

УДК 624.191

### **А. С. Лапченко\***

к.т.н., старший науковий співробітник, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4037-5395>

Кафедра мостів, тунелів та гідротехнічних споруд

Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, Київ, Україна, 02000

\*автор-кореспондент, email: [las83@ukr.net](mailto:las83@ukr.net)

## **Порівняння послідовної та паралельної схем електродетонаторних мереж при проходженні тунелів**

Цитувати як:

Лапченко, А. С. (2026). Порівняння послідовної та паралельної схем електродетонаторних мереж при проходженні тунелів. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 53-65, [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-04)

© 2026, Автор. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Анотація. Підривні роботи в тунелях є складним інженерним процесом, що потребує точного контролю систем ініціювання вибуху. Електродетонатори широко застосовуються у підземному будівництві, де схема їх підключення (послідовна, паралельна) суттєво впливає на: безпеку, ефективність і надійність. У цій роботі представлено порівняльний аналіз послідовних і паралельних електричних схем підключення електродетонаторів у тунельних умовах. Проведено огляд актуальних досліджень і наукової літератури стосовно порівняння послідовної та паралельної схем електричних мереж детонаторів, що використовуються в тунельних вибухових роботах. На основі проведеного огляду поставлена мета та задачі дослідження щодо розрахунку, побудови та аналізу залежностей фізичних величин послідовної і паралельної схем електродетонаторних мереж від їх параметрів при проходженні тунелів. Сила струму в магістральному провіднику не здатна забезпечити гарантійний струм, величина якого повинна становити не менше 2,5 А, не залежно від величини розглянутої змінної напруги та за послідовно підключеної електричної мережі детонаторів. За паралельної схеми підключення мідної та алюмінієвої жили повністю забезпечують гарантійний струм в магістральному провіднику в усьому діапазоні досліджуваних його параметрів не залежно від величини змінної напруги при проходженні тунелів, окрім використання мідної магістральної жили довжиною 2000 м та площею поперечного перерізу 0,75 мм<sup>2</sup> за напруги 220 В. Оцінювана сталь за поперечного перерізу в 1,1 мм<sup>2</sup> не здатна забезпечити гарантований струм при довжині магістрального провідника 1000 м і більше та напрузі 380 В, а також при довжині магістрального провідника 500 м і більше та напрузі 220 В. При розробці великих тунелів одразу на всю площу поперечного перерізу, призначеного для залізничних тунелів з мінімум двома коліями або автомобільних доріг завширишки 10 м і більше, використання послідовної схеми*

*підключення детонаторів неможливо, доцільно використання паралельної схеми. Результати можуть бути корисними для інженерів при виборі систем ініціювання.*

*Ключові слова: алюміній, детонатор, мідь, опір дротів, оцинкована сталь, послідовна та паралельна електродетонаторна мережа, сила струму, тунель.*

## Вступ

### **Аналіз літературних джерел та постановка проблеми.**

Будівництво тунелів часто базується на буропідливних роботах для ефективного руйнування гірських масивів. Дуже часто застосування буропідливних робіт не потребує влаштування тунельної оправи або частини її елементів [1], в тому числі і з сучасних видів цементобетону [2], що в цілому сприяє економічній ефективності. Успіх підливних робіт залежить від правильного ініціювання вибухових речовин, яке здійснюється за допомогою детонаторів, включно з електродетонаторами [3-7]. В електродетонаторах ініціює вибухову речовину електрична енергія, яка подається через електричну підливну мережу: послідовну, паралельну або послідовно-паралельну [4-6, 8, 9]. Серед них послідовні та паралельні мережі виступають базовими для розуміння принципів проєктування підливних систем, особливо в умовах тунельних робіт з обмеженим простором і потребою в критично важливій точності.

Схема з'єднання електродетонаторів відіграє ключову роль у функціонуванні підливної системи [3-6, 8, 9], тому надзвичайно важливо розуміти всі переваги і недоліки застосування кожної з схем. Порівняльний аналіз застосування паралельної чи послідовної схем з'єднання електродетонаторних мереж в тунелебудуванні наведено в табл. 1.

