

Розвиток підземної урбаністики як системи освоєння георесурсів великих міст
Развитие подземной урбаністики как системы освоєния георесурсов больших городов
Development of underground urbanism as a system of exploration of large cities' geo-resources

- 1. Номер державної реєстрації – 0117U002414,**
- 2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Гайко Г.І., Гайко Г.И., Наїко Н.І.**
- 3. Суть розробки, основні результати.**
(укр.)

Оцінені ризики підземного будівництва і встановлений механізм відмови конструкцій під дією динамічних впливів метропотягів в умовах піщаних водонасичених ґрунтів, який пов'язаний з вторинним осіданням метротунелю при деформуванні ґрунтової основи з утворенням призми сповзання, з різною інтенсивністю цього процесу вздовж траси тунелю. Розроблена методика врахування ризиків підземного будівництва в умовах неповноти проектної інформації шляхом використання синтезу двох сучасних способів моделювання – чисельного методу скінчених елементів та ймовірнісного методу Монте-Карло, що забезпечує перехід від детермінованих методів вирішення складних геомеханічних задач до врахування ймовірнісних відхилень і оцінки ризиків.

Оцінені зв'язки структурно-функціональних, інженерно-геологічних і технологічних факторів освоєння підземного простору. Отримані поверхні залежностей модулю деформації та зчеплення від показника текучості та коефіцієнту пористості ґрунтів, які свідчать про формування двох виразних зон зміни їх міцнісних властивостей у залежності від збільшення числа пластичності. Це дозволяє більш повно враховувати характер змінності геологічного середовища при плануванні об'єктів підземної урбаністики.

Розроблені методика та інструментарій модифікованого морфологічного аналізу, що формалізує і супроводжує процес оцінки ризиків і прийняття рішень про доцільність використання території (геологічного середовища) для міського підземного будівництва. Розроблено морфологічну модель оцінки ділянок будівництва підземних об'єктів, створено морфологічні таблиці, обґрунтовано альтернативи станів і шкали експертних оцінок, побудовано матриці взаємозв'язків факторів впливу та альтернатив параметрів. Тестування розробленої моделі для будівництва підземних паркінгів було проведено на двох ділянках у Шевченківському районі м. Києва з різними інженерно-геологічними характеристиками. Абсолютні показники розрахованих оцінок альтернатив параметрів склали відповідно 0,688 і 0,993, що дозволяє віддати перевагу другій ділянці. Розроблена когнітивна карта територій для будівництва підземних паркінгів Києва, яка вперше враховує морфологічні зв'язки підземних об'єктів з наземними, а також с системою транспортних комунікацій і зональною характеристикою територій, що разом з факторами геологічного середовища визначає економічну й функціональну доцільність розміщення підземних споруд на розглянутих територіях з кількісною оцінкою ризиків.

Таким чином, на базі модифікованого морфологічного аналізу була створена наукова методологія планування системи альтернативних проектних конфігурацій мегаполісу, яка дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні георесурсів великих міст. Розроблена стратегія розвитку підземної урбаністики мегаполісів, яка забезпечує комплекс заходів адміністративно-правового, економічного, освітньо-наукового та технологічного рівнів для масштабного міського підземного будівництва в Україні.

(рос.)

Оценены риски подземного строительства и установлен механизм отказа конструкций под действием динамических воздействий от поездов метро в условиях песчаных водонасыщенных грунтов, который связан с вторичным оседанием метротоннеля при деформации грунтового основания с образованием призмы сползания, с разной интенсивностью этого процесса вдоль трассы тоннеля. Разработана методика учета рисков подземного строительства в условиях неполноты проектной информации путем использования синтеза двух современных способов моделирования – численного метода конечных элементов и вероятностного метода Монте-Карло, что обеспечивает переход от детерминированных методов решения сложных геомеханических задач к учету вероятностных отклонений и оценки рисков.

Оценены связи структурно-функциональных, инженерно-геологических и технологических факторов освоения подземного пространства. Получены поверхности зависимостей модуля деформации и сцепление показателя текучести и коэффициента пористости грунтов, которые свидетельствуют о формировании двух выразительных зон изменения их прочностных свойств в зависимости от увеличения числа пластичности. Это позволяет более полно учитывать характер изменчивости геологической среды при планировании объектов подземной урбанистики.

Разработаны методика и инструментарий модифицированного морфологического анализа, которые формализуют и сопровождают процесс оценки рисков и принятия решений о целесообразности использования территории (геологической среды) для городского подземного строительства. Разработана морфологическая модель оценки участков строительства подземных объектов, созданы морфологические таблицы, обоснованы альтернативы состояний и шкалы экспертных оценок, построены матрицы взаимосвязей факторов влияния и альтернатив параметров. Тестирование разработанной модели для строительства подземных паркингов было проведено на двух участках в Шевченковском районе г. Киева с различными инженерно-геологическими характеристиками. Абсолютные показатели рассчитанных оценок альтернатив параметров составили соответственно 0,688 и 0,993, что позволяет отдать предпочтение второму участку. Разработана когнитивная карта территорий для строительства подземных паркингов Киева, которая впервые учитывает морфологические связи подземных объектов с наземными, а также с системой транспортных коммуникаций и зональной характеристикой территорий, что вместе с факторами геологической среды определяет экономическую и функциональную целесообразность размещения подземных сооружений на рассматриваемых территориях и обеспечивает количественную оценку рисков.

