

Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper

Gennadiy Haiko¹, Petro Zakharchenko²

¹ NTUU Kyiv Polytechnic Institute,
37, Prosp. Peremohy, Kyiv, Ukraine, 03056
gayko.kpi@meta.ua
orcid.org/0000-0002-4263-5958

² Kyiv National University of Construction
and Architecture,
31, Povitroflotsky Avenue, Kyiv, Ukraine, 03037
tkd362@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4701-7929

Summary. A brief history of the construction of tunnel junctions of large rivers, in particular – attempts to tunnel junction Dnieper. The author analyzed the proposal to hold an underground sewer and road tunnels under the Dnieper. A comparative analysis of the bridge and tunnel junction Dnieper highway ring around Kyiv. Reported benefits of tunnel construction.

Key words: underwater tunnel, tunnelling shield, the benefits of the tunnel, ring expressway, feasibility study.

HISTORICAL REVIEW

Joining of river banks and bays by tunnel passages has a long history. The oldest underwater tunnel that reached our time, has more than two and a half millennia and joins banks of Euphrates between the palace of King Nebuchadnezzar II and the main temple of Babylon. New underwater tunnels' history dates back to 1818, when British engineer of French origin Marc Brunel received a patent for the invention of the tunneling shield, whereby in 1825 under the Thames began construction of the first underwater tunnel in soft rock.

Перспективи будівництва тунельних переходів Дніпра

Геннадій Гайко¹, Петро Захарченко²

¹ НТУУ Київський політехнічний інститут
просп. Перемоги, 37, Київ, Україна, 03056
gayko.kpi@meta.ua
orcid.org/0000-0002-4263-5958

² Київський національний університет
будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп, 31, Київ, Україна, 03037
tkd362@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4701-7929

Анотація. Представлено стислу історію будівництва тунельних переходів великих річок, зокрема – спроби тунельного переходу Дніпра. Проаналізовано авторські пропозиції щодо проведення підземного дюкеру та автомобільних тунелів під Дніпром. Проведено порівняльний аналіз мостового й тунельного переходу Дніпра кільцевою магістраллю навколо Києва. Відзначено переваги тунельного будівництва.

Ключові слова: підводний тунель, прохідницький щит, переваги тунелю, кільцева автомагістраль, техніко-економічний аналіз.

ІСТОРИЧНИЙ ЕКСКУРС

Поєднання берегів річок і заток тунельними переходами має давню історію. Найдавніший підводний тунель, що дійшов до нашого часу, налічує більше двох з половиною тисяч років і поєднує береги Навуходоносора II і головним храмом Вавилону. Нова історія підводних тунелів бере початок з 1818 р., коли англійський інженер французького походження Марк Брюннель отримав патент на винахід прохідницького щита, за допомоги якого 1825 р. під Темзою було розпочато спорудження першого підводного тунелю в м'яких породах.

In 1933 the monograph «Underwater tunnels» was published for the first time in the former USSR authored by prof. O. M. Passek [1]. A prominent scientist, head of "Tunnels" department in Leningrad Institute of Railway Engineers began his book by phrase: «there are still no underwater tunnels in the Union». Then the author mentioned the history of underwater tunnels construction in the world and revealed foreign experience in the first quarter of the twentieth century, arguing that «abroad tunnel passages under water became commonplace» and «at the present (1933!) tunnel technology development there is no such soil or soil combinations in which it would be impossible to lay underwater tunnel».

Among the obvious advantages of underwater tunnels compared with bridges the convenience of river navigation should be noted, as the riverbed is not overburdened by bridge pillars; the opportunity to conduct construction work during the year (without seasonal downtime of bridge construction) that provides a competitive rate of tunnels construction; best nature trails deep underground laying that pass under rivers; possibility of cleaning automobile tunnels' input air, which improves the ecology of environment; significant advantages in safety of water areas strategic underground passage in cases of military events [2, 3].

The last argument was decisive for the first attempts of tunnels under the Dnieper. In 1936 the Kiev fortified area construction was completing, but Darnytskyi and Podolsky bridges remained weak point of the defense system. It was decided to duplicate passage through the Dnieper by underwater tunnels (the idea attributed to the first secretary of the USSR N. Khrushchev, who the day before was responsible for the construction of the Moscow metro and was familiar with the possibilities of underground facilities).

