



УДК 332.1:711.4(15)

## ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ В КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ВЕЛИКИХ МІСТ

Г.І. Гайко<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*KPI ім. Ігоря Сікорського*

\*Відповідальний автор: e-mail: [gayko.kpi@meta.ua](mailto:gayko.kpi@meta.ua), тел.050 921 94 59

## UNDERGROUND SPACE IN THE CONCEPT SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF LARGE CITIES

Hennadii Haiko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Igor Sikorski Kyiv Polytechnic Institute*

\* Viewed by the author: e-mail: [gayko.kpi@meta.ua](mailto:gayko.kpi@meta.ua), tel.050 921 94 59

### ABSTRACT

**Purpose.** Characterized the main features of the concept of sustainable development of large cities and their differences from the traditional approaches of urban development.

**Findings.** Conclusions are made regarding prospects and ways of development of underground space in the medium term.

**Originality.** The tasks of urban metropolitan urban development in accordance with the concept of sustainable development are outlined.

**Keywords:** *sustainable development, metropolis, underground urbanization, urban underground construction, systematic approach.*

### 1. ВСТУП

Прогресивною містобудівельною тенденцією в США та ЄС є реалізація моделі «компактного міста», а найбільш поширеним підходом до сучасного планування мегаполісів – забезпечення сталого розвитку, важливою складовою якої у великих містах є розвиток підземної урбаністики [1, 2]. Цей підхід передбачає здатність задовольняти нинішні потреби суспільства без шкоди і втрат для майбутніх поколінь. Підтримання та покращення якості життя й довгострокового екологічного балансу належать до найважливіших суспільних потреб, тому суттєвим аспектом сталого розвитку є здатність реагувати на можливі зміни навколишнього середовища й мінімізувати техногенні впливи [3 – 7].

Сталий міський розвиток враховує фактори економічної ефективності, функціональності, безпеки, довговічності та естетичних чинників міста в цілому. Дана концепція змінює масштаб багатьох інженерних проектів. Техніка сталого розвитку передбачає, що інженери повинні відійти від традиційного бачення локальних завдань і розглядати проекти в рамках значно більшої природно-технічної та соціальної системи. Необхідно передбачати функціональність і управління в рамках проекту протягом тривалого часу, можливо й поза строками служби запроектованих об'єктів. Це особливо актуально у відношенні до підземної інфраструктури, яка може використовуватися протягом

сторіч. Її вплив на суспільство може бути широко розповсюдженим і надзвичайно корисним, а відмова від неї – мати негативні наслідки для розвитку міста.

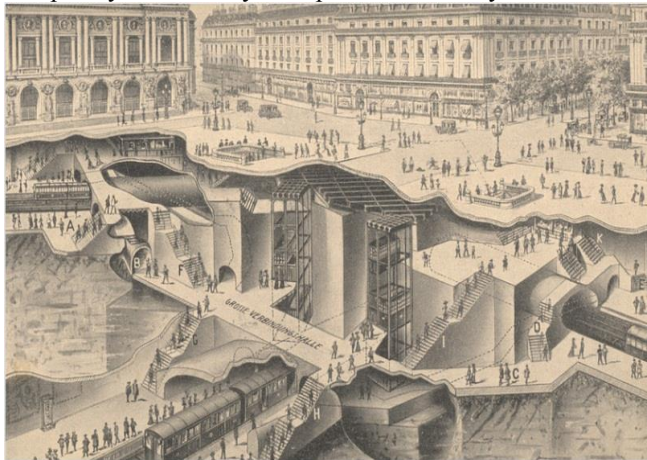
Підземний простір повинен забезпечити трьохмірну свободу пересування людей, матеріальних, водних і енергетичних ресурсів до малодоступних об'єктів у щільно забудованих районах міста (рис. 1). Мільйони людей покладаються на підземні комунікації, що надійно забезпечують зручність і комфорт. Таким чином, впровадження нової підземної інфраструктури стимулює й підтримує сталий розвиток міст, стає його невід'ємною частиною. При цьому добре спланована й правильно експлуатована підземна інфраструктура підвищує якість життя, енергетичну ефективність і екологічну безпеку більшою мірою, ніж аналогічна система на поверхні.