Таким образом, на базе модифицированного морфологического анализа была создана научная методология планирования системы альтернативных проектных конфигураций мегаполиса, которая дает в руки инвесторов и городских государственных администраций эффективный инструмент управления рисками и инвестициями при освоении георесурсов крупных городов. Разработанная стратегия развития подземной урбанистики мегаполисов обеспечивает комплекс мер административно-правового, экономического, научно-образовательного и технологического уровней для масштабного городского подземного строительства в крупных городах Украины.

(англ.)

The risks of underground construction are estimated and the mechanism of structural failure due to dynamic effects from metro trains in conditions of sandy water-saturated soils is established, which is associated with secondary subsidence of the metrotunnel during deformation of the soil base with the formation of a creeping prism, with different intensities of this process along the tunnel route. A methodology has been developed for taking into account the risks of underground construction under conditions of incomplete design information by

using the synthesis of two modern modeling methods - the numerical finite element method and the probabilistic Monte Carlo method, which provides a transition from deterministic methods for solving complex geomechanical problems to accounting for probabilistic deviations and risk assessments.

The connections of structural-functional, engineering-geological and technological factors of underground space development are estimated. The surfaces of the dependences of the deformation modulus and the adhesion of the yield index and soil porosity coefficient are obtained, which indicate the formation of two expressive zones of change in their strength properties depending on the increase in the number of ductility.

The methodology and tools of the modified morphological analysis are developed, which formalize and accompany the process of risk assessment and decision making on the feasibility of using the territory (geological environment) for urban underground construction. A morphological model has been developed for assessing the construction sites of underground facilities, morphological tables have been created, justified state alternatives and expert assessment scales, matrices of the relationships of influence factors and alternatives of parameters have been constructed. Testing of the developed model for the construction of underground parking was carried out at two sites in the Shevchenkivskyi district of Kiev with various engineering and geological characteristics. The absolute indices of the calculated estimates of the alternative options were 0.688 and 0.993, respectively, which allows us to give preference to the second section. A cognitive map of territories has been developed for the construction of underground parking in Kiev, which for the first time takes into account the morphological relationships of underground objects with ground objects, as well as with the system of transport communications and the zonal characteristics of territories, which, together with factors of the geological environment, determines the economic and functional feasibility of placing underground structures in the territories under consideration and ensures quantitative risk assessment.

Thus, on the basis of a modified morphological analysis, a scientific methodology for planning a system of alternative design configurations of a megalopolis was created, which gives investors and city government administrations an effective tool for managing risks and investments in developing the geo-resources of large cities. The developed strategy for the development of underground urbanism in megacities provides a set of administrative, legal, economic, scientific, educational and technological levels for large-scale urban underground construction in large cities of Ukraine.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

Патент на винахід UA № 119030. Пристрій для зведення монолітного кріплення тунелю/В.Г. Кравець, С.М. Стовпник, Г.І. Гайко, С.В. Зайченко. МПК E21D 9/06 (2006.01), E21D 11/10. Опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Науково технічний рівень виконаної роботи відповідає світовому рівню. Порівняння з роботами, що використовують системні методи для планування освоєння підземного простору (Гірниче бюро США, Інститут системного аналізу РАН, МІСІС та ін.) свідчить про оригінальність та конкурентоспроможність розробленої методології для планування системи альтернативних проектних конфігурацій мегаполісу та освоєння його георесурсів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Застосування розробленої «Методики прогнозування оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики» дозволяє вже на передпроектній стадії отримати дані про ймовірні ризики підземного будівництва, величину їх альтернативної оцінки, рівень економічних втрат в разі реалізації негативного сценарію, що дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями для розвитку підземної урбаністики. Розроблений інструментарій може бути успішно застосований для

побудови стратегічних майстер-планів розвитку «підземного Києва» та інших великих міст України.

7. **Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).** Отримані оцінки ризиків і механізм відмови конструкцій під дією динамічних навантажень у перегінних тунелях можуть бути цікаві для комунального підприємства «Київський метрополітен» та інших метрополітенів країни, методики та інструментарій планування розвитку підземної урбаністики – для «Інституту Генерального плану міста Києва» та міських державних адміністрацій великих міст. Когнітивні карти підземних паркінгів можуть зацікавити будівельні корпорації України.

8. **Стан готовності розробки** – методики готові до впровадження.