Аналізуючи табл. 1 можна бачити, що послідовні та паралельні електричні кола електродетонаторних мереж мають свої переваги та недоліки. Послідовні схеми простіші та потребують менше енергії, але мають ризик повної відмови. Паралельні – більш надійні, але складніші в контролі та вимагають більших ресурсів.

Крім індивідуальних переваг і недоліків послідовної та паралельної схем електричної мережі детонаторів існує загальне обмеження – для всіх схем з метою забезпечення безвідмовного висадження необхідно, щоб розрахована сила струму була не менше гарантійного струму, величина якого повинна становити не менше 2,5 А при підриванні змінним струмом [4, 9]. В тунелебудуванні джерелом живлення дуже часто виступає змінний струм від освітлювальної чи силової електромережі напругою 220 В чи 380 В [4, 5, 9]. При електропідриванні для передачі струму від джерела до електродетонаторів застосовують різні види дротів з

потрібними характеристиками: матеріалом жили дроту [4, 5, 9], певною площею поперечного перерізу [4, 5], видом ізоляції жили дроту [5] та призначенням дроту [4, 5].

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз застосування послідовної та паралельної схем електричних підливних мереж в тунелебудуванні.

Параметр	Обговорення	Послідовна схема	Паралельна схема	Джерело посилання
1	2	3	4	5
Струм	<p>У послідовному колі всі детонатори з'єднані один за одним, утворюючи єдиний шлях струму.</p> <p>У паралельному колі детонатори підключені до спільних шин живлення, утворюючи кілька гілок.</p> <p>В послідовній схемі потрібен менший струм порівняно з паралельними схемами.</p>	Однаковий	Розподілений	7, 8, 10, 11
Опір	<p>Послідовне коло – загальний опір дорівнює сумі опорів. Паралельне коло – загальний опір зменшується. Це означає, що паралельні кола потребують більшого струму.</p>	Високий	Низький	11
Потужність	<p>В паралельній схемі потрібне потужніше джерело живлення.</p>	Низька	Висока	11
Надійність	<p>Послідовні схеми більш чутливі до механічних пошкоджень, що особливо актуально в умовах тунелю.</p>	Нижча	Вища	7, 10, 11
Діагностика	<p>Послідовні кола прості у проектуванні та перевірці. Можна перевірити всю систему послідовної мережі з безпечної відстані.</p>	Легка (проста)	Складна	10, 11

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
	Важко перевірити кожен гілку паралельної схеми після монтажу.			
Ризик відмови	Пошкодження одного елемента в послідовній схемі призводить до відмови всієї системи. Відмова одного детонатора в паралельній схемі не впливає на інші. Через нерівномірний розподіл струму в паралельній мережі виникає ризик неповного підриву.	Повний	Частковий	7, 10, 11
Особливості застосування	У паралельних схемах можливий нерівномірний розподіл струму через різницю опорів, що може призвести до відмови ініціювання. Паралельні схеми іноді застосовуються через простоту монтажу, тоді як послідовні – для більш контрольованого підриву. Паралельну схему зручно використовувати у складних умовах, за рахунок гнучкості монтажу.	Контрольовані вибухи	Складні мережі	11
Безпека	Послідовні кола зменшують ризик часткового підриву. Паралельні кола можуть залишати нездетоновані заряди.	Безпечніші	Менш безпечніші	7, 8, 9

Крім індивідуальних переваг і недоліків послідовної та паралельної схем електричної мережі детонаторів існує загальне обмеження – для всіх схем з метою забезпечення безвідмовного висадження необхідно, щоб розрахована сила струму була не менше гарантійного струму, величина якого повинна становити не менше 2,5 А при підриванні змінним струмом

[4, 9]. В тунелебудуванні джерелом живлення дуже часто виступає змінний струм від освітлювальної чи силової електромережі напругою 220 В чи 380 В [4, 5, 9]. При електропідриванні для передачі струму від джерела до електродетонаторів застосовують різні види дротів з потрібними характеристиками: матеріалом жили дроту [4, 5, 9], певною площею поперечного перерізу [4, 5], видом ізоляції жили дроту [5] та призначенням дроту [4, 5].