### 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для реалізації концепції сталого розвитку підземної урбаністики необхідне системне вирішення комплексу важливих задач [8 – 16]:

1. Треба покращити стратегічну координацію розвитку підземної інфраструктури, що вимагає створення формальної адміністративної підтримки розвитку підземної урбаністики. Створення відповідного адміністративного органу забезпечить скоординоване планування підземного простору міста, підготовку необхідних будівельних норм і правил;

дозволить збирання, архівування й доступ до відповідної інформації для оперативного прийняття рішень і виконання проектних робіт. Подібна координація може також призвести до покращення управління науково-дослідними інвестиціями, прискорить видачу дозвільних документів, забезпечить підтримку з боку держави й муніципальної



адміністрації. На рівні державного законодавства повинні бути розглянуті моделі власності на георесурси надр і прийняті рішення щодо форм приватної та муніципальної власності на об'єкти підземного простору.

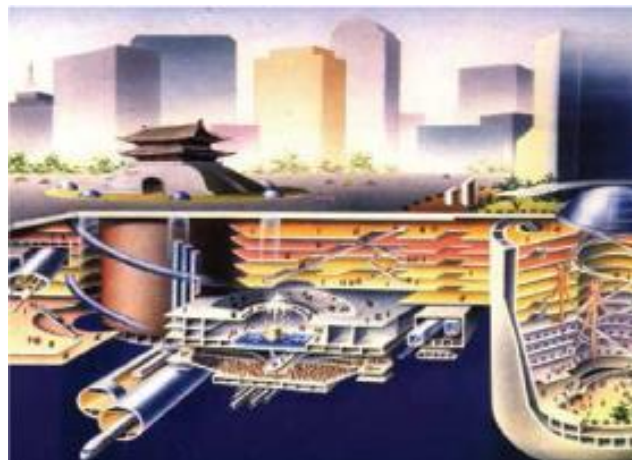


Рис. 1 - Проекти освоєння підземного простору початку XX і початку XXI ст. (транспортна складова проекту «підземного Токіо» вже збудована)

2. Необхідний розширений і скоординований зв'язок зацікавлених сторін (інвесторів, міських і державних адміністрацій, геобудівельних організацій, проектних, наукових і освітніх центрів) і створення спільного товариства з розвитку підземної урбаністики для довготривалої взаємодії та управління життєвим циклом підземних об'єктів. Потрібно більш глибоке розпізнавання взаємних залежностей між структурно-функціональними, економічними, технологічними й природничими факторами будівництва «підземного міста» та його взаємодії з наземною забудовою й інфраструктурою. Це потребує розробки концептуальних моделей складних взаємовпливів між урбаністичними системами (природне й інженерне середовище, людина та суспільство, будівельна техніка й технологія, транспорт тощо) для розуміння взаємодії систем, зменшення ризиків і ефективного управління в умовах розвитку технологій, соціальних умов і очікувань. Для даного аналізу варто розглядати нормальні й найгірші сценарії, оптимізуючи інтерфейси у відповідності до строків планувальних рішень.

Доцільно звернути увагу на ту обставину, що рішення про підземні інфраструктурні проекти часом приймаються групами з конкуруючими економічними й політичними інтересами. Розробка майстер-планів розвитку підземної урбаністики може зменшити гостроту конкурентних протистоянь, оскільки при плановому створенні великого «підземного міста» привабливих об'єктів вистачить для великої кількості інвесторів.

Забезпечення сталого розвитку міста потребує міждисциплінарних зусиль протягом усього життєвого циклу міської інфраструктури. Ефективність робіт збільшується коли інженери-проектувальники підземних комплексів розуміють складні соціальні й економічні фактори, а містобудівники мають

реалістичні очікування по відношенню до підземного простору. Врахування ризиків при екстремальних явищах (терористичні акти, військові дії, стихійні лиха, техногенні й екологічні катастрофи) може сприяти розширеному освоєнню підземного простору, менш вразливого до наслідків вказаних явищ. Тут слід передбачати й враховувати поведінку людини в умовах постійно змінного міського середовища і відповідним чином створювати умови для розуміння мешканцями підвищеної безпеки підземних споруд у різних некорисних обставинах.