9. **Існуючі результати впровадження.**

«Методика прогнозування оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики» впроваджена в Корпорації «ДБК-ЖИТЛОБУД», м. Київ для обґрунтування вибору ділянок будівництва підземних паркінгів.

«Рекомендації щодо стратегічного розвитку підземної урбаністики міста Києва» передані в Київську міську державну адміністрацію та в Академію будівництва України

10. **Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра геоінженерії, тел. +38-044-204-82-28, E-mail: gauko.kpi@meta.ua

11. **Слайди презентації.**

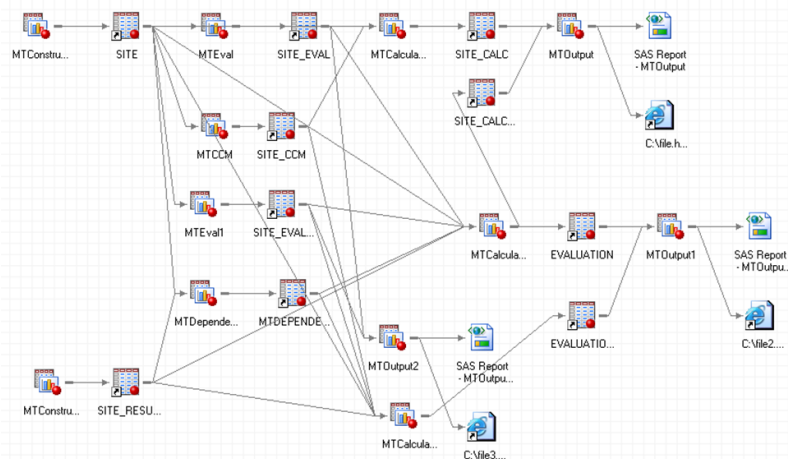


Рисунок 1 – Модель в SAS Studio для оцінювання території підземного будівництва

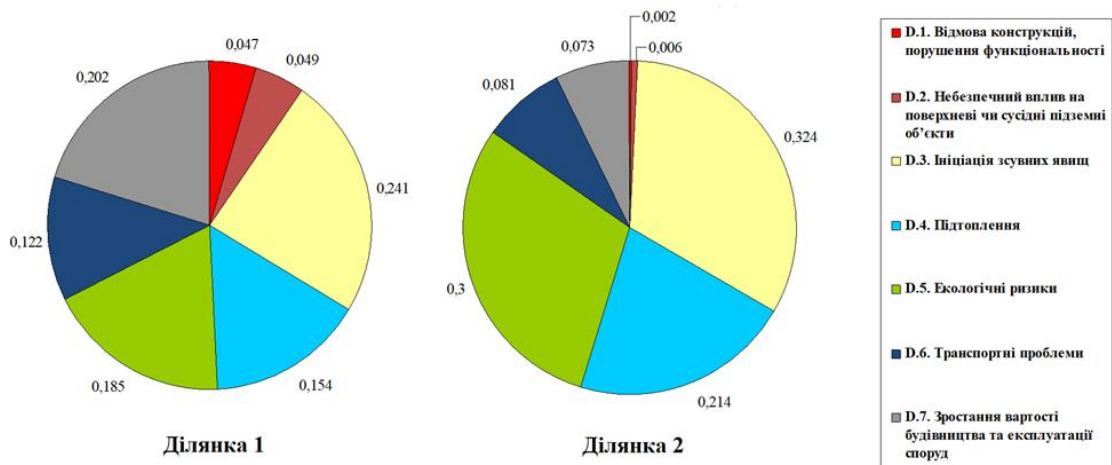


Рисунок 2 - Порівняння ваг альтернатив параметрів «Ступінь ризику» та «Рівень ризику» для двох розглянутих ділянок будівництва

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.

1. Панкратова Н.Д., Гайко Г.І., Савченко І.О. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проектних конфігурацій. – К.: Наукова думка, 2020. – 216 с.
2. Naiko H. I., Savchenko I.O., Matviichuk I.O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space// *Naukovyi Visnyk NHU*, 2019, № 3. – P. 92-98.
3. Pankratova N., Savchenko I., Gayko G., Kravets V. Evaluating Perspectives of Urban Underground Construction Using Modified Morphological Analysis Method// *Journal of Automation and Information Sciences*. – 2018. – Volume 50, Issue 10. – P. 34-46.
4. Гайко Г.І., Матвійчук І.О., Білецький В.С., Салуга П. Методи прогновної оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики/ *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія"*. 2018. – № 48. – С. 39 – 51.
5. Гайко Г.І., Савченко І.О., Матвійчук І.О. Оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу// *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2019, № 15. – С. 18-25.

13. Надати ключові слова до розробки: георесурси мегаполісу, підземна урбаністика, морфологічний аналіз, багатофакторні ризики, метод монте-карло, підземні споруди, механічні властивості ґрунтів.