Компонування магістральних, з'єднувальних та інших дротів з різним матеріалом жили та її площею поперечного перерізу за різної кількості детонаторів з одночасним застосуванням певної схеми може давати безліч різних варіантів. Для конкретного потрібного варіанту розраховуються опір дротів і електродетонаторів, а також визначають силу струму в магістральних дротах та детонаторах. Потім перевіряється забезпечення у відповідності до гарантійного струму. Перевірка кожного разу певного варіанту електричної мережі детонаторів з їх коригуванням може вимагати певного часу в розрахунках і може бути доволі громіздкою справою. Побудова типових залежностей розрахункового опору електричної мережі детонаторів та сили струму в магістральних дротах та детонаторах від параметрів дротів і їх довжини при потрібній кількості детонаторів значно спростила б процес підбору параметрів дроту. Також навпаки, за відомими параметрами дротів електродетонаторної мережі можна швидко знайти опір електричної мережі та силу струму. На сьогоднішній момент відсутні побудовані типові залежності фізичних величин послідовної та паралельної електродетонаторної мережі від її параметрів при проходженні тунелів.

**Мета і завдання дослідження.** Отримання, порівняння розрахункового опору електричної мережі детонаторів та сили струму в магістральних дротах при послідовному і паралельному з'єднанні від параметрів дротів і їх довжини при проходженні тунелів.

Для досягнення сформульованої мети потрібно розв'язати такі завдання: огляд актуальних досліджень і наукової літератури; розрахунок та побудова залежностей фізичних величин послідовної і паралельної схем електродетонаторних мереж від їх параметрів при проходженні тунелів; аналіз побудованих залежностей та встановлення можливості застосування певних видів дротів при проходженні тунелів потрібної довжини залежно від послідовної чи паралельної схем підключення.

### **Матеріали та методи**

Для розрахунку електричної мережі було прийнято 140 детонаторів, як усереднене значення потрібної кількості при проходженні залізничних та автомобільно-дорожніх тунелів суцільним вибоєм за одну заходку за

ширини майбутнього тунелю 10 м і більше. Для розрахунку використовували дроти з наступних матеріалів жили: мідь, алюміній, оцинкована сталь. Площі поперечних перерізів жил магістральних провідників становили: оцинкована сталь – 1,1 мм<sup>2</sup>, мідь – 0,75-10 мм<sup>2</sup>, алюміній – 2,5-10 мм<sup>2</sup>. Вибір типорозміру магістрального провідника був обумовлений номенклатурою випуску вітчизняними та закордонними виробниками. Розрахунок опору електричної мережі детонаторів та сили струму в магістральних дротах за послідовної та паралельної схем підключення проведено на основі відомих фізичних формул згідно з [12].

### Результати та обговорення

На рис. 1 та рис. 2 відповідно наведено залежність загального опору електропровідної мережі за послідовної та паралельної схем підключення в залежності від матеріалу, довжини та площі поперечного перерізу жили магістрального провідника при застосуванні одного виду мідних з'єднувальних дротів з площею поперечного перерізу жили 0,5 мм<sup>2</sup> та одного виду детонаторного мідного проводу з площею поперечного перерізу жили 0,2 мм<sup>2</sup>. Застосування такого виду з'єднувальних і детонаторних дротів обумовлено найбільшою їх розповсюдженістю у вітчизняних і закордонних виробників з одночасно мінімально допустимою витратою матеріалу жили дроту.

