

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.286-301

УДК 539.3

к.т.н., доцент **Кошевий О.П.**,

koshevyi.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-7796-0443,

к.т.н., доцент **Левківський Д.В.**,

levkivskyi.dv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2964-1605,

**Янсонс М.О.**, iansons.mo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6174-0403,**Чубарев А.Г.**, chubarev\_ah@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6620-639X,**Марчук О.С.**, marchuk.os@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2497-1405,**Кошева І.С.**, kosheva.is@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8224-3759,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ ТУНЕЛЮ МЕТРОПОЛІТЕНУ ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ**

*Приведено основні ідеї та можливості створення комплексної просторової чисельної моделі, дослідження та аналізу напружено-деформованого стану, міцності та жорсткості тунелю метрополітену за допомогою власного програмного забезпечення, з використанням модифікованого методу прямих, та розрахункового програмного комплексу LIRA від дії комплексного навантаження. Створена комплексна модель тунелю на основі ВІМ технологій, що враховує статичні, динамічні та температурні навантаження, може використовуватися для подальшого прийняття оптимальних проєктних рішень і значно прискорить проєктні роботи. Результати чисельного дослідження комплексної просторової моделі та висновків про міцнісні характеристики конструкцій тунелю метрополітену значно розширюють можливості в прийнятті проєктних рішень та створенні перспективних розробок на їх основі.*

*Ключові слова: комплексні чисельні просторові моделі; комп'ютерне моделювання; температурні навантаження; задачі термopружності; ВІМ технології; модифікований метод прямих; напружено-деформований стан; міцність; жорсткість; оптимальні проєктні рішення.*

Тунелі використовують для руху транспортних засобів (залізничні та автомобільні тунелі, метрополітен), переміщення пішоходів (пішохідні), води та стоків (гідротехнічні, каналізаційні), для розташування інженерних комунікацій - кабелів, труб, обладнання (комунікаційні) та для забезпечення виробничих функцій гірничих підприємств – вентиляції, водовідливу, дренажу (гірничопромислові). Проєктування траси тунелю, форма й розміри його

поперечного перерізу, конструктивні особливості визначаються типом і призначенням споруди, топографічними та інженерно-геологічними умовами будівництва, прогнозованими проявами гірського тиску, економічними та екологічними чинниками й регламентуються нормативними документами.

Проектування транспортних та тунелів для ліній метрополітену слід виконувати з врахуванням планувальної структури міста та інженерно-транспортної інфраструктури, відповідно до функціонального зонування території міста, затверджені генеральної схеми розвитку мережі метрополітену, якою передбачено: напрям, довжина та черговість будівництва ліній, місця розташування станцій електродепо, пересадочних вузлів поміж станціями, місця розміщення виробничих підприємств метрополітену і заводів з капітального ремонту вагонів та виготовлення запасних частин. Для оцінки конструкцій тунелів на етапі їх проектування необхідно провести оцінку напружено-деформованого стану, жорсткості та стійкості елементів конструкцій тунелю та і провести моделювання просторової поведінки всієї конструкції при врахуванні всіх можливих навантажень, що виникають в процесі будівництва та під час експлуатації тунелю.

Для дослідження напружено-деформованого стану, міцності та стійкості конструкцій тунелів, що враховує світовий та вітчизняний досвід проектування з використанням сучасних розрахункових методів та ВІМ технологій, колективом авторів створено методику чисельного моделювання спрямовану на вирішення важливої соціально-економічної та наукової проблеми, що пов'язана з питаннями спорудження нових, реконструкції та відновлення існуючих тунелів різноманітного призначення. При проектуванні таких споруд необхідно використовувати сучасні методи, не стандартні підходи проектування, з використанням новітніх методів та розрахункових програмних комплексів, на основі створених просторових моделей тунелів, з використанням ВІМ технологій [7], для прийняття оптимальних проектних рішень поряд із збереженням несучої здатності конструкції [10,11].

В статті розглядається чисельне моделювання НДС частини тунелю метрополітену на основі створення просторової моделі розрахунку з використанням власного програмного забезпечення [3,4] та розрахункового програмного комплексу LIRA від дії комплексного навантаження. Для чисельного моделювання розглядається частина тунелю метрополітену, з залізобетонних конструкцій довжиною 50м, с жорстким зацемленням по кінцям, зовнішнім діаметром 5300мм, з товщиною стінки 200мм, товщина опорної площадки для прокладання ж/д полотна в нижній частині 500мм.

Комплексне навантаження формувалось за допомогою власного програмного забезпечення з використанням модифікованого методу прямих у

вигляді переміщень, що діють на внутрішню та зовнішню поверхні тунелю [1,2,3]. Метод прямих є комбінованим методом розв'язування задач математичної фізики, який використовує, зведення вихідних рівнянь до звичайних диференціальних рівнянь, які розв'язувались аналітичними методами. Класичний варіант методу прямих не є вільним від значних ускладнень. По-перше, виникають проблеми з побудовою граничних умов для редукованих рівнянь, які отримані методом скінченних різниць, особливо коли вихідні граничні умови природні. По-друге, побудувати загальний розв'язок системи звичайних диференціальних рівнянь майже неможливо. Для вирішення цих проблем використовується модифікований метод прямих, що розроблений та впроваджений колективом авторів [4,8,9].

Модифікований метод прямих, використовує для зниження вимірності проекційний метод, а вихідні граничні умови обираються природними і потім частково потрапляють до редукованих рівнянь [1,2,3]. Важливим позитивом також є побудова редукованих граничних задач, ідеально пристосованих до застосування найбільш ефективного методу розв'язування одновимірних граничних задач – методу дискретної ортогоналізації С.К. Годунова [8,9].

На рис.1 показана розрахункова схема тунелю метрополітену з величинами навантажень, що виникають на поверхнях тунелю.

В комплексному навантаженні на тунель метрополітену були враховані такі види: - власна вага конструкції тунелю  $550 \text{ кг/м}^2$ ; - вага ґрунту  $1300 \text{ кг/м}^2$ ; - власна вага опорної площадки для ж/д колій  $1375 \text{ кг/м}^2$ ; - вага потягу на коліях  $1500 \text{ кг/м}^2$ ; - бічний тиск ґрунту  $600 \text{ кг/м}^2$ ; - також були розглянуті екстремальні умови експлуатації тунелю, при виникненні в ньому пожежі з внутрішньою температурою до  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ , - температура на зовнішній поверхні тунелю  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для визначення температурного впливу на конструкції тунелю вирішується задача термопружності модифікованим методом прямих та визначаються напруження і переміщення в конструкції тунелю від дії температури рис.2.

Напруження і переміщення визначені від комбінації навантажень за допомогою модифікованого методу прямих [5,6] формуються у вигляді комплексного навантаження для подальшого розрахунку в розрахункових комплексах LIRA та SCAD. Всі навантаження умовно прийняті як постійні.

Комплексна методика чисельного дослідження просторової моделі тунелю метрополітену передбачає три етапи розрахунку та реалізована у вигляді програмного комплексу, що дає можливість поряд з формуванням комплексного навантаження від всіх зовнішніх впливів, включаючи температурні впливи, досліджувати напружено-деформований стан конструкцій

за допомогою модифікованого методу прямих при всіх можливих комбінаціях цих навантажень.