3. Необхідно створити банк даних існуючих підземних споруд і організацій-власників та розробити спільні норми і правила моніторингу стану об'єктів і технічного обслуговування мереж підземних виробок для забезпечення надійності та безпеки їх функціонування. Оскільки окремі власники (організації) мають справу з підземними спорудами різного призначення (транспортні, енергетичні, суспільні, безпекові тощо), то для забезпечення координації й управління всією мережею підземних виробок необхідна незалежна моніторингова служба, яка б охоплювала усі без виключення типи підземних споруд.

4. Слід вдосконалювати наукові та освітні програми, які просувають прогресивні технології підземного будівництва, зокрема технології матеріалів, роботизовані технології будівництва, лазерні системи наведення, геоінформаційні системи, системи комп'ютерного аналізу та візуалізації підземних комплексів, які покращують можливості планування, проектування, моделювання та зниження ризиків. Освітні та наукові програми повинні взаємодіяти з практикою й досвідом підземного будівництва, причому слід активно залучати міжнародний досвід і технології, а також досягнення з інших галузей знань. Важливою складовою сталого розвитку підземної урбаністики є збереження кращих наукових і

виробничих колективів після завершення чергового об'єкту, тобто міське підземне будівництво повинно мати сталий плановий характер. Те саме стосується й безперервності фінансування наукових і освітніх програм, які повинні бути все більш міждисциплінарними. Цьому може сприяти розвиток міжуніверситетських консорціумів і міжвідомчих наукових центрів з освоєння підземного простору мегаполісів. Як показують спостереження, знання геобудівельних технологій випускники технічних університетів здебільшого отримують від своїх наставників під час виробничих практик або вже під час інженерної роботи в будівельних кампаніях. Така ситуація може задовольняти вимоги спорудження типових підземних об'єктів, проте обмежує доступ до наукової інформації й професійної майстерності для значних «особливих» об'єктів, яких будується все більше. Тому університетська магістратура повинна в своїх програмах надати можливість вивчення світового досвіду й технологічних досягнень на прикладі найбільш складних сучасних проектів.

5. Необхідно розробити підходи до оцінки потенціальних небезпек і ризиків освоєння підземного простору. Повна оцінка витрат та отриманих переваг повинні відбуватися на протязі життєвого циклу підземних об'єктів, тобто економічна оцінка повинна враховувати довгострокову перспективу, а також екологічні та соціальні аспекти розвитку міст. Сталий розвиток систем є пропорційним повноті інформації щодо об'єктивних переваг, недоліків, потенційних небезпек і ризиків об'єктів підземної інфраструктури та їх взаємодії в мегасистемі міста, що потребує розвинених систем прогнозування й моделювання систем високої складності, використання методів системного підходу. Задовільні моделі інтегрованих систем великих міст з урахуванням підземної урбаністики до сьогодні не розроблені.

6. Слід правильно враховувати людський фактор і можливість адаптації людини до умов підземного середовища. Воно може бути так само безпечним, привабливим, функціональним і здоровим як і простір на земній поверхні, а в деяких випадках, навіть більш надійним. Проте важко подолати психологічно негативне сприйняття «підземелля» частиною суспільства. Зміна негативної думки буде відбуватися з покращенням комфорту, зручностей, естетики та надійності підземних об'єктів у порівнянні з наземними, коли велика кількість людей об'єктивно визнає переваги й безпечність довготривалого перебування в підземному просторі.

Підтримання безпеки взаємодіючих підземних споруд різного призначення (наприклад метрополітен і сполученні з ним багатофункціональні комплекси) потребує вдосконалення систем протипожежного захисту, вентиляції, контролю стійкості споруд тощо. Розробка ефективних правил безпечної поведінки (не тільки на час будівництва, а й функціонування підземних споруд) повинна доповнювати інженерні рішення.

