:Tel_Be'er_Sheva_Overview_2007041.JPG
- URL: <https://library.biblicalarchaeology.org/images/bsbkea0000000791jpg/>
- URL: <https://www.researchgate.net/profile/Michael-Tsesarsky/publication/237216401/figure/fig3/AS:667659238662151@1536193775520/Artist-conception-of-underground-water-reservoir-in-Tel-Beer-Sheva.png>
- URL: <https://www.biblewalks.com/Photos108/TelBeershebaplan.jpg>
- URL: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRw8eoiL9fXliQdG2PhctH1LFCkD2A5yKbV3EVOPTc5ZuBh8Ro9Msy8tyg9x8l0Qro6Eqc&usqp=CAU>

Стародавній Єгипет

- URL: https://i.natgeofe.com/n/74dcbfb4-38ba-4136-b633-43637c1355cd/22987_4x3.jpg
- URL: https://madainproject.com/content/media/collect/giza_sphinx_237276.jpg
- URL: <https://www.crystalinks.com/sphinxwestelevation.gif>

Підземні міста Туреччини

- URL:
<https://idsb.tmgrup.com.tr/ly/uploads/images/2022/04/25/thumbs/800x531/201795.jpg?v=1650898517>
- URL: <https://bigthink.com/wp-content/uploads/2022/03/Cropped-Underground-City.jpg?lb=1536,864>
- URL: <https://www.flickr.com/photos/laloyd/4998195886>

URL: <http://johnsnotes.com/archives/images/KaymakliDiagram.jpg>

URL: <https://www.kairos2.com/Turkey%20183.jpg>

Рис. 1.6

Печера Вертеба

URL: <https://speleo.land.kiev.ua/antrumimg/cave-7.png>

URL: https://rest.guru.ua/img/place_photo/536/1277.jpg

Кам'яна могила

URL:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D1%8F%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B%D0%B0_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0.jpg

Царський курган

URL: <https://leksika.com.ua/imag/bsue12/image517.jpg>

Степанівський курган

URL:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Kurgan-Swiatilisce.jpg>

Печерне місто Чуфут-Кале

URL: <https://img.tsn.ua/cached/914/tsn-1ebf7e0831dcb00a7ce65c0ae2fc892d/thumbs/1036x648/bb/5d/7eb5a13f9a6c2826a549a7cee8145dbb.jpg>

URL:

https://www.globtroter.pl/zdjecia/ukraina/115169_ukraina_krym_czufut_kale.jpg

Ближні і Дальні печери

URL: <https://lavra.ua/wp-content/uploads/2016/10/blizhniemap.jpg>

URL: <https://lavra.ua/wp-content/uploads/2015/11/dalnie.jpg>

URL: <https://img.buzzfeed.com/buzzfeed-static/static/2014-05/enhanced/webdr06/26/6/original-23487-1401099364-4.jpg?downsize=700%3A%2A&output-quality=auto&output-format=auto>

URL:

https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%91%D0%95%D0%90%D0%94_2020/%D0%90%D0%A2_BEAD_P%D1%96dzemna_urban%D1%96stika.pdf

SNOLab

URL:

https://uk.wikipedia.org/wiki/SNOLAB#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:SNOLAB_2014-03-21.jpg

Рис. 1.7

London

URL: https://i0.wp.com/transitmap.net/wp-content/uploads/2015/07/tumblr_nryl2vhXmi1r54c4oo1_1280.jpg?w=857&ssl=1

URL: https://i0.wp.com/farm4.static.flickr.com/3076/2823827356_e4c754cdf6.jpg

Paris

URL: <https://bigthink.com/wp-content/uploads/2021/05/origin-13.jpg?resize=680,382>

Антонієві печери

URL: https://www.pslava.info/files/PSlava/PSIills/1983PGA/Vol4/pg4_0741.gif

Підземна споруди Німеччина

URL: <https://kpi.ua/files/styles/story/public/images-story/2020-winner-iasa.jpg?itok=JVanXPgc>

Gran Sasso

URL: <https://www.appec.org/wp-content/uploads/2018/03/6pjhztby.jpg>

URL: https://www.lngs.infn.it/images/About/lngs_est_vista.jpg

Станція метро «Арсенальна»

URL: <https://www.shram.kiev.ua/img/work/m/razrez-big.jpg>

Бункер Лінії Арпада

URL: https://www.mukachevo.net/Content/img/news/1855/p_1855486_6_slidertop2.jpg

URL: <http://www.arpad-line.com/img/index/plan.jpg>

SNOLab

URL: <https://ewh.ieee.org/reg/7/millennium/neutrino/mapview.jpg>

URL: https://hips.hearstapps.com/hmg-prod/images/supercdms-map-final-2000px-1525885003.jpg?resize=1200:*