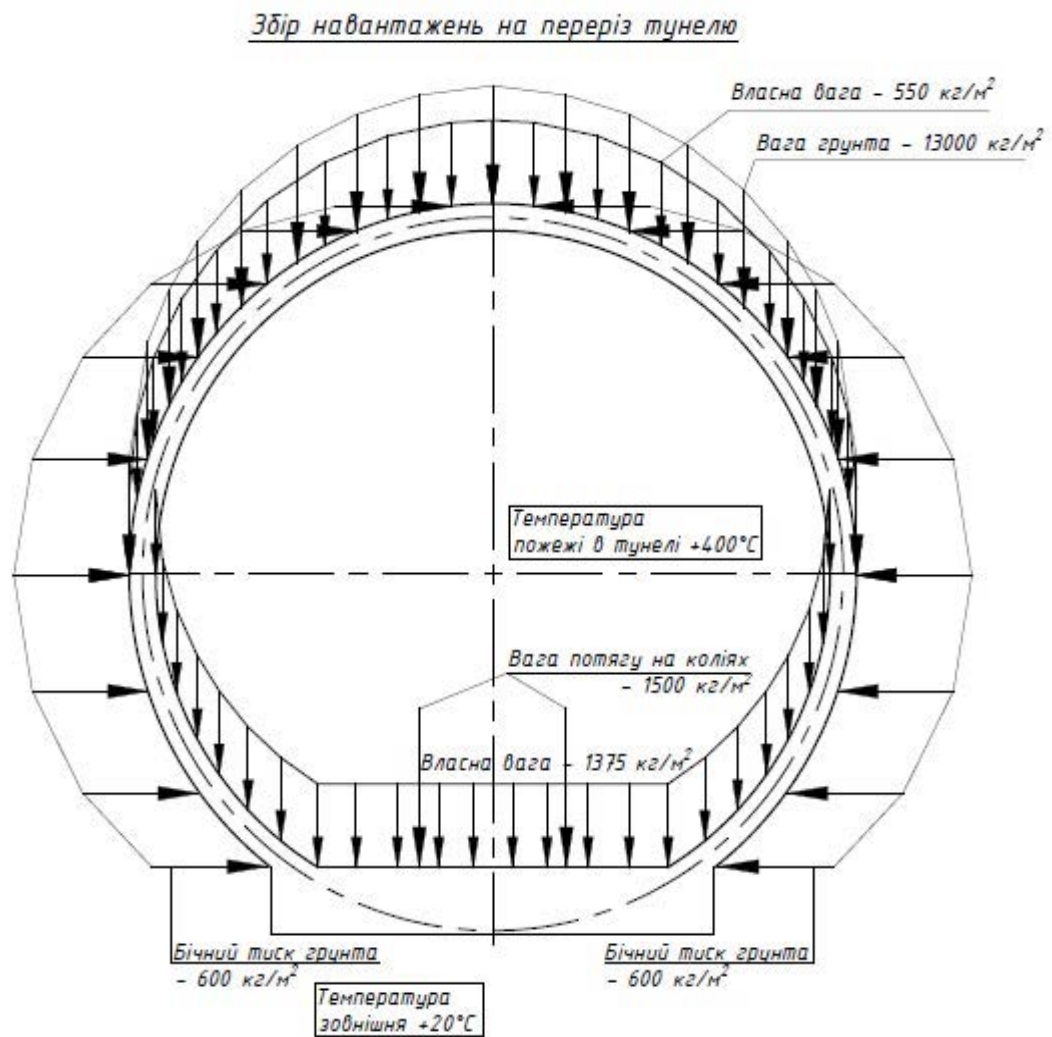


Рис.1. Розрахункова схема тунелю метрополітену з навантаженнями

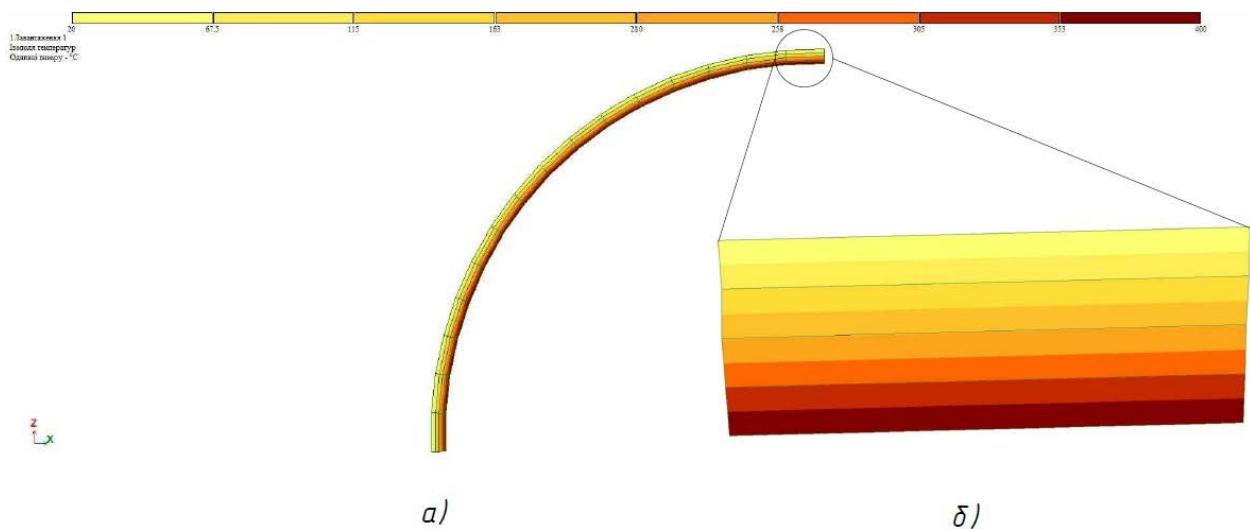


Рис.2. Ізополя температур; а) - в чвертині тунелю; б) – в розрахунковому елементі.

На першому етапі формуються вихідні дані у вигляді розрахункової просторової моделі конструкції тунелю метрополітену з використанням можливостей AutoCAD. В подальшому модифікованим методом прямих вирішуються задачі по визначенню навантажень (температурних, силових, кінематичних, електричних і т.д.), на основі яких формується комплексне навантаження на розрахункову модель конструкції.

На другому етапі досліджується напружено-деформований стан конструкції модифікованим методом прямих від комплексної дії на нього статичних та динамічних навантажень при різних умовах закріплення просторової моделі тунелю метрополітену, та використовує BIM технології для прийняття оптимальних рішень при проектуванні елементів конструкцій тунелю. Результати розрахунків візуалізуються за допомогою програмних модулів MS EXCEL у вигляді діаграм, графіків, ізоліній, які будуються на основі розрахунків проведених на перших двох етапах.

На третьому етапі створюється просторова комп'ютерна модель тунелю метрополітену, яка завантажується комплексним навантаженням з попередніх етапів, та автоматично передається у вигляді сформованого поля переміщень для розрахунку в програмні комплекси LIRA, SCAD в яких проводиться чисельне моделювання просторової моделі тунелю для оцінки його міцності, жорсткості і стійкості та розробляється оптимальний проект конструкцій тунелю з урахуванням екстремальних умов будівництва та експлуатації [9,10,11,12].

Для аналізу напружено-деформованого стану тунелю метрополітену в екстремальних умовах та формування комплексного навантаження спочатку була вирішена задача термопружності, завдяки чому були визначені напруження та деформації, що виникають в конструкціях тунелю, від дії на них температурного впливу (рис. 3-5).