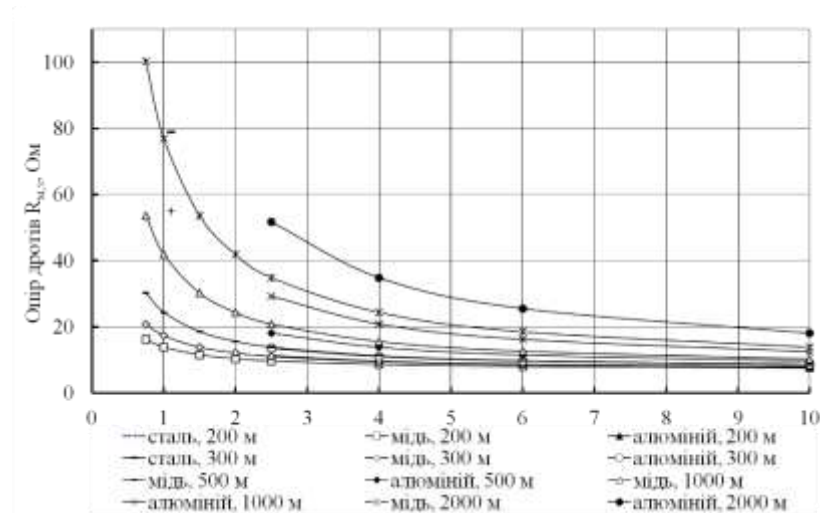


Рис. 1 – Залежність загального опору електропровідної мережі за послідовної схеми підключення в залежності від параметрів магістрального провідника.

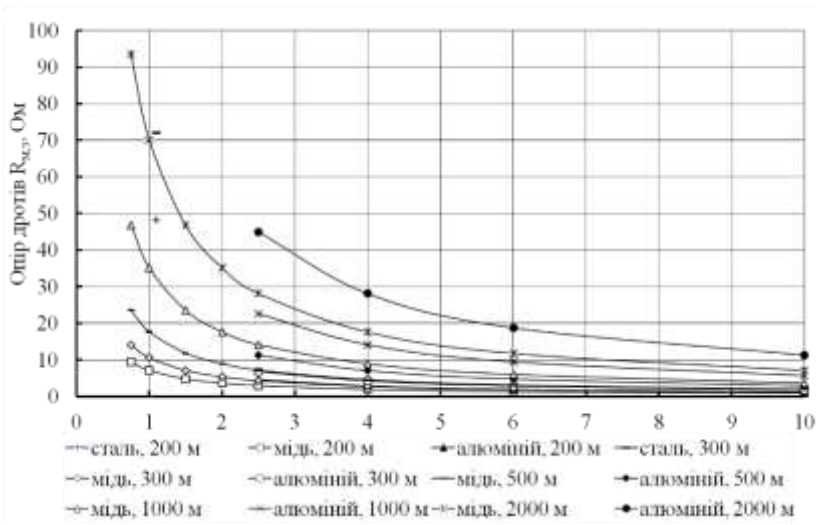


Рис. 2 – Залежність загального опору електропровідної мережі за паралельної схеми підключення в залежності від параметрів магістрального провідника.

Незалежно від схеми підключення отриманий загальний опір електропровідної мережі збільшується при переході матеріалу жили від міді до алюмінію і потім сталі, а також при збільшенні довжини дротів і зменшенні площі поперечного перерізу жили, що повністю узгоджується з закономірностями фізичних явищ. Близькість значень загального опору електропровідної мережі за паралельної та послідовної схем підключення пояснюється відсутністю врахування електричного опору самих детонаторів для залежностей представлених на рис. 1 та рис. 2. Однак, врахування схеми підключення для з'єднувальних дротів вносить не значні відмінності у значеннях загального опору наведених залежностей, бо магістральні дроти для обох схем мають однаковий електричний опір.

Сила струму в магістральному провіднику за послідовної схеми підключення електропровідної мережі детонаторів при проходженні тунелів залежно від матеріалу, довжини та площі поперечного перерізу його жили за напруги 380 В коливається в межах від 0,47 А до 1,15 А, а за напруги 220 В – від 0,27 А до 0,67 А. Така сила струму в магістральному провіднику не здатна забезпечити гарантійний струм, величина якого повинна становити не менше 2,5 А, не залежно від величини змінної напруги.

На рис. 3 та рис. 4 наведено залежності величини сили струму в магістральному провіднику паралельної електропровідної мережі детонаторів при проходженні тунелів від матеріалу, довжини та площі поперечного перерізу його жили за напруги 380 В та 220 В, відповідно. Характеристики з'єднувальних та детонаторних дротів в цьому випадку такі ж як і при визначенні опору дротів чи визначенні сили струму в магістральному провіднику за послідовної схеми приєднання детонаторів.