Вертикальні хмарочоси:

URL: <https://images.adsttc.com/media/images/55f8/1591/9644/1eac/2300/00df/slideshow/main-section.jpg?1442321800>

URL: https://imechewebresources.blob.core.windows.net/imeche-web-content/images/default-source/default-album/48629457831_15805d529f_k-copy.jpg?sfvrsn=e6088a12_0&size=705

ТРЦ «Глобус»

URL: https://globus.com.ua/wp-content/uploads/2016/07/Navi_1035x1710_180117_1-620x1024.jpg

URL: https://globus.com.ua/wp-content/uploads/2016/07/Navi_1035x1710_180117_2-620x1024.jpg

URL: https://kiev.vgorode.ua/img/article/11133/75_main-v1587640475.jpg

Makhno Studio

URL: <https://makhnostudio.com/uk/project/underground-house-plan-b/>

Рис. 1.9**Soudan Underground Laboratory:**

URL: <https://www.twincities.com/wp-content/uploads/2016/11/6soudan.jpg>

URL: <https://img.apmcdn.org/c3a346a50cae8c313afa0130aeb4ec021407d7d3/uncropped/32dc63-20101029-soudan-mine.jpg>

URL: https://www.soudan.umn.edu/background/mn_Caverns.jpg

URL: <https://www.soudan.umn.edu/NOvA/NOVA-Looking-North-large.jpg>

SNOLab

URL:

https://uk.wikipedia.org/wiki/SNOLAB#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:SNOLAB_2014-03-21.jpg

URL:

https://www.mdpi.com/sensors/sensors-23-01945/article_deploy/html/images/sensors-23-01945-g001.png

URL:

https://i.cbc.ca/1.3259137.1444156770!/fileImage/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/original_1180/snolab.jpg

Sanford Underground Research Facility:

URL:

https://sanfordlab.org/sites/default/files/styles/featured_image/public/images/hero/yatesshaft-hero.jpg?itok=dm4iu535

URL:

https://indico.cern.ch/event/606690/contributions/2617372/attachments/1499498/2334740/Heise-SURF-TAUP-2017_07.pdf

URL:

<https://bloximages.chicago2.vip.townnews.com/rapidcityjournal.com/content/tncms/assets/v3/editorial/f/26/f2636808-1c32-11ee-9697-f37c4292ffa8/59e69285b50cb.image.jpg?resize=1200%2C809>

Gran Sasso:

URL:

https://rotaryfirenze.org/app/public/files/foto/GRAN_SASSO_LABORATORIO1.jpeg

URL: <https://rotaryfirenze.org/app/public/files/foto/gransasso2.jpeg>

URL: https://www.lngs.infn.it/images/View_exp_underground.png

URL:

https://www.lngs.infn.it/images/REIS/educational/open-day/OPEN-DAY2019/PIANTINA_OPENDAY_2019_loweb.jpg

Canfranc

URL:

https://www.mdpi.com/universe/universe-08-00075/article_deploy/html/images/universe-08-00075-g001-550.jpg

URL:

https://en.wikipedia.org/wiki/Canfranc_Underground_Laboratory#/media/File:Edificio_del_Laboratorio_subterr%C3%A1neo_de_Canfranc.jpg

URL:

<https://www.researchgate.net/publication/357526223/figure/fig2/AS:1108000769089536@1641179377079/Laboratorio-Subterraneo-de-Canfranc-LSC-Longitudinal-geological-profile.ppm>

Рис. 1.10

Modane

URL: http://lsm.utef.cvut.cz/style/LSM_scheme.png

URL: http://lsm.utef.cvut.cz/style/LSM_DOMUS.png

URL: http://lsm.utef.cvut.cz/style/LSM_scheme2.png

Boulby

URL: <https://www.boulby.stfc.ac.uk/Slideshow/Boulby-Mine.jpg>

URL (Google map): https://www.google.com/maps/place/Boulby+Underground+Laboratory/@54.5559938,-0.8259946,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x487f1d97a3d80537:0x8d9a516dbd2a1f98!8m2!3d54.5559938!4d-0.8234197!16s%2Fg%2F11f2wecw2_?hl=uk&entry=ttu

URL: <https://www.boulby.stfc.ac.uk/Slideshow/Lab%20Schematic.png>

HADES

URL: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1674775516302396-gr3.jpg>

CallioLab

URL: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0168900220304630-gr1.jpg>

Large Hadron Collider

URL: https://www.researchgate.net/profile/Benjamin-Todd/publication/41217456/figure/fig28/AS:669505927774213@1536634060152/LHC-Layout-with-Permit-Loops-and-Controllers-and-Dumping-Systems-not-to-scale_W640.jpg