На рис. 3 представлені ізополя нормальних напружень  $\sigma_{xx}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 4 представлені ізополя нормальних напружень  $\sigma_{zz}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 5 представлені ізополя дотичних напружень  $\tau_{xz}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю.

На рис. 6 представлені ізополя переміщень  $U_x$  – а) розподілення переміщень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 7



представлені ізополя переміщень  $U_y$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 8 представлені ізополя переміщень  $U_z$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю.

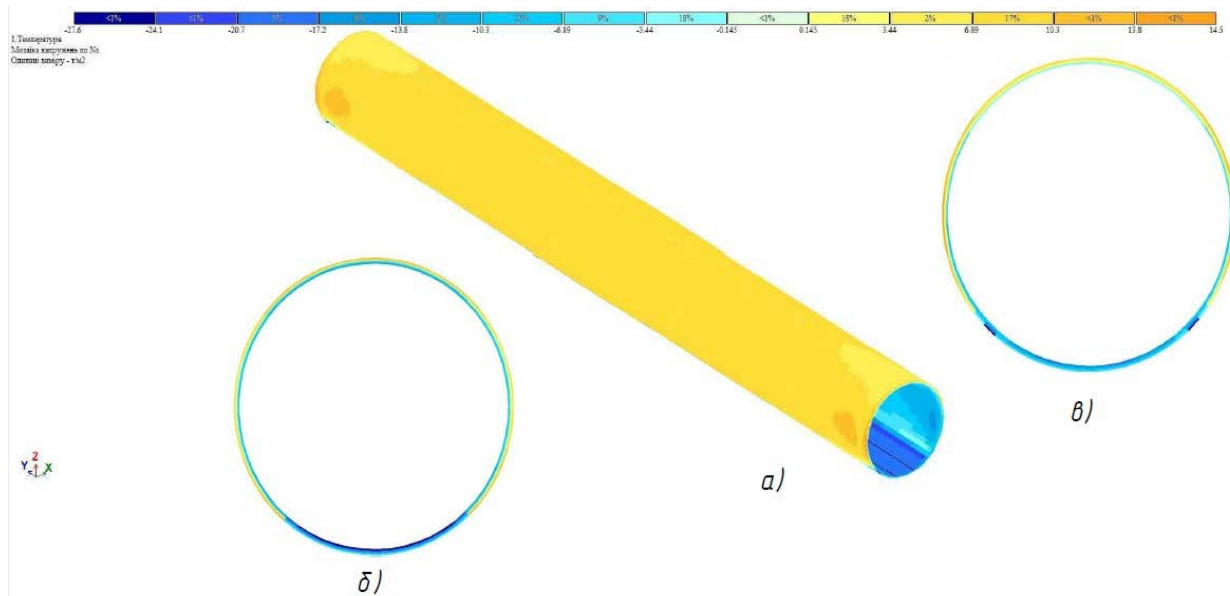


Рис. 3. Ізополя нормальних напружень  $\sigma_{xx}$  при температурному впливі

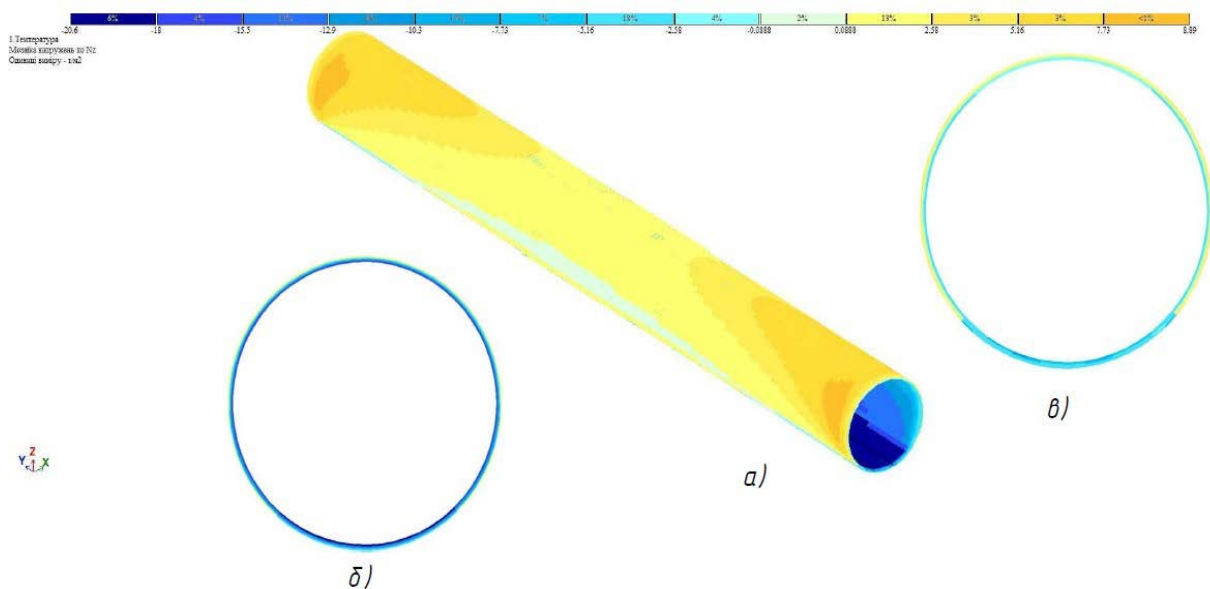
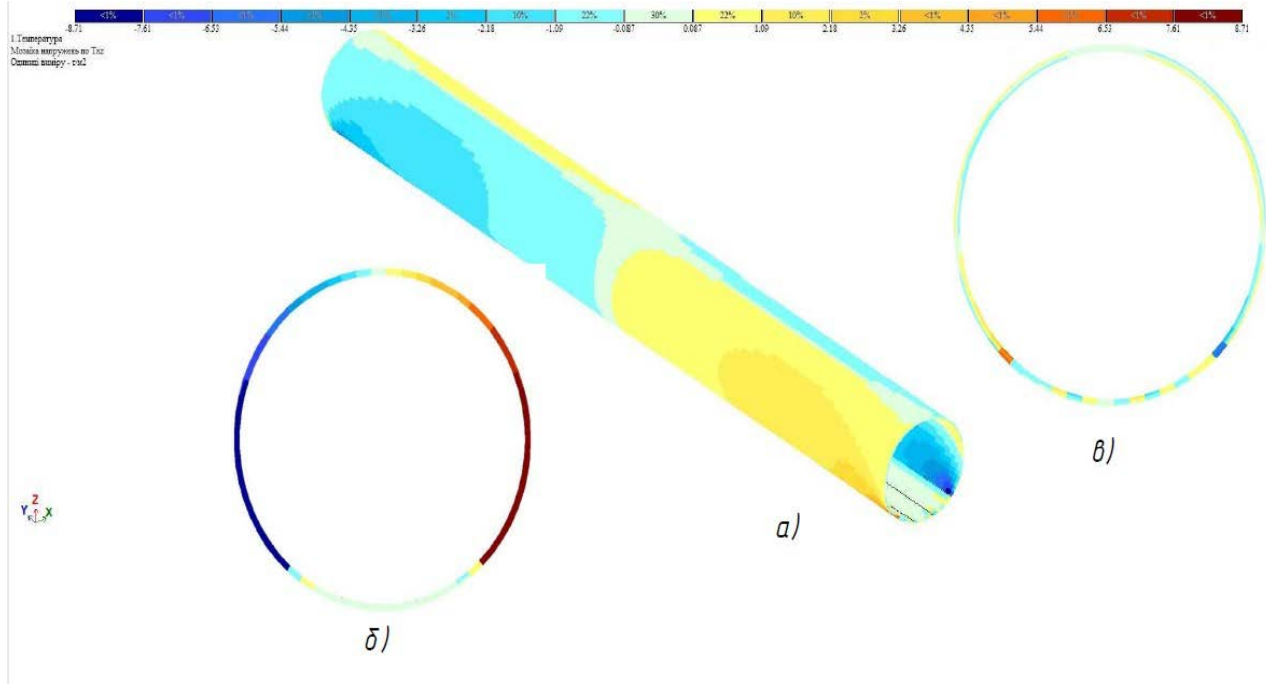
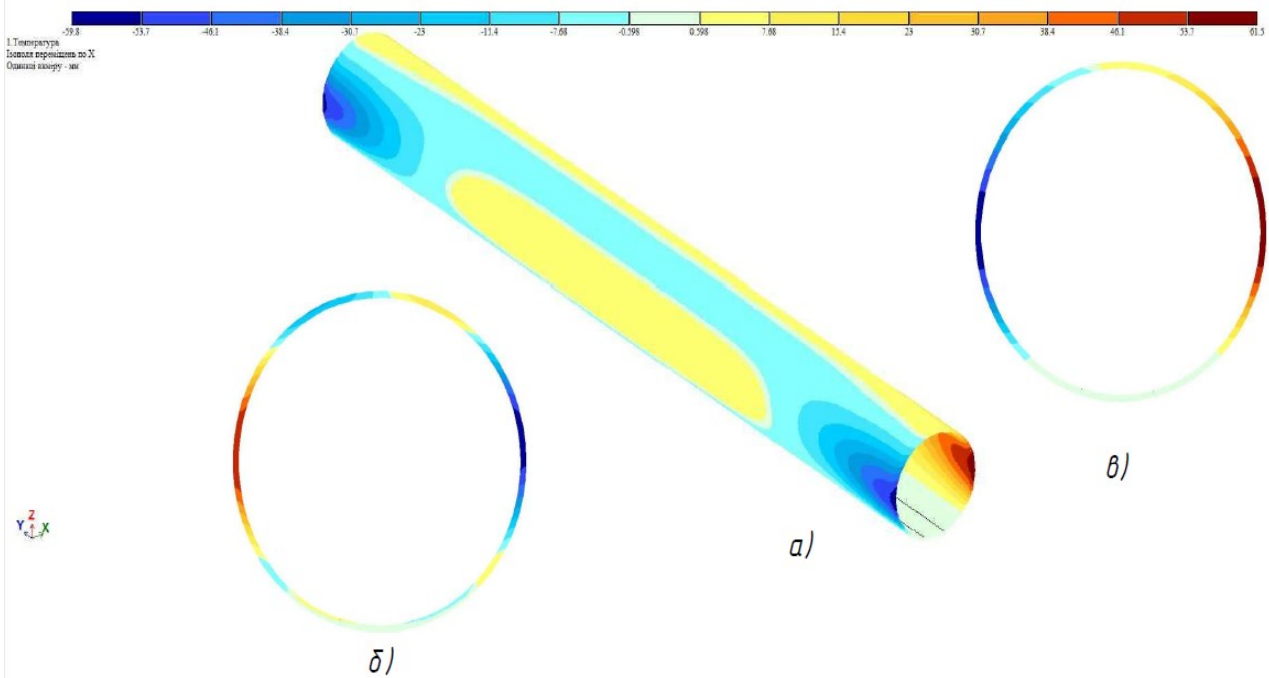
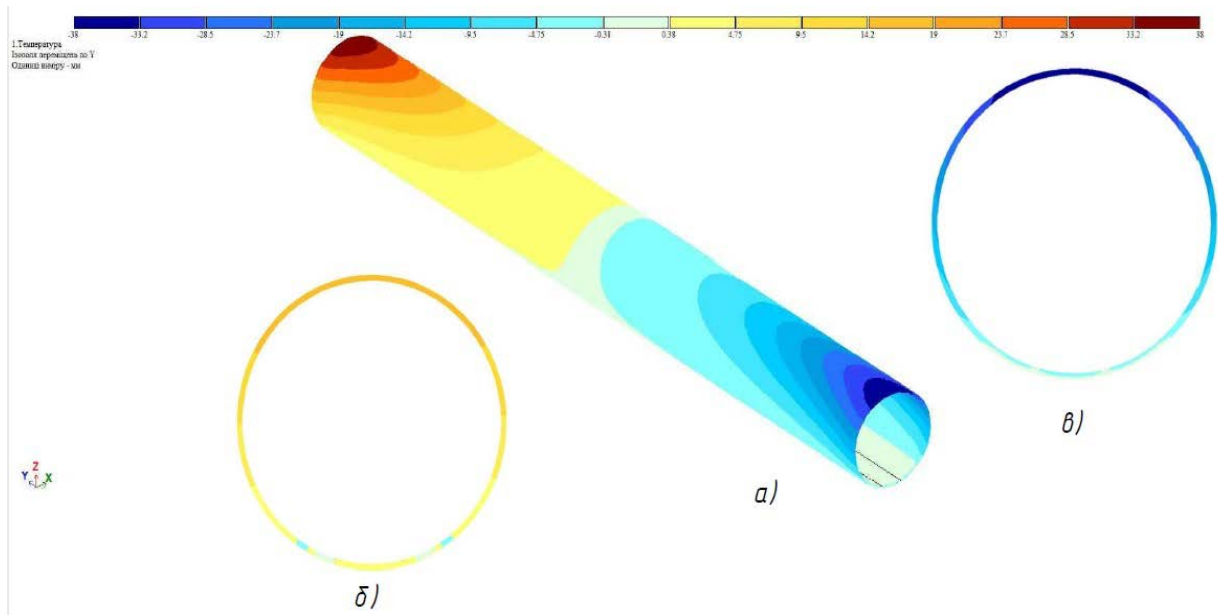
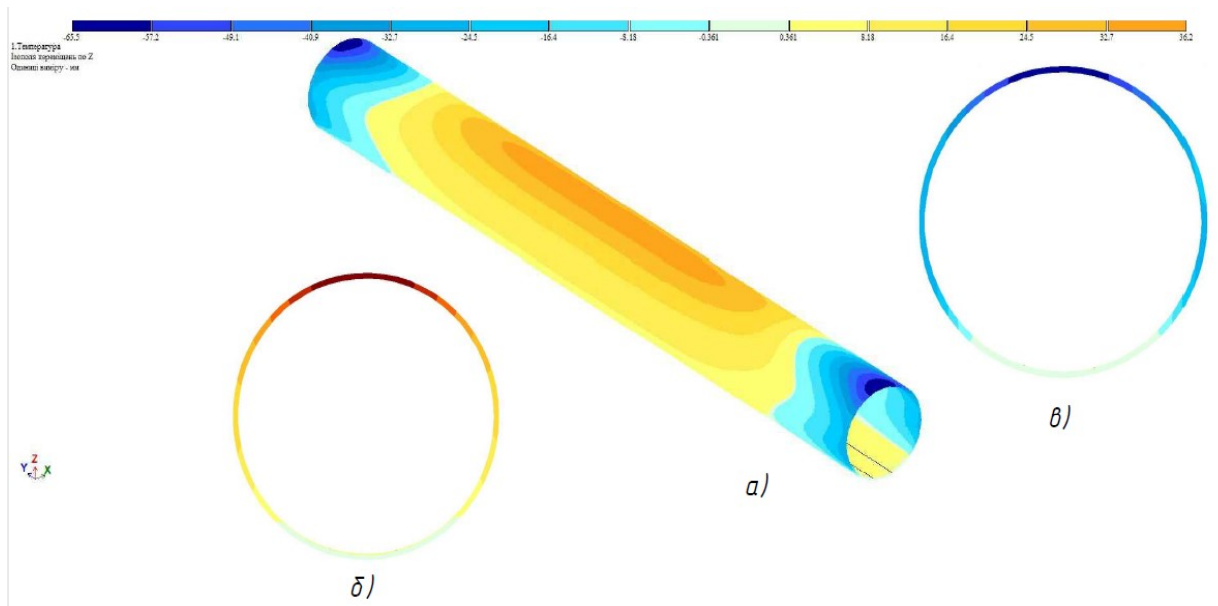