Two tunnels were laid in great secrecy – North (Obolon) and south (Osokorki). Trails were divided into sections (called "titles") with a total length of about 6.5 km, construction of which was carried out by engineering parts of the Red Army and trust «Hidroshlyahbud» (there were about 20 thousand people). Con-

1933 року вперше у колишньому СРСР вийшла монографія «Подводные тоннели» за авторством проф. О.М. Пассека [1]. Видатний вчений, завідувач кафедри «Тунелі» Ленінградського інституту інженерів шляхів сполучення розпочав свою книгу промовистою фразою: «Підводних тунелів у Союзі поки що немає жодного». Далі автор торкнувся історії будівництва підводних тунелів у світі й детально розкрив зарубіжний досвід першої чверті XX ст., стверджуючи, що «за кордоном тунельні переходи під водними просторами стали буденним явищем» і «при сучасному (1933 р.!) розвитку тунельної техніки немає такого ґрунту або комбінації ґрунтів, у яких було б неможливо прокласти підводний тунель».

Серед очевидних переваг підводних тунелів у порівнянні з мостами слід відзначити зручності річкового судноплавства, оскільки русло ріки не захащується мостовими опорами; можливість вести будівельні роботи протягом року (без сезонних простоїв мостового будівництва), що забезпечує конкурентні швидкості проведення тунелів; оптимальний характер трас метрополітенів глибокого закладання, які проходять під річками; можливості очищення вихідного повітря автомобільних тунелів, що покращує екологічний стан довкілля; значні переваги в безпеці стратегічного підземного переходу водних просторів у разі військових подій [2, 3].

Останній аргумент був вирішальним для перших спроб проведення тунелів під Дніпром. 1936 року завершувалось будівництво Київського укріпленого району, проте Подільський і Дарницький мости залишалися слабкою ланкою оборонної системи. Було вирішено продублювати перехід через Дніпро підводними тунелями (цю ідею приписують тодішньому першому секретареві ЦК КП(б)У Микиті Хрущову, який напередодні відповідав за будівництво московського метрополітену й був обізнаний з можливостями підземних споруд).

У великій секретності були закладені два тунелі – північний (Оболонь) та південний (Осокорки). Траси були поділені на ділянки (так звані «титули») загальною довжиною близько 6,5 км, будівництво яких здійснювали інженерні частини Червоної Армії та трест «Гідрошляхбуд» (працювало близько 20 тис.

struction was conducted by coffering method. Simultaneously dozens of compressor stations for air supply were under construction, numerous transformer substations and concrete plants, which were mounted in the road vicinity to reduce the distance for transporting of heavy concrete sections. However, by June 1941 only a few hundred meters of underground path was built. After the war, the project was not updated [4].

Another possibility of creating a tunnel passage under the Dnieper could be construction of the metro in Kiev (opened in 1960). The majority of subway in the world have multiple tunnel passages under rivers, but Kyiv relief features and evolution level of underground construction at that time in Ukraine led to the selection of a bridge passages between the right and left banks of the Dnieper [5]. But perspectives of Kyiv subway development do not include possibilities to joint Dnieper banks by subway tunnel.

UNDERGROUND SEWER

One of the largest infrastructure projects recently received funding from the Japanese government - reconstruction of the Bortnichi aeration station. The proposal of sewage transportation from the right bank to the left bank by environmentally safe underground aqueducts which would have continued by underground collector to Bortnichi station was suggested by the authors [3]. Aqueducts can be passed by shield method and give a lot of valuable information for the further development of tunnel construction under the Dnieper. With the support of the Kyiv administration, this proposal is submitted to the General Plan of Kyiv development.

ROAD TUNNELS

A new and extremely important area of Kyiv transport infrastructure development can be extended road tunnels, which should greatly relieve street transport network, promote environmental safety and preservation of historic buildings [6 – 8]. According to the Master plan

осіб). Будівництво вели кессоним способом. Одночасно споруджували десятки компресорних станцій для подавання повітря, численні трансформаторні підстанції, а також бетонні заводи, які монтували в безпосередній близькості від траси, щоб скоротити відстані для транспортування важких бетонних секцій. Проте до червня 1941 р. було споруджено лише кількасот метрів підземного шляху. Після війни проект не оновлювали [4].

