

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ

Розглянуті техніко-економічні і екологічні аспекти використання підземного простору. Виконаний аналіз світового досвіду підземного будівництва, а також оцінка економічної ефективності використання різних об'єктів розташованих у геологічному середовищі в порівнянні з аналогічним об'єктом на поверхні.

Рассмотрены технико-экономические и экологические аспекты использования подземного пространства. Выполнен анализ мирового опыта подземного строительства, а также оценка экономической эффективности использования различных объектов расположенных в геологической среде по сравнению с аналогичным объектом на поверхности.

Considered techno-economic and environmental aspects of underground space. The analysis of world experience in underground construction, and to assess the economic efficiency of various objects located in a geological environment compared to the same object on the surface.

**Вступ.** Використання підземного простору для розміщення господарських об'єктів у великих містах базується на ретельній економічній проробці. Практикується переважно порівняльний економічний аналіз підземного підприємства і його поверхневого аналога. За існуючими рекомендаціями для цього слід враховувати комплексну економічну оцінку територій, що відводяться під будівництво (або економію в розмірах ділянки за рахунок підземного розміщення об'єктів), яка включає витрати на інженерну інфраструктуру; економічні наслідки від зміни характеру використання територій (у тому числі компенсацію вилучень земель, лісонасаджень, зон відпочинку тощо); витрати на охорону навколишнього природного середовища; соціальне-економічні фактори цінності територій. У необхідних випадках потрібно враховувати і стійкість порівняльних об'єктів до стихійного лиха і зовнішніх впливів.

Однак використання підземного простору у великих українських містах здійснюється неефективно. Основною причиною є недостатня методологічна забезпеченість і відпрацьованість економічного механізму оцінки ефективності освоєння підземних ресурсів.

**Постановка завдання.** В зв'язку з цим актуальною науковою задачею, що має важливе народногосподарське значення, є формування підходів і методів оцінки ефективності реалізації проектів освоєння підземного простору, що забезпечують рішення економічних, екологічних і соціальних задач. Метою статті є аналіз відомих даних та детальна оцінка економічної ефективності підземних об'єктів при їх розташуванні та експлуатації в існуючих або у спеціальних гірничих виробках.

**Викладання матеріалу та результати.** До цього часу, коли кризовий період в Україні не дає підстав визначити надійні техніко-економічні критерії для оцінки ефективності освоєння підземного простору, зупинимося на аналізі деяких оцінок зарубіжних фахівців стосовно проблеми, що розглядається [1-4].

За даними цих праць, питомі витрати на обладнання підземної камери (з розрахунку на 1 м<sup>2</sup> перерізу) менші більш як в 2 рази, ніж витрати на аналогіч-

ний об'єкт поверхні. У довоєнній Німеччині при використанні гірничих виробок вартість підземних заводів була в 2...2,5 рази нижчою за вартість наземних підприємств, а при спеціальному підземному будівництві – навпаки. Експлуатаційні витрати на підземних заводах оптичних і високоточних приладів значно нижчі, ніж до переведення їх в підземні умови. За даними шведських фахівців, рентабельність підземного будівництва і експлуатації заводів у скельних породах дуже висока.

Слід зазначити, що в цілому аналізовані оцінки досить суперечливі. Так, вартість заводу точного машинобудування в разі розміщення його в існуючих виробках становить 119 % вартості наземного аналога, а при спеціальному підземному будівництві – 114 %. Для хімічного заводу ці показники відповідно дорівнюють 134 і 160 %.

Техніко-економічні розрахунки довели, що в разі розміщення в існуючих гірничих виробках підприємств точного приладобудування капітальні та експлуатаційні витрати знаходяться на рівні витрат аналогічних наземних підприємств. При цьому вартість загальнобудівельних робіт зменшується в 2 рази. Це пов'язано головним чином зі збільшенням виходу придатної продукції і підвищенням її якості через відсутність вібрації в підземних цехах. Останнім часом спостерігається різке зменшення витрат на будівельно-монтажні роботи і термінів розміщення підприємств.

Висока економічна ефективність характерна для підземних гідроелектростанцій. Капітальні витрати на спорудження підземних ГЕС дорівнюють або (умови Швеції) нижчі, ніж при будівництві відкритих ГЕС, а експлуатаційні витрати нижчі. Також мають високу ефективність підземні газосховища (табл. 1).

Порівняльна економічна ефективність підземних і наземних сховищ рідкого палива наведена в табл. 2 (дані НДПромгазу).