Рис. 4. Ізополя нормальних напружень  $\sigma_{zz}$  при температурному впливі

Рис. 5. Ізополя дотичних напружень  $\tau_{xz}$  при температурному впливіРис. 6. Ізополя переміщень  $U_x$  при температурному впливі

Рис. 7. Ізополя переміщень  $U_y$  при температурному впливіРис. 8. Ізополя переміщень  $U_z$  при температурному впливі

Розрахунок тунелю на температурні впливи модифікованим методом прямих дав можливість сформуванню комплексного навантаження на його конструкції від дії статичного, динамічного та температурного навантаження та передати його у вигляді полів переміщень для розрахунку міцності, жорсткості та стійкості просторової чисельної моделі тунелю метрополітену в програмному комплексі LIRA. На рис. 9-14 представлені результати розрахунку тунелю метрополітену від комплексного навантаження в програмному комплексі LIRA.



На рис. 9 представлені ізополя нормальних напружень  $\sigma_{xx}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 10 представлені ізополя нормальних напружень  $\sigma_{zz}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 11 представлені ізополя дотичних напружень  $\tau_{xz}$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю.

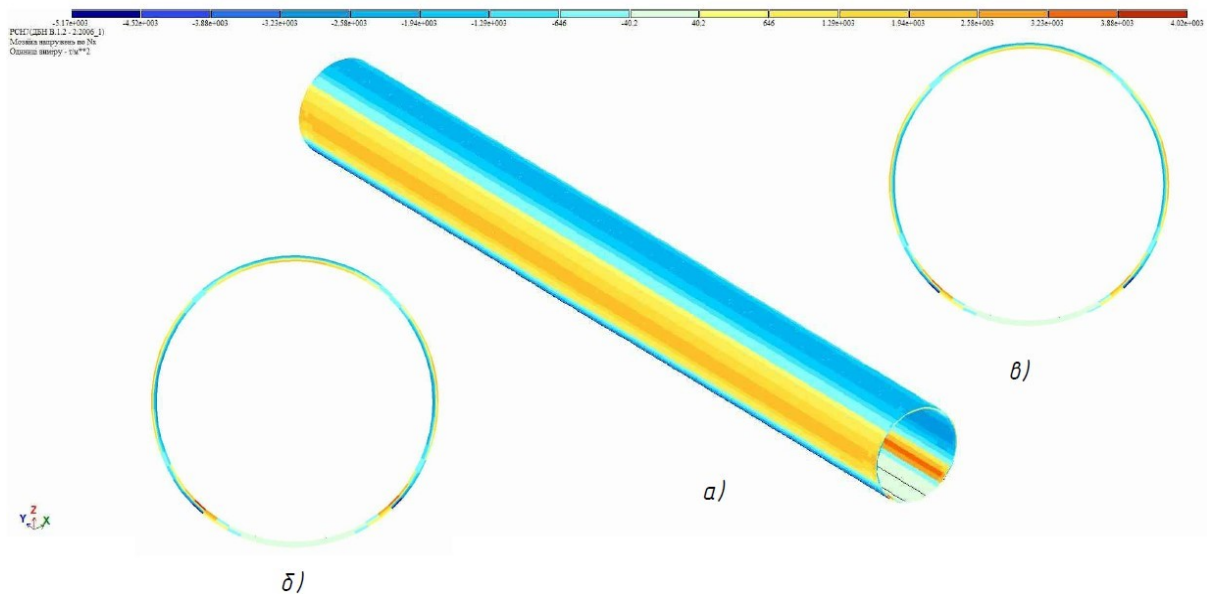


Рис. 9. Ізополя нормальних напружень  $\sigma_{xx}$  при комбінації навантажень

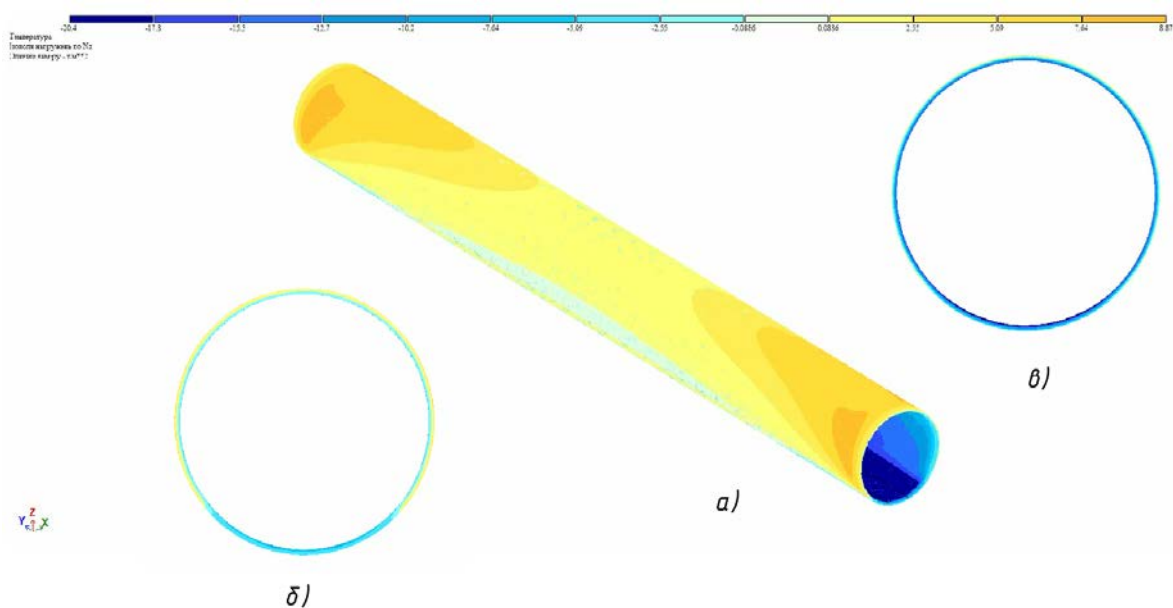


Рис. 10. Ізополя нормальних напружень  $\sigma_{zz}$  при комбінації навантажень

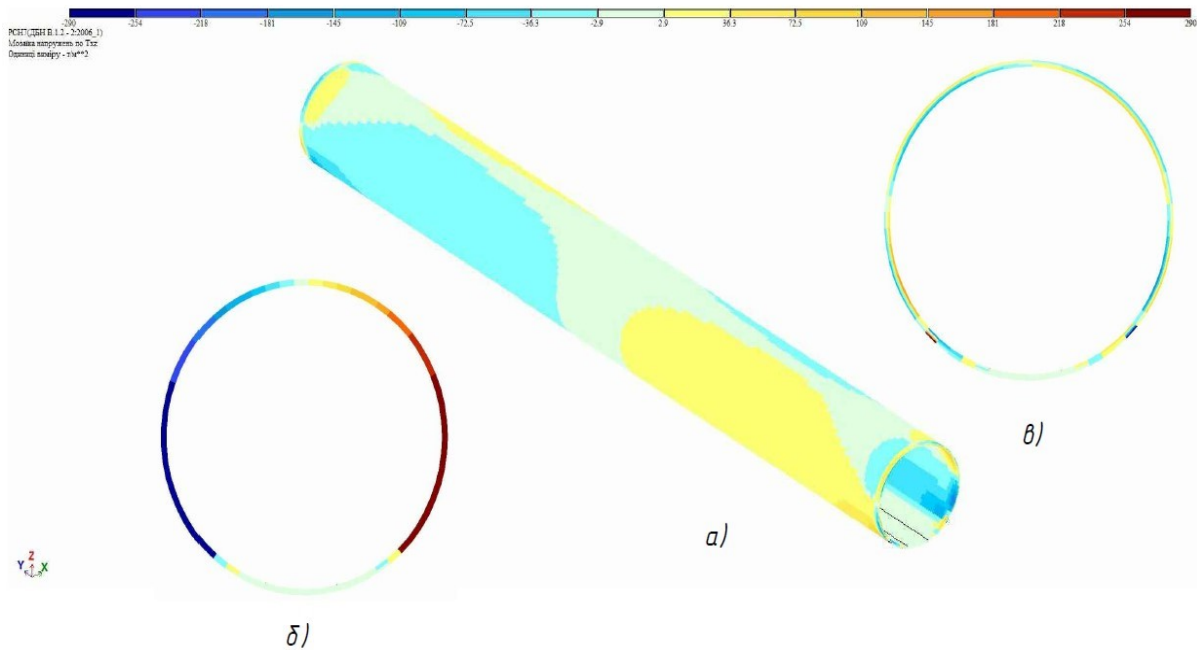


Рис. 11. Ізополя дотичних напружень  $\tau_{xz}$  при комбінації навантажень

На рис. 12 представлені ізополя переміщень  $U_x$  – а) розподілення переміщень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю. На рис. 13 представлені ізополя переміщень  $U_y$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю.

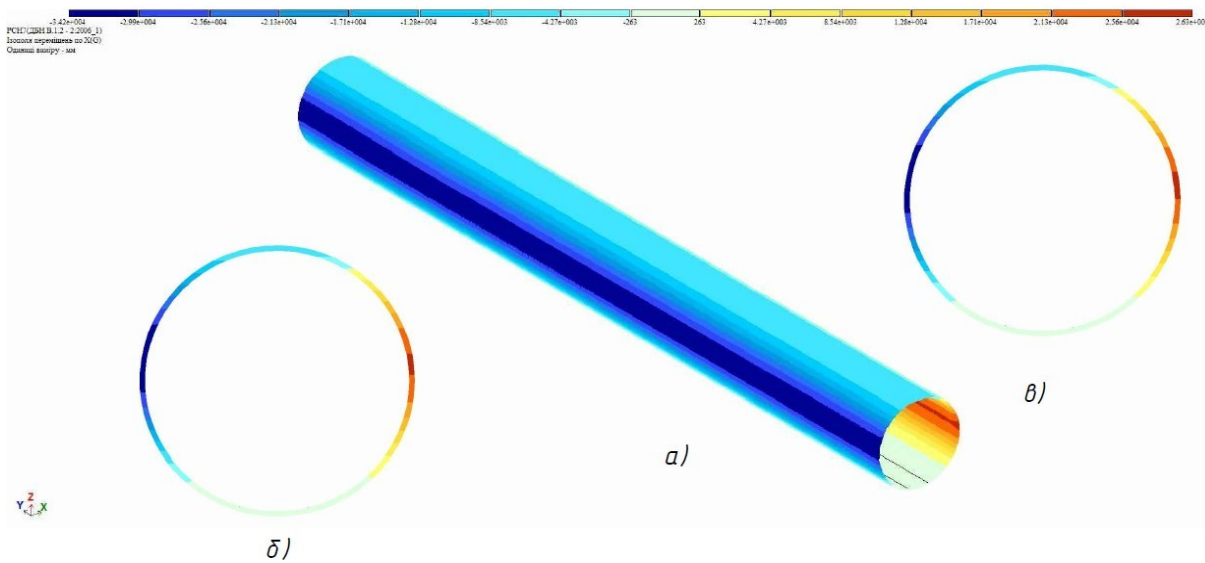


Рис. 12. Ізополя переміщень  $U_x$  при комбінації навантажень

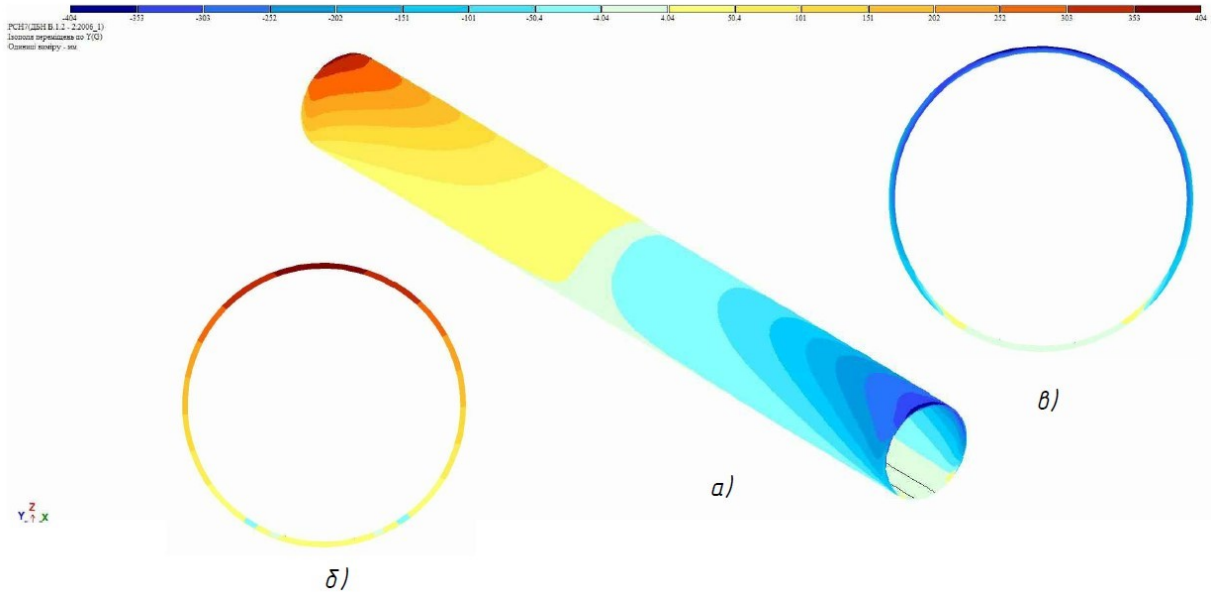


Рис. 13. Ізополя переміщень  $U_y$  при комбінації навантажень

На рис. 14 представлені ізополя переміщень  $U_z$  – а) розподілення напружень по розрахунковій частині тунелю; б) в крайньому поперечному перерізі тунелю; в) в середньому поперечному перерізі тунелю.