7. Слід розглядати підземний простір як цінний невідновлювальний георесурс мегаполісу. Він може активно сприяти сталому розвитку міста, якщо його осмислення, планування, будівництво та

використання базується на системних підходах, у довгостроковій перспективі й спільно з розвитком наземної урбаністики та захистом природного середовища. При цьому планування «підземного міста» повинно спиратися на районування території мегаполісу за сприятливістю підземному будівництву на основі геологічного моніторингу та з використанням геоінформаційних систем різного спрямування. Підземний простір не є альтернативою денній поверхні, проте значно сприяє сталому розвитку міст і має значний потенціал інфраструктурного забезпечення їх життєдіяльності. Політичні й адміністративні структури, наукова спільнота, суспільні організації повинні опрацювати й узгодити довгострокову концепцію розвитку підземної урбаністики, яка здатна виправдати очікування містян щодо комфортного мешкання в мегаполісах. Підтримка наукових досліджень, міжгалузевої освіти, професійних колективів геобудівельників та проектувальників підземної урбаністики забезпечить у відповідності з національними пріоритетами соціальний, економічно й екологічно привабливий розвиток сучасних великих міст.

### 3. ВИСНОВКИ

Світова практика містобудування свідчить, що одним з найбільш ефективних шляхів вирішення територіальних, транспортних, енергетичних, екологічних, водопостачальних і безпекових проблем мегаполісів є розвиток підземної урбаністики, тобто розширення в підземному просторі міста численних споруд господарчого, комунального, транспортного, а в окремих проектах і житлового призначення

Глобальна зацікавленість в освоєнні підземного простору значною мірою зумовлена позитивними якостями підземних споруд, що дозволяє зменшити витрати енергії на опалення та охолодження приміщень, скоротити експлуатаційні видатки в порівнянні зі спорудами на поверхні, суттєво знизити впливи кліматичних умов.

Здатність породного масиву надійно захищати людей від небезпечних зовнішніх впливів дозволила широко використовувати підземні споруди як захисні об'єкти від засобів масового ураження, стихійних лих та техногенних катастроф.

Основною сучасною тенденцією освоєння підземного простору є комплексний розвиток з утворенням великих підземних об'єктів (Монреаль, Торонто, Токіо, Осака), причому багатофункціональні підземні комплекси поєднуються мережею транспортно-пішохідних тунелів між собою й будинками на поверхні.

Планується й новий підхід – створення «хмарочосів – навпаки», де крім господарчих і структурних підземних об'єктів будуть мати місце житлові комплекси.

Іншою важливою тенденцією є зростання рівня планування та системності освоєння підземних територій, об'єднання їх у «підземне місто» (прикладі – Гельсінкі, Токіо та ін.), чому передує розробка стратегічних майстер-планів розвитку підземної урбаністики.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Underground Engineering for Sustainable Urban Development/ P.H. Gilbert and others. – Washington: The National Academies Press, 2013. – 230 p.
2. European Parliament resolution of 9 July 2008 on «Towards a new culture of urban mobility». <http://www.europarl.europa.eu/portal/en>
3. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции/ Б.А. Картозия// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 615 – 629.
4. Препотенська М. Homo Urbanus: феномен людини мегаполісу/ М. Препотенська. – Дніпропетровськ: Вид. Середняк Т.К., 2014. – 420 с.
5. Келемен Я. Город под землей/ Я. Келемен, З. Вайда/ Пер. с венг. Под ред. Г.Е. Голубева. – М.: Стройиздат, 1985. – 248 с.
6. Беляев В.Л. Основы подземного градоустройства. М. : МГСУ, 2012. 198 с.
7. Голубев Г.Е. Подземная урбанистика и город/ Г.Е. Голубев. – М.: МИКХиС, 2005. – 124 с.
8. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. № 6. P. 387–398.
9. Pankratova N. Problems of Megapolises Underground Space System Planning/ N.Pankratova, G. Gayko, V. Kravets, I. Savchenko// Journal of Automation and Information Sciences. – Tom 48. – 2016. – № 4. – P. 32-38.
10. Гайко Г.І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст/ Г.І. Гайко// Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Вип. 25. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 35 – 40.
11. Захарченко П.В. Прогноз розвитку інфраструктури Києва в короткотерміновій перспективі/ П.В. Захарченко, Г.І. Гайко// Перша міжнародна науково-практична конференція «Регіональна політика: законодавча політика і практична реалізація». – Київ: КНУБА, 2015. – С. 25 – 33.
12. Захарченко П.В. Реалізація перспектив проєктів підземної урбаністики на засадах співпраці державного та приватного секторів/ П.В. Захарченко, Г.І. Гайко// Третя міжнародна науково-практична конференція «Регіональна політика: історія, політико-правові засади, архітектура, урбаністика». – Київ: КНУБА, 2017. – С. 28 – 29.
13. Гайко Г.І. Мегаполіс як система наземної й підземної урбаністики/ Г.І. Гайко, В.П. Булгаков// Качество минерального сырья. – 2014. – С. 315 – 321.
14. Гайко Г.І. Транспортноорієнтована природничо-технічна геосистема «геоурбаністика – геологічне середовище»/ Г.І. Гайко, В.Г. Кравець, В.П. Булгаков, Ю.І. Гайко. – Вісник НТУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – Випуск 29. – С. 18-24.
15. Гайко Г.І. Типізація геологічного середовища урбанізованих територій при освоєнні підземного простору/ Г.І. Гайко, Т.В. Кріль// XIV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – Київ, 2015. – С. 173 – 180.
16. Кауфман Л.Л. Большие подземные полости: дизайн и строительство/ Л.Л. Кауфман, Б.А. Лышков. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 434 с.