URL: <https://www.popsci.com/uploads/2019/03/18/W6E7ZCLC63UNL6NDURH7BS3NAU.jpg?auto=webp>

URL: <https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/7cvrrJxBe3N4Pfsv8q9oaM.jpg>

Solotvina Underground

URL: <http://lpd.kinr.kiev.ua/images/SOLOTVBW25x08.gif>

URL: http://lpd.kinr.kiev.ua/images/SUL_May-2006_2.jpg

URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0712/0712.1051.pdf>

Рис. 1.11

Yemilab

URL: https://centers.ibs.re.kr/img/cup_en/contents/070103_004.jpg

URL:

<https://www.researchgate.net/publication/358751653/figure/fig1/AS:11431281119588509@1676134100301/a-Location-of-Yemilab-it-is-25-hours-by-car-from-Daejeon-where-IBS-CUP-is-located.ppm>

URL: https://indico.ibs.re.kr/event/430/images/333-yemilab_layout_new.jpg

Kamioka

URL: <https://w7.pngwing.com/pngs/895/975/png-transparent-super-kamiokande-kamioka-observatory-t2k-experiment-cherenkov-radiation-neutrino-map-text-map-world-map.png>

URL: https://cerncourier.com/wp-content/uploads/2016/07/CCjap2_06_16.jpg

URL:

<https://indico.cern.ch/event/571194/contributions/2423556/attachments/1421458/2178663/Nakahata-HPNP-170303-v3.pdf>

China Jinping

URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-China-Jinping-Underground-Laboratory-and-its-Cheng-Kang/80dcc10cf0ae68f112a53e7874b2e11b36ec2897/figure/1>

URL: https://www.researchgate.net/profile/William-Mcdonough-3/publication/301881020/figure/fig2/AS:359779022196742@1462789411641/Color-online-China-JinPing-underground-Laboratory-CJPL-is-located-in-Jinping_W640.jpg

URL: <https://www.electricalibrary.com/wp-content/uploads/2023/12/CJPL-location-in-Jinping-Mountain-1.png>

URL:

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fcommons.lbl.gov%2Fdownload%2Fattachments%2F95551642%2FLi_Jianmin.pdf&psig=AOvVaw0OW59KQ7gssa8RALFqUA9A&ust=1702459788113000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBMQjhXqFwoTCNjOvI7LiYMDFQAAAAAdAAAAABBM

INO

URL: <https://data1.ibtimes.co.in/en/full/686008/ino-project.jpg?h=450&l=50&t=40>

URL: https://bl-i.thgim.com/public/news/science/article23556536.ece/alternates/LANDSCAPE_1200/INO%20underground%20labJPG

STAWELL

URL: https://www.ansto.gov.au/sites/default/files/styles/wysiwyg_image/public/2019-09/Model.jpg?itok=3Aciy_18

URL: <https://indico.cern.ch/event/1188759/contributions/5222449/attachments/2622367/4534776/SABRE-Status-UCLADM2023.pdf>

Джерела ілюстрацій до Розділу 2

Рис.2.1 – Авторські схеми

Рис. 2.2

Інженерно-геологічні фактори

URL:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Stadtroda_Sandstein.jpg

https://sensoil.com/wp-content/uploads/2023/10/VMS_frwa-02-599569-g001.jpg

https://www.seis-insight.eu/images/Public-Images/S1-Ondes/bloc_diagramme_seisme_EN_big.jpg

<https://bigbangpage.com/wp-content/uploads/2020/12/A1645-Jinping-Underground-Laboratory-China-The-world-deepest-underground-laboratory-Image-1.jpg>

<https://geol-tech.com/wp-content/uploads/2019/09/geologija.png>

<https://www.researchgate.net/publication/351851068/figure/fig1/AS:1076482835255298@1633664916232/Regional-geophysics-and-local-engineering-system-domains.png>

Технологічні фактори

URL:

https://t4.ftcdn.net/jpg/02/14/56/75/360_F_214567514_hGbTMUq06pJIGKiXA248I43E3hU9Q08x.jpg

<https://www.agropro.in.ua/wp-content/uploads/2021/03/005.jpg>

https://indico.cern.ch/event/401223/contributions/958671/attachments/803601/1101338/II-1_Fabrice_Piquemal_4_EU_DULs_presentation.pdf

Природо-кліматичні фактори

URL:

<https://www.simscale.com/wp-content/uploads/2018/02/data-center-2.jpg>

https://www.araner.com/hs-fs/hubfs/Imported_Blog_Media/data-center-cooled-tes-tank.jpg?width=624&height=272&name=data-center-cooled-tes-tank.jpg

https://www.canadianminingjournal.com/wp-content/uploads/2020/12/MineKleen_Cave-300.jpg