Ще однією можливістю створення тунельного переходу під Дніпром могло стати будівництво київського метрополітену (відкритий 1960 р.). Переважна більшість метрополітенів світу мають по декілька тунельних переходів під річками, але особливості рельєфу Києва й рівень тогочасного розвитку підземного будівництва в Україні сприяли вибору мостового переходу між правим і лівим берегами Дніпра [5]. Проте перспективи розвитку київського метрополітену не виключають можливості поєднання берегів Дніпра метротунелем.

ПІДЗЕМНИЙ ДЮКЕР

Один з наймасштабніших інфраструктурних проектів останнього часу, який отримав фінансування від уряду Японії – це реконструкція Бортницької станції аерації. Авторами була внесена пропозиція транспортування стічних вод з правого на лівий берег екологічно безпечним підземним дюкером [6], який би продовжувався підземним колектором до Бортницької станції. Дюкер може бути пройдений щитовим способом і дати багато цінної інформації для подальшого розвитку тунельного будівництва під Дніпром. За підтримки КМДА ця пропозиція вноситься до Генерального плану розвитку Києва.

АВТОМОБІЛЬНІ ТУНЕЛІ

Новим і вкрай важливим напрямком розвитку транспортної інфраструктури Києва можуть стати протяжні автомобільні тунелі, які повинні значною мірою розвантажити вуличну транспортну мережу, сприяти екологічній безпеці та збереженню історичної забудови середмістя

of Kyiv development the number of road tunnels is eight, three of them will be under the Dnieper, five will connect transport arteries of the city within the right bank.

However, the most promising, and perhaps historically the first tunnel under the Dnieper may be south passage of the ring road around Kyiv near city Ukrainka. The project of the first stage of the ring road construction around Kyiv provides erection of the southern bridge through the river Dnieper, the length of the bridge is 4510 meters, cost – about 10 billion UAH in prices of 2009 (\$ 1,25 billion) [9].

However, the decision remains to be debatable in expert community. It is connected with environmental problem, caused by ring road cars flow in a small town, and by necessity of private lands' considerable amounts alienation for the road construction. Car tunnels can solve these problems and optimize ring road south passage [10]. The cornerstone issues are economic indicators of the tunnel passage under the Dnieper.

Below we will try to compare predictive costs of bridge and tunnel passage through the Dnieper. More subzero done comparison of prognosis cost of bridge and tunnel transition is through Dnepr.

ANALYSIS OF OPTIONS

Difficulty of the feasibility study at this stage is caused by the lack of comprehensive geological survey on the future tunnels way, what make it impossible to provide accurate calculations of technological and design parameters. However, international and Ukrainian experience in tunnels construction allows to define such facilities' probable cost and use this information to analyze as a first approximation.

A great variety of types, sizes, design solutions, methods, speed of construction, geological conditions of tunnels outline their cost in a very wide range. Analysis of the transport tunnels construction in the European Union countries over the past two decades shows that it

[6 – 8]. У відповідності до Генерального плану розвитку Києва кількість автомобільних тунелів складає вісім, причому три з них пройдуть під Дніпром, а п'ять будуть з'єднувати транспортні артерії міста в межах правого берега.

Проте найбільш перспективним, а можливо й історично першим тунелем під Дніпром може стати південний перехід кільцевої дороги навколо Києва в районі м. Українка. Проектом будівництва першої черги кільцевої дороги навколо Києва передбачено спорудження південного мостового переходу через р. Дніпро, причому довжина мосту складає 4510 м, а вартість – близько 10 млрд. грн. в цінах 2009 р. (тобто \$1,25 млрд.) [9].

Проте в експертному середовищі це рішення залишається дискусійним. Це пов'язано з екологічною проблемою, зумовленою потоком машин кільцевої магістралі в невеличкому місті, а також необхідністю відчуження значних обсягів приватних земель для будівництва траси та, можливо, утворення штучного острова [10]. Вирішити ці проблеми й значною мірою оптимізувати трасу південного переходу кільцевої магістралі можуть автомобільні тунелі.