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Підземний простір слід розглядати як цінний невідновлювальний георесурс мегаполісу. Він може активно сприяти сталому розвитку міста, якщо його осмислення, планування, будівництво та використання базується на системних підходах, у довгостроковій перспективі й спільно з розвитком наземної урбаністики та захистом природного середовища.

**Методика.** Охарактеризовані основні риси концепції сталого розвитку великих міст і їх відмінності від традиційних підходів містобудування.

**Результати.** Розроблені концепти, щодо перспектив і способів системного освоєння підземного простору мегаполісів у середньо- та довгостроковій перспективі.

**Практична значимість.** Парадигма сталого розвитку передбачає, що інженери й проєктувальники повинні відійти від традиційного бачення локальних завдань і розглядати проєкти в рамках значно більшої природничо-технічної та соціальної системи. Це особливо актуально по відношенню до підземної інфраструктури, яка повинна утворювати багатофункціональне «підземне місто».

**Наукова новизна.** Окреслені задачі системного розвитку підземної урбаністики мегаполісів у відповідності до концепції сталого розвитку міста.

**Ключові слова:** сталий розвиток, мегаполіс, підземна урбаністика, міське підземне будівництво, системний підхід.

## ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Подземное пространство следует рассматривать как ценный невозобновляемый георесурс мегаполиса. Он может активно содействовать устойчивому развитию города, если его осмысление, планирование, строительство и использование базируется на системных подходах, в долгосрочной перспективе и совместно с развитием наземной урбанистики и защитой природной среды.

**Методика.** Охарактеризованы основные черты концепции устойчивого развития крупных городов и их отличия от традиционных подходов градостроительства.

**Результаты.** Предложені концепты, раскрывающие перспективы и способы системного освоения подземного пространства в средне- и долгосрочной перспективе.

**Практическая значимость.** Парадигма устойчивого развития предполагает, что инженеры и проектировщики должны отойти от традиционного видения локальных задач и рассматривать проекты в рамках значительно большей естественно-технической и социальной системы. Это особенно актуально по отношению к подземной инфраструктуры, которая должна образовывать многофункциональное «подземный город».

**Научная новизна.** Обозначенные задачи развития подземной урбанистики мегаполисов в соответствии с концепцией устойчивого развития города.

**Ключевые слова:** *устойчивое развитие, мегаполис, подземная урбанистика, городское подземное строительство, системный подход.*

## ABOUT AUTHORS

Генадій Гайко, доктор технічних наук, доктор будівництва, професор, перекладач, член Донецького відділення Наукового товариства імені Шевченка, член-кореспондент Академії будівництва України по відділенню «Будівництво шахт, рудників і підземних споруд», E-mail: [gaiko.kpi@meta.ua](mailto:gaiko.kpi@meta.ua), тел.050 921 94 59.