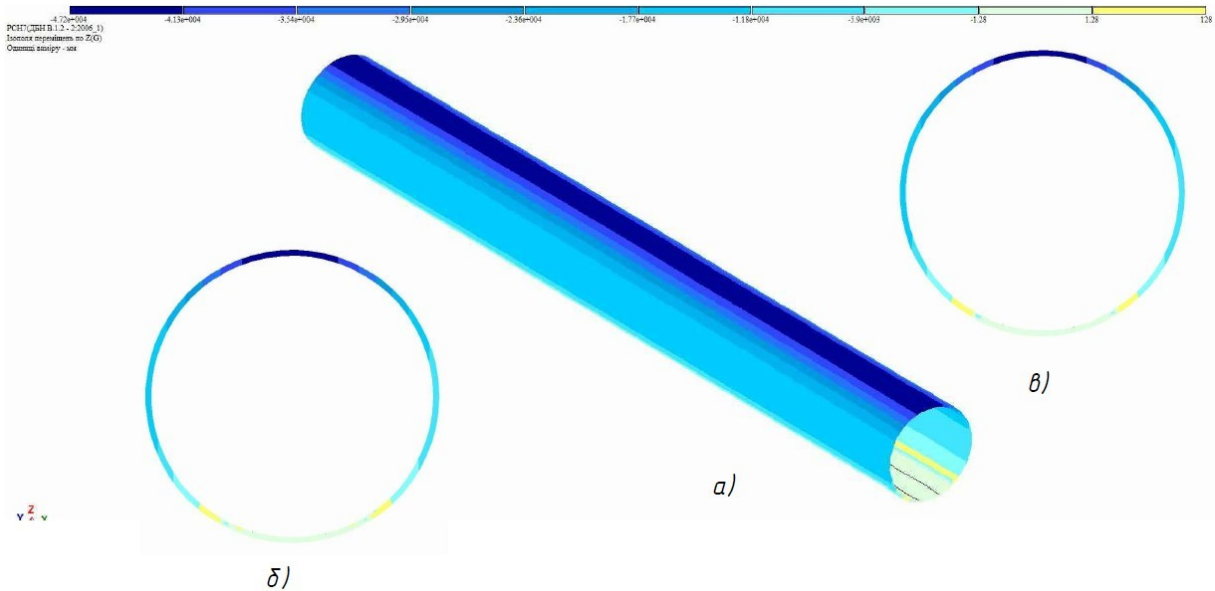


Рис. 14. Ізополя переміщень  $U_z$  при комбінації навантажень

**Висновки.** Методика чисельного моделювання просторової моделі тунелю метрополітену за допомогою програмного комплексу, що використовує напіваналітичний модифікований метод прямих [12] в комплексі з розрахунковим комплексом LIRA, дає можливість визначення напружено-деформованого стану, міцності та жорсткості конструкцій тунелю і зробити

висновки про загальний стан його конструкції. В процесі моделювання були враховані всі можливі статичні та динамічні навантаження на тунель а також враховані екстремальні умови, у вигляді виникнення пожегу в середині тунелю.

Завдяки створеній чисельній моделі тунелю метрополітену та врахуванню всіх зовнішніх навантажень виявляються найбільш невідгідні місця концентрації впливів (силових, температурних, динамічних) на конструкції тунелю, що може привести до його руйнування, розкриття тріщин в бетоні, оголення та корозії робочої арматури, зміни механічних характеристик конструктивних матеріалів та загального зниження несучої спроможності. Результати чисельного моделювання температурних впливів на конструкції тунелю метрополітену, за рахунок вирішення задачі термопружності, показали значне зростання величини нормальних та дотичних напружень і деформацій при виникненні пожегу в середині тунелю.

Аналіз результатів чисельного моделювання просторової моделі тунелю метрополітену від дії комплексного навантаження (статичного, динамічного та температурного) показав значний вплив температурного навантаження, що призводить до збільшення напружень та переміщень на величину до 40-50% та може привести до втрати міцності та жорсткості окремих конструкцій тунелю та втрати загальної несучої спроможності тунелю в цілому. Створена методика чисельного моделювання просторових моделей та комплексне програмне забезпечення значно прискорює прийняття оптимальних проєктних рішень.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чибіряков В.К., Станкевич А.М., Кошевий О.П., Левківський Д.В., Краснеєва А.О., Пошивач Д.В., Чубарев А.Г., Шорін О.А., Янсонс М.О., Сович Ю.В. Модифікований метод прямих, алгоритм його застосування, можливості та перспективи. // Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», в. 70, К.:КНУБА, 2019р. – с.595-616.

2. Чибіряков В.К., Станкевич А.М., Кошевий О.П., Левківський Д.В., Краснеєва А.О., Пошивач Д.В., Чубарев А.Г., Шорін О.А., Янсонс М.О., Сович Ю.В. Чисельна реалізація модифікованого методу прямих. // Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», в. 74, К.:КНУБА, 2020р. – с.341-359.

3. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Чубарев А.Г., Янсонс М.О. Модифікований метод прямих в статичних задачах вісесиметричних нетонких пластин/ Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”.Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – 313 p. 342-358.

4. О.П. Кошевий, Д.В. Левківський, М.О. Янсонс, А.Г. Чубарев, О.С. Марчук Моделювання температурних впливів в масивних тілах за допомогою

модифікованого метода прямих / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 82. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 185-197.

5. О.П. Кошевий, Д.В. Левківський, В.О. Кошева, М.О. Янсонс, А.Г. Чубарев, О.С. Марчук Побудова комплексної моделі реконструкції шляхопроводу на основі обстеження з використанням вим-технологій/ Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 83. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 143-155.

6. О.П. Кошевий, Д.В. Левківський, В.О. Кошева, М.О. Янсонс, А.Г. Чубарев, О.С. Марчук Чисельне моделювання просторової моделі шляхопроводу для оцінки міцності та жорсткості на основі обстеження з використанням розрахункового комплексу LIRA / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 84. – Київ, КНУБА, 2023. – С. 171-180.

7. Кошевий О.П., Кошева В.О., Тробюк О.М. Системно графічно-інтерпретовані моделі створення енергоефективних будівель / Н.т. збірник “Прикладна геометрія та інженерна графіка”. Випуск 100. Відповідальний редактор Ванін В. В. – Київ : КНУБА, 2021 р. – 230 с. 172-181.

8. Чубарев А.Г. Про застосування модифікованого метода прямих в задачах термопружності нетонких пластин // Н. т. збірник «Містобудування та територіальне планування», в. 80, К.:КНУБА, 2022р. – с.486-498.

9. Янсонс М.О. Застосування узагальненого методу прямих для дослідження динамічного напружено-деформованого стану кільцевих нетонких пластин // Н.т. збірник «Математичні проблеми технічної механіки – 2021» Міжнародна наукова конференція м. Дніпро, Кам’янське 2021 р/

10. Григор’єва Л.О. Іванченко Г.М., Кошевий О.О., Кошевий О.П. Чисельне дослідження параметричної оптимізації вимушених частот коливання оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі при термосиловому навантаженні/ “Strength of materials and theory of structures”. Issue 110. – Kyiv: KNUCA, 2023. – 313 p. 430-446.