Таблиця 1

Техніко-економічні показники підземних і наземних сховищ газу пропан-бутану місткістю 14 тис. м<sup>3</sup>

Тип сховища	Вартість, ум. од/м <sup>3</sup>	Витрати сталі, кг/ м <sup>3</sup>	Витрати праці, людино-год/м <sup>3</sup>
Стальні наземні резервуари високого тиску	143,8	317,5	9,08
Підземні ємності, вилужені в соляних відкладах	5,4	4,8	0,79
Підземне сховище в спеціально пройдених гірничих виробках	32,8	7,1	2,65

Питомі капіталовкладення на будівництво сховищ рідкого палива шахтного типу в існуючих гірничих виробках соляної шахти і гіпсового рудника в кілька разів нижчі від витрат на будівництво наземних і заглиблених сховищ. Підземні сховища, що частково використовують виробки і споруди ліквідованих шахт (стволів і наземного комплексу вугільної шахти та виробок-місткостей калійного рудника), економічніші за наземні і заглиблені аналоги в 1,7 раза.

## Капіталовкладення на будівництво сховищ рідкого палива

Тип сховища	Капіталовкладення, тис. ум. од.	Питомі капіталовкладення, ум. од./м <sup>3</sup>
Підземне сховище: місткістю 300 тис м <sup>3</sup> у спеціально пройдених виробках з використанням споруд ліквідованої вугільної шахти	4840	16,1
місткістю 100 тис м <sup>3</sup> у виробках калійного рудника	1786	17,9
місткістю 100 тис м <sup>3</sup> у виробках гіпсової шахти	519	5,2
місткістю 100 тис м <sup>3</sup> у виробках кам'яносоляної шахти	945	2,4
Сховища із заглиблених резервуарів	8500	28,4
Сховища з наземних сталєних резервуарів місткістю 300 тис м <sup>3</sup>	8300	27,2

Зарубіжні дані про економічну ефективність відрізняються від вітчизняних. Так, вартість нафтосховища, обладнаного у відпрацьованій вугільній шахті (США), становить, включаючи витрати на дослідження і придбання шахти, 15 % вартості наземного резервуарного парку, а експлуатаційні витрати виявилися в 50 разів менші. За французькими даними, вартість пристосування залізородної шахти поблизу м. Канн під сховище дизельного палива виявилася в 2 рази менша, ніж вартість будівництва наземного складу. Експлуатаційні витрати у французьких підземних сховищах майже в 2 рази менші, ніж у наземних.

У північних країнах (Швеція, Норвегія, Фінляндія), що нагромадили великий досвід підземного будівництва в скельних породах, вартість підземного сховища місткістю понад 30...40 тис. м<sup>3</sup> становить у середньому 40...60% вартості наземного парку металевих резервуарів, а експлуатаційні витрати – 2 %. Наприклад, для підземних сховищ бензину становлять (на 1 м<sup>3</sup>) 1,4 дол. США, а для наземних сталєних резервуарів – 3,9 дол. США.

Вітчизняний досвід свідчить про високу техніко-економічну ефективність підземних холодильників, охолоджуваних фрукто- і овочесховищ, продовольчих складів. У колишньому СРСР великий підземний розподільний холодильник для зберігання заморожених і охолоджених продуктів успішно функціонував понад 15 років. Питомі капіталовкладення на 1 т умовної місткості були визначені під час будівництва на 24 % нижче за нормативні. Показники експлуатаційної діяльності цього холодильника вищі, ніж у розташованого в тому ж районі наземного холодильника місткістю 17 тис. т відношення витрат обігу до наведеного вантажообігу відповідно 2,34 і 3,05 %. Витрати на капітальний і поточний ремонт у підземному холодильнику також менші.

Економічна ефективність розміщення холодильників в існуючих гірничих виробках вапнякових і гіпсових шахт підтверджується багатьма проробками, в яких кошторисна вартість будівництва визначена на 25...50 % нижче за наземні

аналоги. Для підземних споруд значно менші потреби в дефіцитних будівельних матеріалах. Так, у разі розміщення підземного холодильника місткістю 10 тис. т у гіпсових виробках економія конструктивного і ніздрюватого бетону може досягти 8 тис. м<sup>3</sup>, мінераловатної пробки - 2,8 тис. м. На будівництві підземного охолоджуваного овочесховища під Кишиневом було витрачено цементу у 8, металу в 70, збірного залізобетону в 50 разів менше, ніж на будівництві наземного.

Оцінка економічної ефективності продовольчих складів, що експлуатуються в нерегульованих волого-температурних умовах, утруднена, хоч вартість їх розміщення в гірничих виробках набагато нижча за нормативну. Обмеженість асортименту продукції, що зберігається, недостатній технічний рівень інженерного забезпечення складів не дають можливості порівняти їх з наземними продовольчими складами.

Проектні проробки розміщення в гірничих виробках різноманітних складів продукції легкої промисловості і складів мінеральних добрив, обладнання, медикаментів тощо також показали їх економічну перевагу перед наземними складами.

Зарубіжні дані стосовно об'єктів складського призначення також вказують на економічну доцільність будівництва підземних складів, особливо комплексних, що призначені для зберігання різних продуктів і товарів та мають камери з різними волого-температурними режимами.