Наріжним каменем питання є економічні показники тунельного переходу під Дніпром. Нижче зроблене порівняння прогностичної вартості мостового й тунельного переходу через Дніпро.

АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ

Складність техніко-економічного обґрунтування на даному етапі зумовлена відсутністю комплексних інженерно-геологічних пошукувань на трасі майбутніх тунелів, що унеможливає точні розрахунки їх технологічних і конструктивних параметрів. Проте світовий і український досвід спорудження тунелів дозволяє окреслити певний діапазон імовірної вартості подібних споруд і використовувати цю інформацію для аналізу в першому наближенні.

Велике розмаїття типів, розмірів, конструктивних рішень, способів і швидкостей спорудження, а також геологічних умов будівництва та експлуатації тунелів окреслюють їх вартість у вельми широкому діапазоні. Аналіз будівництва транспортних тунелів у країнах Європей-

was within the range of \$ 30...150 million per 1 km of tunnel [11]. Underwater tunnels were not exception and did not go beyond this range. In Japan, 1 km of the largest underwater tunnel in the world (Seikan) cost \$ 68 million, 1 km of Eurotunnel's one transport branch cost about \$ 120 million.

The cost of tunnels construction in Ukraine never exaggerated the average value of a specified range. For example, the cost of one of the biggest transport projects - Beskid tunnel which is under construction on the Lviv Railways, is at a length of 1822 m and width of 10,5 m – \$ 104 million. The project is the first stage of Kiev subway construction to Troieschyna residential area, which includes in addition to tunnels length of 5,9 km has five stations estimated at \$ 200 mln., that is 1 km tunnel, along with the station will cost about \$ 34 mln. Analysis of the other numerical data from various countries shows that even in difficult geological conditions railway tunnels construction costs in most cases does not exceed \$ 100 mln per 1 km (usually in the range of \$ 30...60 mln).

It is worth to pay attention to the fact that materials' and construction works' cost for tunnel construction, transport and ventilation installation (even with the overhead costs) is several times lower than the total cost of the tunnel. It is explained by high spendings on excavation works in the natural (soil) array and on tunnel equipment purchase and depreciation. In some cases, new tunneling shields are being bought for a long tunnels carrying out, the cost of which is an essential part of the project cost.

These data allows to argue with high probability that the estimate of the tunnel construction under the Dnieper will not go beyond \$ 100 mln per 1 km. Even if we will orient on this threshold, the total cost of two tunnels with one-way traffic will be $4,51 \times 100 \times 2 = 902$ mln UAH. Compared with a project option for the bridge it will save about \$ 350 mln.

ського Союзу за останні два десятиріччя свідчить, що цей діапазон знаходився в межах \$ 20...150 млн. за 1 км тунелю [11]. Підводні тунелі не стали винятком і також не виходять за межі цього діапазону. В Японії 1 км найбільшого підводного тунелю світу Сейкан обійшовся у \$ 68 млн., 1 км однієї транспортної гілки Євротунелю коштував близько \$ 120 млн.

Кошт спорудження тунелів в Україні ніколи не перебільшував середнього значення цього діапазону. Наприклад, вартість одного з найбільших транспортних проектів – Бескидського тунелю, який споруджується зараз на Львівській залізниці, складає при довжині 1822 м і ширині 10,5 м – \$ 104 млн. (тобто 1 км тунелю разом з порталом коштує близько \$ 57 млн.). Проект першої черги будівництва київського метрополітену до житлового масиву Троєщина, який включає крім перегінних тунелів протяжністю 5,9 км ще п'ять станцій оцінений у \$ 200 млн., тобто 1 км тунелю разом із станцією буде коштувати близько \$ 34 млн. Аналіз інших численних даних з різних країн свідчить, що навіть у складних геологічних умовах кошт будівництва автомобільних і залізничних тунелів у більшості випадків не перебільшує \$ 100 млн. за 1 км (здебільшого лежить у межах \$ 30...60 млн.).