<https://www.brentwoodradios.co.uk/wp-content/uploads/2015/08/Tunnel-Radios-.jpg.webp>

<https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/jFV3r29QEPbNNPpLDa3ky9-970-80.jpg.webp>

Рис. 2.3

Містобудівні фактори

URL:

<https://colliersengineering.com/wp-content/uploads/2022/01/Project-Profile-1-768x432.jpg>

http://koreabizwire.com/wp/wp-content/uploads/2017/06/0002370266_001_20170629162542488.jpg

<https://cdn.britannica.com/32/1532-004-5ABE54CC/caving-Sublevel-LHD-machine-ore-pass-waste.jpg>

<https://www.urbextour.com/wp-content/uploads/2018/07/service-line2-1024x680.jpg>

https://ukrainaincognita.com/wp-content/uploads/files/lavra_pech_12_17_2.jpg

<https://basementing.com/wp-content/uploads/2021/08/A-sectional-view-of-a-residential-building-with-a-view-of-the-basement-1024x683.jpg>

<https://colliersengineering.com/wp-content/uploads/2022/01/Project-Profile-1-768x432.jpg>

https://drawingmatter.org/wp-content/uploads/2020/09/adc_150_atom_001_2000.width-2000-1024x570.jpg

Конструктивні фактори

URL:

https://pbs.twimg.com/media/FWfO_iQX0AAAXDl.png

<https://smartcitystreets.com/wp-content/uploads/2021/05/Tunnel-Valik-Czech-Republic-min-1.png>

<https://www.visualdictionaryonline.com/images/transport-machinery/road-transport/road-tunnel.jpg>

<https://sourceable.net/wp-content/uploads/2021/11/Underground-construction.jpg>

https://emagazine.com/wp-content/uploads/2021/08/ricardo-gomez-angel-F2iCP_knaj8-unsplash.jpeg

https://indico.cern.ch/event/401223/contributions/958671/attachments/803601/1101338/II-1_Fabrice_Piquemal_4_EU_DULs_presentation.pdf

Рис. 2.4

Законодавчі фактори

URL:

<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/6ec85c4996b36c2589e55c8849579a9d94ad2176/5-Figure4-1.png>

https://www.gsd.harvard.edu/wp-content/uploads/2021/04/Saul-Kim_Sectional-Urbanism-scaled.jpg

Екологічні фактори

URL:

<https://news.cjn.cn/sywh/201609/W020160910256805507028.jpg>

https://static1.straitstimes.com.sg/s3fs-public/styles/large30x20/public/articles/2014/09/02/jurongrockc5e_2x.jpg?VersionId=uKq24PCriKPxI.SeR4ie2PT4jsAxFaV&itok=eR17JHna

<https://assets.technologynetworks.com/production/dynamic/images/content/334581/even-underground-the-impact-of-human-pollution-is-felt-334581-960x540.jpg?cb=10708280>

Архітектурно-планувальні фактори

URL:

<https://www.openaccessgovernment.org/wp-content/uploads/2023/11/iStock-1474600581.jpg>

https://debet.com.ua/sites/default/files/styles/compressor/1390x780/inline-images/factory_0.jpg?itok=Mmc42r2P

https://indico.cern.ch/event/401223/contributions/958671/attachments/803601/1101338/II-1_Fabrice_Piquemal_4_EU_DULs_presentation.pdf

Рис.2.5

Піктограми

URL: <https://svgsilh.com/svg/1494506.svg>

URL: <https://cdn3.vectorstock.com/i/1000x1000/48/07/astrophysics-glyph-icon-astronomy-branch-study-vector-29164807.jpg>

URL: <https://www.ischool.utexas.edu/sites/default/files/interdisciplinary-research-icon.png>

Приклади до класифікаційних схем Рис.2.5, 2.6, 2.7 – URL:
https://indico.cern.ch/event/401223/contributions/958671/attachments/803601/1101338/II-1_Fabrice_Piquemal_4_EU_DULs_presentation.pdf

Рис. 2.7

Піктограми

URL: https://www.clipartmax.com/png/small/184-1842442_nature-icons-2-300-free-files-in-png-eps-svg-format-plant.png

URL: https://www.flaticon.com/ru/free-icon/work-tools-cross_53063

URL: <https://icon-library.com/icon/geology-icon-14.html>

URL: https://www.pngitem.com/middle/wihhmw_economic-society-svg-png-economic-icon-png-transparent/

Рис. 2.8 – Рис. 2.12 – Авторські креслення та схеми

Джерела ілюстрацій до Розділу 3

Рис.3.1 – Рис.3.12 – Авторські креслення