11. Чибіряков В.К., Кошевий О.П., Чубарев А.Г. Про один алгоритм для розв’язування задач термопружності на основі узагальненого метода прямих // BUILD-MASTER-CLASS-2018: Proceedings of international scientific-practical conference of young scientists. «Видавництво Ліра-К». – Вип. 74 –К.: КНУБА, 2018. – 190-191 с.

12. Кошевий О.П., Левківський Д.В., Кошева В.О., Янсонс М.О., Чубарев А.Г., Марчук О.С. Чисельне моделювання напружено-деформованого стану магістральних трубопроводів в місцях переходів та компенсаторів при комплексному навантаженні / Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 85. – Київ, КНУБА, 2024. – С. 257-267



Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Koshevyi Oleksandr**,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Levkivskyi Dmytro**,  
**Yansons Maryna, Chubarev Anton**,  
**Marchuk Oleksandr, Kosheva Inna**,  
Kyiv national university of construction and architecture

## **NUMERICAL SIMULATION OF THE DIMENSIONAL MODEL OF THE UNDERGROUND TUNNEL UNDER DIFFERENT TYPES OF LOADS TO ASSESS ITS STRENGTH AND RIGIDITY**

The article presents the main ideas and opportunities for creating a comprehensive dimensional numerical model, research and analysis of the stress-strain state, strength and rigidity of a underground tunnel by using personal software based on the modified method of straight lines and CAD LIRA calculation from the effects of complex loads. This created complex model of the tunnel based on BIM technologies includes static, dynamic and temperature loads, can be used to make optimal project solutions and significantly speed up project activities. The results of the numerical research of the complex dimensional model and conclusions about the strength characteristics of the underground tunnel structures significantly expand the opportunities for making project decisions and creating promising new designs based on them.

Keywords: complex numerical dimensional models; computer modeling; BIM technologies; modified method of straight lines; stress-strain state; strength; rigidity; temperature loads; optimal project solutions.

### **REFERENCES**

1. Chybiryakov V.K., Stankevych A.M, Koshevyi O.P., Krasneyeva A.O., Poshyvach D.V., Chubarev A.H., Shorin O.A., Iansons M.O., Sovych YU.V. Modyfikovanyy metod pryamykh, alhorytm yoho zastosuvannya, mozhlyvosti ta perspektyvy (The modified straight line method, its application algorithm, possibilities and prospects) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 70. – Kyiv, KNUBA, 2019. – p. 633-655. {in Ukrainian}
2. V.K. Chybiryakov, A.M. Stankevych, O.P. Koshevyi, D.V. Levkivskyi, A.O. Krasneyeva, D.V. Poshyvach, A.H.Chubarev, O.A. Shorin, M.O. Iansons, YU.V. Sovych Chysel'na realizatsiya modyfikovanoho metodu pryamykh (Numerical implementation of the modified method of straight lines) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 74. – Kyiv, KNUBA, 2020. – p. 341-359. {in Ukrainian}



3. Koshevyi O.P., Levkivskyi D.V., Chubarev A.H., Iansons M.O. Modyfikovanyi metod pryamykh v statychnykh zadachakh visesymetrychnykh netonkykh plastyn (Modified method of direct lines in static problems of axisymmetric thin plates) // Scientific-and-technical collected articles “Strength of materials and theory of structures”. Issue 109. – Kyiv: KNUCA, 2022. – p. 342-358. ISSN 2410-2547 {in Ukrainian}

4. O.P. Koshevyi, D.V. Levkivskyi, M.O. Iansons, A.H. Chubarev, O.S. Marchuk Modelyuvannya temperaturnykh vplyviv v masyvnykh tilakh za dopomohoyu modyfikovanoho metoda pryamykh (Modeling temperature effects in massive bodies using of the modified method of direct lines) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 82. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 185- 197. {in Ukrainian}

5. O.P. Koshevyi, D.V. Levkivskyi, V.O. Kosheva, M.O. Iansons, A.H. Chubarev, O.S. Marchuk Pobudova kompleksnoyi modeli rekonstruktsiyi shlyakhoprovodu na osnovi obstezhennya z vykorystanniam vim-tekhnologiy (Construction of a complex reconstruction model overpass based on survey using vim-technologies) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 83. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 143-155. {in Ukrainian}

6. O.P. Koshevyi, D.V. Levkivskyi, V.O. Kosheva, M.O. Iansons, A.H. Chubarev, O.S. Marchuk Chysel'ne modelyuvannya prostorovoyi modeli shlyakhoprovodu dlya otsinky mitsnosti ta zhorstkosti na osnovi obstezhennya z vykorystanniam rozrakhunkovoho kompleksu LIRA (Numerical modeling of a spatial model overpass to assess the strength and rigidity based on the examination of using the calculation complex LIRA) // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 84. – Kyiv, KNUBA, 2023. – p. 171-180. {in Ukrainian}

7. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Trobyuk O.M. Systemno hrafichno-interpretovani modeli stvorennya enerhoefektyvnykh budivel' (System graphically interpreted models of creating energy-efficient buildings) // N.t. zbirnyk “Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika”. Vol. 100. Vidpovidal'nyy redaktor Vanin V. V. – Kyiv: KNUBA, 2021. – 230 s. p.172-181 {in Ukrainian}

8. Chubarev A.H. Pro zastosuvannya modyfikovanoho metoda pryamykh v zadachakh termoprzhnosti netonkykh plastyn (The application of the modified method of direct lines in problems of thermoelasticity of non-thin plates) // N. t. zbirnyk «Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya», vol. 80, K.:KNUBA, 2022. – p.486-498. {in Ukrainian}

9. Iansons M.O. Zastosuvannya uzahal'nenoho metodu pryamykh dlya doslidzhennya dynamichnoho napruzhenno-deformovanoho stanu kil'tsevykh netonkykh plastyn (Application of the generalized method of straight lines for study

of the dynamic stress-strain state of rings non-thin plates) // N.t. zbirnyk «Matematychni problemy tekhnichnoyi mekhaniky – 2021» Mizhnarodna naukova konferentsiya m. Dnipro, Kam"yans'ke 2021. {in Ukrainian}

10. Hryhor'yeva L.O. Ivanchenko H.M., Koshevyi O.O., Koshevyi O.P. Chysel'ne doslidzhennya parametrychnoyi optymizatsiyi vymushenykh chastot kolyvannya obolonky minimal'noyi poverkhni na trapetsevydnomu konturi pry termosylovomu navantazhenni (Numerical optimization of forced vibration frequencies of minimal surface shells under thermomechanical loading)// "Strength of materials and theory of structures". Issue 110. – Kyiv: KNUCA, 2023. – 313 p. 430-446. {in Ukrainian}

11. Chybiryakov V.K., Koshevyi O.P., Chubarev A.H. Pro odyn alhorytm dlya rozv"yazuvannya zadach termoprzhnosti na osnovi uzahal'nenoho metoda pryamykh (About one algorithm for solving problems of thermoelasticity based on the generalized method of straight lines) // BUILD-MASTER-CLASS-2018: Proceedings of international scientific-practical conference of young scientists. «Vydavnytstvo Lira-K». – Vyp. 74 –K.: KNUBA, 2018. – 190-191 s. {in Ukrainian}

12. Koshevyi O.P., Kosheva V.O., Levkivskyi D.V., Iansons M.O., Chubarev A.G., Marchuk O.S. Numerical simulation of stress-strain state of main pipelines at transitions and expansion joints areas under complex loading // Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vol. 85. – Kyiv, KNUBA, 2024. – p. 257-267. {in Ukrainian}