Варто звернути увагу на ту обставину, що вартість матеріалів і будівельно-монтажних робіт зі спорудження оправи тунелю, транспортного й вентиляційного облаштування (навіть з урахуванням накладних витрат) виявляється в декілька разів меншою, ніж загальна вартість тунелю. Це пояснюється значними витратами на проведення виробки в породному (грунтовому) масиві та високими витратами на придбання та амортизацію прохідницького обладнання. У деяких випадках для проведення протяжного тунелю замовляють нові прохідницькі щити, вартість яких складає суттєву частину вартості проекту.

Наведені дані дозволяють з великим ступенем імовірності стверджувати, що кошторис будівництва тунелю під Дніпром не вийде за межі \$ 100 млн. за 1 км. Навіть якщо орієнтуватися на цей граничний показник, то загальна вартість двох тунелів з одnobічним рухом складе $4,51 \times 100 \times 2 = 902$ млн. грн. У порівнян-

Also, the tunnel option provides greater durability and reliability of structures, and in case of increasing the length of the tunnel may pass under the city Ukrainka than completely solve the environmental problem, associated with the presence of a ring road in a small town, and will save private land for the road construction. There is also important fact that the tunnel passage as a strategic object is much safer and reliable in military situation than vulnerable bridge that can enhance the defense capability of the Kiev region. Thus it seems to be reasonable to provide preliminary geotechnical expertise and survey for bridge and tunnel construction options of southern ring road passage across the Dnieper. Chances to start underwater tunnels construction in this project – are extremely high (Fig. 1).

ні із проектним варіантом мостового переходу це дасть економію близько \$ 350 млн.

Крім того, тунельний варіант забезпечить більшу довговічність і надійність споруди, а в разі збільшення протяжності тунелю, може пройти під м. Українка, чим повністю вирішить екологічну проблему, пов'язану з присутністю кільцевої магістралі в невеличкому місті, а також позбавить необхідності відчуження приватних земель для будівництва траси. Важливою є й та обставина, що тунельний перехід як стратегічний об'єкт є значно безпечнішим і надійним у військовій ситуації, ніж уразливий міст, що може сприяти підвищенню обороноздатності київського району. З огляду на це доцільним було б проведення попередніх інженерно-геологічних пошукувань і експертизи мостового й тунельного варіантів спорудження південного переходу кільцевої дороги через Дніпро. Шанси розпочати будівництво підводних тунелів саме в цьому проекті – надзвичайно високі (Рис. 1).