Складські приміщення різноманітного призначення були обладнані в гірничих виробках під час війни в Німеччині. Середня вартість 1 м<sup>3</sup> цих складів була в 2...3,5 рази менша, ніж у наземних.

Американські фахівці пояснюють тенденцію до збільшення кількості підземних складів продовольчої та промислової продукції їх високою економічною ефективністю. У США доведено, що капітальні витрати на будівництво підземних холодильників в існуючих гірничих виробках на 40...50% менші, ніж в наземних. Наприклад, витрати, що припадають на 1 м<sup>3</sup> охолоджуваного об'єму в холодильниках у районі м. Канзас-Сіті, становлять 13,3...17,7 дол. США, що на 40 % менше від витрат у наземних холодильниках аналогічного об'єму. Важливим є і те, що період розміщення складського об'єкта в гірничих виробках може бути доведений до 30 днів.

Будівництво складів у гірничих виробках, що проводяться спеціально, також економічно виправдане. Наприклад, вартість товарного складу з холодильником в Осло становить 2,22 млн. дол. США, тобто вартість 1 м<sup>3</sup> виробки з врахуванням вартості штолень і холодильного устаткування дорівнює 13 дол. США. Вартість будівництва цього холодильника також нижча, ніж вартість будівництва наземного холодильника, і становить (без вартості холодильного устаткування і його монтажу) 107 дол. США на 1 м<sup>2</sup> складської площі.

Дешевше обходиться за рубежем і експлуатація підземних складів. Так, вартість зберігання продуктів у холодильнику в м. Канзас-Сіті на 30...50 % менша, ніж у наземних холодильниках. Серед основних причин відзначаються незначні витрати на підтримання і ремонт гірничих виробок порівняно із витратами на ремонт і пофарбування будівель у наземних холодильниках; страхові внески на випадок пожеж у кілька разів менші, ніж для наземних холодильників; невелика плата за землю; в три, а при застосуванні кондиціонування в два

рази менші витрати на підтримання необхідних температурних режимів порівняно з наземними холодильниками.

Вартість спеціального будівництва підземних резервуарів для зберігання питної води і очищення стічних вод виявилася такою самою, як в наземних спорудах.

На думку американських фахівців, виділення і зіставлення окремих статей витрат при порівнянні різних варіантів будівництва важко здійсненне. Всі витрати повинні розраховуватися для конкретної ділянки, на якій планується розміщення підприємства.

Для визначення порівняльної економічної ефективності підземних і наземних підприємств доцільно враховувати зменшення витрат у підземному варіанті деяких дефіцитних конструктивних і теплогідроізоляційних матеріалів.

Велику роль при оцінці ефективності підземного варіанта будівництва може грати грошова оцінка землі. Відомо, що в цьому випадку площа земельного відведення зменшується в кілька разів. На сьогодні немає єдиної точки зору на принципові положення стосовно визначення відносної та абсолютної вартості землі [5].

За рубежем вартість землі є могутнім стимулятором підземного промислового будівництва, оскільки земля дорого коштує. Наприклад, на будівництво доріг в США щороку витрачається майже 16 млрд. дол. США, з яких 60...70 % припадає на оплату земельних ділянок.

**Висновки і напрями подальших досліджень.** Наведені дані дають змогу зробити висновок про високу економічну ефективність підземних об'єктів. Капітальні витрати в разі розміщення цих об'єктів в існуючих гірничих виробках, як правило, нижчі, а у разі спеціального підземного будівництва в стійких гірничих породах, що не вимагають будівництва несучих кріплень, порівняні з вартістю наземних підприємств. Експлуатаційні витрати в підземних складах і сховищах у тій чи іншій мірі нижчі, а на складних виробничих підприємствах не перевищують витрат на експлуатацію наземних підприємств.

Слід зазначити, що до цього часу не розроблена методика визначення додаткових витрат на підготовку виробок за заданими параметрами і цільову відробку родовищ для подальшого їх використання. Розроблення такої методики – основне завдання майбутніх досліджень.

#### Список літератури

1. Пустовойтенко В.П. Освоение подземного пространства – важнейшая задача развития крупных городов Украины// Междунар. конф. «Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов»: тез. докл. – Днепропетровск, 1996. – С. 3-13.
2. Зильберборд А.Ф., Горская Г.С., Инженерно-геологические предпосылки использования подземных полостей для хранения продовольствия. – М.: ВНИИГГ, 1970. – 80 с.
3. Папернов М.М., Зильберборг А.Ф. Производственные и складские объекты в горах выработки. М.: Стройиздат, 1980. – 123 с.
4. Мостков В.М. Подземные гидротехнические сооружения. М.: Стройиздат, 1985. – 143 с.
5. Умнов В.А. Экономическая оценка и рациональное использование ресурсов подземного пространства. – М: МГУ. – 1999. – 204 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Роєнком А.М.  
Надійшла до редакції 23.03.10*