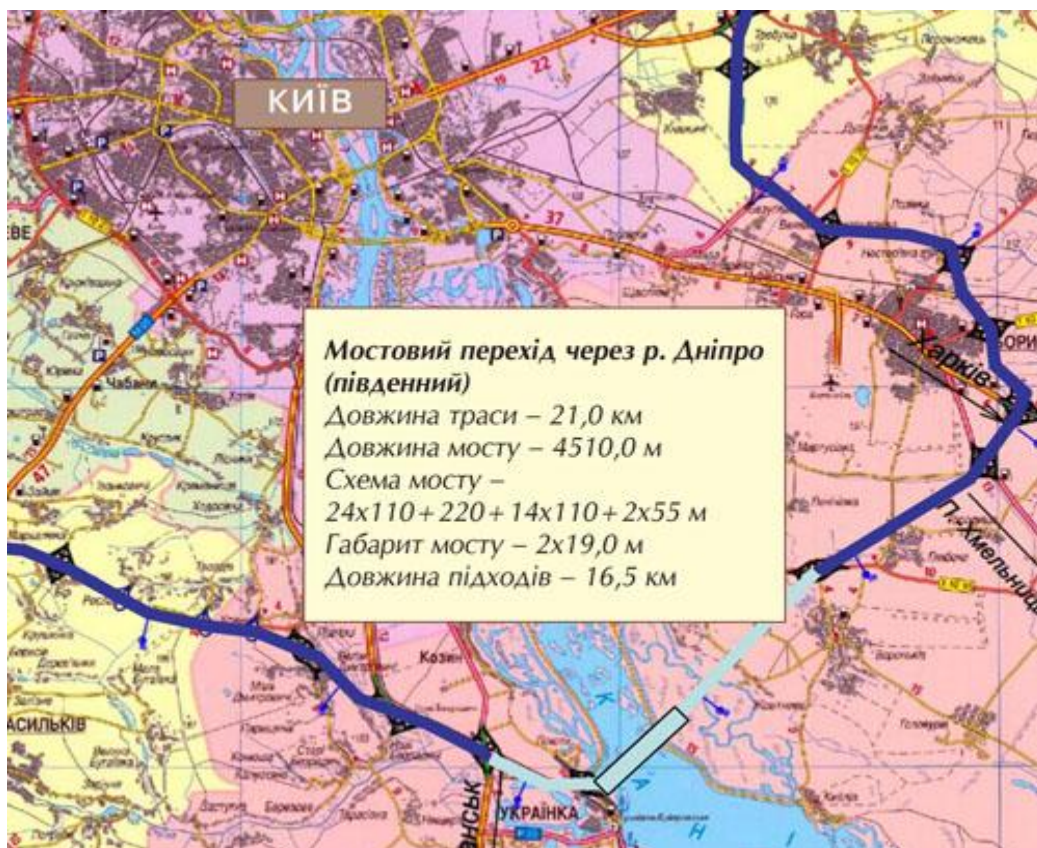


Fig. 1. The project south bridge across the Dnieper River highway ring – Track the first underwater tunnel in Ukraine

Рис. 1. Проект південного мостового переходу через річку Дніпро кільцевою магістраллю – траса ймовірного будівництва першого підводного тунелю України

CONCLUSIONS

It should be noted the importance of a systematic approach for Kyiv underground space planning development and underwater tunnels under the Dnieper [12 – 14]. If the construction approach of such buildings is complex (Kyiv road tunnels, subway, underground aqueducts, etc.), the combination of geoinformation, accumulated experience, panel assemblies, technology, production and supply of building materials – can dramatically reduce the total cost of underground construction, improve the quality and efficiency of tunnelling.

Prof. Alexander Passek explained [1] the inhibition of underwater tunneling development (including developed before The World War I project of tunnel passage through Volga river in Nizhny Novgorod region) by effects of «conservative engineering and powerful trading companies that had large reserves of bridge equipment». Since the book of prof. O.M. Passek was published more than 80 years left, but the first phrase «there are still no underwater tunnels in the Union» replacing "Union" to the «Ukraine» unfortunately remains actual. Moreover, even some of the reasons for this situation are still the same. Let's hope that on the occasion of the 200th anniversary of the first underwater shield tunnel (2025) Ukraine will demonstrate to Ukrainians and world its first underwater tunnel.

REFERENCES

1. **Passek A.N., 1933.** Underwater tunnels. Moscow, Transzheldorizdat, 220 (in Russian).
2. **Samedov A.M., Kravets V.G., 2011.** Construction of urban underground structures. Kyiv, NTU KPI, 400 (in Ukrainian).
3. **Lysikov B.A., Kaplyuhin A.A., 2005.** The use of underground space. Donetsk, Nord-Press, 348 (in Russian).
4. **Iyevleva V., 2008.** Sights industrial development of Kyiv. Kyiv, Press KIT, 248 (in Ukrainian).
5. **Kozlov K.P., 2011.** Kyiv Metro: Timeline. Events. Facts. Kyiv, 256 (in Ukrainian).

ВИСНОВКИ

Слід зазначити важливість системного підходу до планування розвитку підземного простору Києва й підводних тунелів під Дніпром [12 – 14]. Якщо підходити до будівництва таких споруд як до комплексу (автомобільні тунелі Києва, метротунель, підземний дюкер, тунель на кільцевій автомагістралі тощо), то поєднання геоінформації, напрацьованого досвіду, щитових агрегатів, технологій, виробництва й постачання будівельних матеріалів – зможуть кардинально зменшити витрати на підземне будівництво зазначених об'єктів, підвищити якість і ефективність прохідницьких робіт.

Проф. Олександр Пассек у згадуваній роботі [1] пояснював гальмування розвитку підводного тунелярства (зокрема розробленого перед Першою світовою війною проекту тунельного переходу р. Волга в районі Нижнього Новгорода) впливами «консервативно налаштованого інженерства й потужних торгових фірм, що мали великі запаси мостового обладнання». З часу виходу книги проф. О.М. Пассека пройшло понад 80 років, але перша її фраза «Підводних тунелів у Союзі поки що немає жодного» з заміною «Союзу» на «Україну» залишається, нажаль, актуальною. Більше того, навіть деякі причини цього становища співпадають. Будемо сподіватися, що з нагоди 200-річчя першого підводного щитового тунелю (2025 р.) Україна зможе продемонструвати українцям і світові свій перший підводний тунель.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Пассек А.Н., 1933.** Подводные тоннели. Москва, Трансжелдориздат, 220.
2. **Самедов А.М., Кравець В.Г., 2011.** Будівництво міських підземних споруд. Київ, НТУУ КПІ, 400.
3. **Лысиков Б.А., Каплюхин А.А., 2005.** Использование подземного пространства. Донецк, Норд-Пресс, 348.
4. **Ієвлева В. 2008.** Пам'ятки індустріального розвитку Києва. Київ, Прес-КІТ, 248.
5. **Козлов К.П., 2011.** Київський метрополітен: Хронологія. Події. Київ, Факти, 256.

6. **Zakharchenko P.V., Haiko G.I., 2015.** Kyiv Forecast of development of infrastructure in the short term. Kyiv. Regional policy, legislative regulation and practical implementation, 25-33 (in Ukrainian).
7. **Haiko G.I., Kravets V.G., Bulgakov V.P., Haiko Y.I., 2015.** Freight-oriented natural-technical geosystem Geourbanistics - heolohichne environment. Vestnik NTU KPI. A series Mining. Vol.29, 18-24 (in Ukrainian).
8. **The general plan m. Kyiv.** The main provisions, **2011.** Kyiv, Institute of General Plan (in Ukrainian).
9. <http://autoportal.ua/articles/dorogi/18803.html>.
10. **Grishin V., Hembarsky L., Snisarenko V., 2015.** Existing and projected artificial islands and their purpose. Underwater Technology, 2015, Vol.02, 32-39 (in Ukrainian).
11. **Tajdus A., Cala M., Tajdus K., 2012.** Geomechanics in underground construction. Design and construction of tunnels. Krakow, AGH, 762 (in Poland).
12. **Haiko G.I., Bulgakov V.P., 2014.** Metropolis as a system of ground and underground urban. Krivoy Rog. The quality of mineral raw materials, 315-321 (in Ukrainian).
13. **Pankratova N.D., Haiko G.I., Kravets V.G., Savchenko I.A., 2016.** Problems of megapolises underground space system planning. Journal of Automation and Information Sciences, 101-107 (in Russian).
14. **Iryna Ustinova, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technology, 2015, Vol.01, 33-42.
6. **Захарченко П.В., Гайко Г.І., 2015.** Прогноз розвитку інфраструктури Києва в короткотерміновій перспективі. Праці 1-ї МНПК Регіональна політика: законодавче регулювання та практична реалізація. Київ, КНУБА, 25-33.
7. **Гайко Г.І., Кравець В.Г., Булгаков В.П., Гайко Ю.І., 2015.** Транспортно-орієнтована природничо-технічна геосистема геоурбаністика – геологічне середовище. Вісник НТУУ КПІ. Серія Гірництво. Вип.29, 18-24.
8. **Генеральний план м. Києва.** Основні положення, **2011.** Київ, Інститут генерального плану м. Києва.
9. <http://autoportal.ua/articles/dorogi/18803.html>.
10. **Гришин В., Гембарський Л., Снісаренко В., 2015.** Існуючі й проєктовані штучні острови та їх призначення. Підводні технології, 2015, Вип.02, 32-39.
11. **Tajdus A., Cala M., Tajdus K., 2012.** Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli. Krakow, AGH, 762.
12. **Гайко Г.І., Булгаков В.П., 2014.** Мегаполіс як система наземної та підземної урбаністики. Кривий Ріг. Якість мінерального сировини, 315-321.
13. **Панкратова Н.Д., Гайко Г.І., Кравець В.Г., Савченко І.А., 2016.** Проблеми системного планування підземного пространства мегаполісов. Междунар. науч.-техн. журнал Проблемы управления и информатики, 101-107.
14. **Iryna Ustinova, 2015.** Theoretical principles of wave urbanistics. Underwater Technology, Vol.01, 33-42.