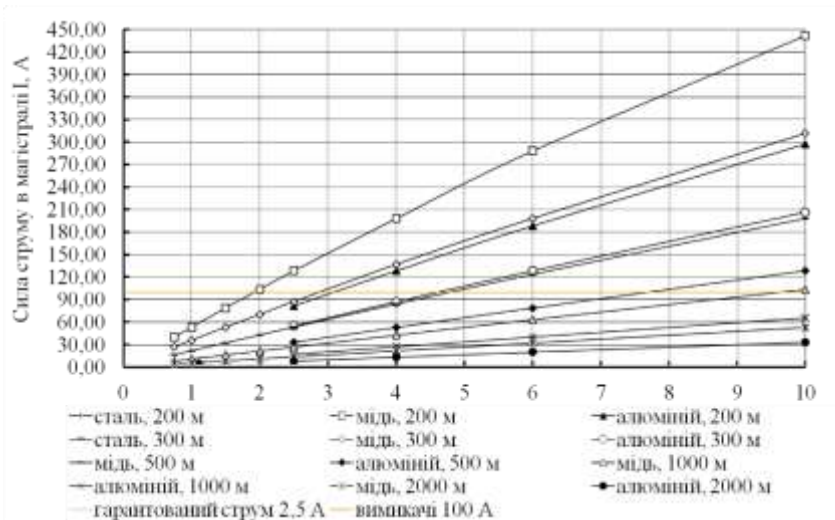


Рис. 3 – Залежність сили струму в магістральному провіднику електропровідної мережі при паралельній схемі підключення від його параметрів за змінної напруги 380 В.

Величина сили струму в мережі не залежно від послідовної чи паралельної схеми приєднання детонаторів зменшується при: переході жили проводу від міді до алюмінію і сталі або зменшенні її поперечного перерізу; збільшенні довжини дротів та збільшенні кількості детонаторів. Такі процеси повністю узгоджуються з загально-фізичними явищами.

Зменшення змінної напруги з 380 В до 220 В закономірно призводить до зменшення сили струму в магістральному провіднику. Мідна та алюмінієва жили повністю забезпечують гарантійний струм не менше 2,5 А в усьому дослідженому діапазоні параметрів провідника, крім використання мідної магістральної жили довжиною 2000 м та площею поперечного перерізу  $0,75 \text{ мм}^2$  за напруги 220 В. Оцинкована сталь за поперечного перерізу в  $1,1 \text{ мм}^2$  також не здатна забезпечити гарантований

струм при довжині магістрального провідника 500 м і більше та напрузі 220 В, а також при довжині магістрального провідника 1000 м і більше та напрузі 380 В (ці дані не винесені на графічне зображення рис. 3 та рис. 4 через інше потрібне масштабування шкал).

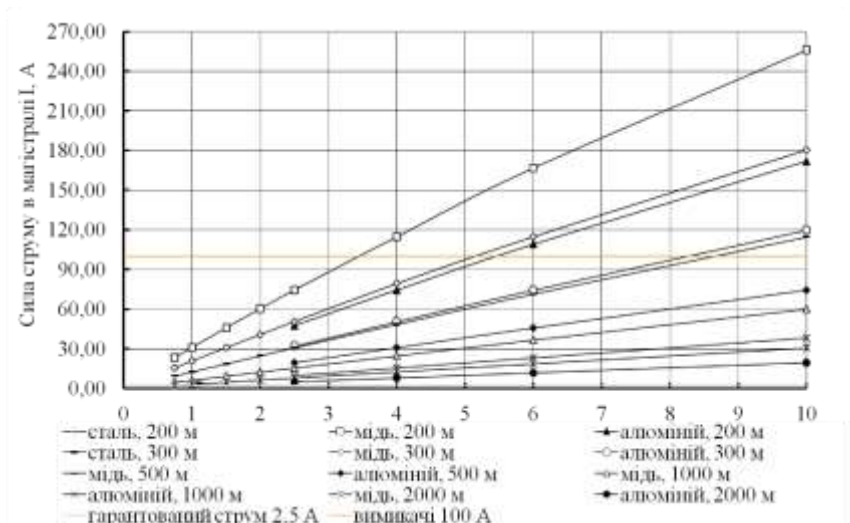


Рис. 4 – Залежність сили струму в магістральному провіднику електропровідної мережі при паралельній схемі підключення від його параметрів за змінної напруги 220 В.

Крім гарантованого струму в магістральному провіднику не залежно від послідовної чи паралельної схеми приєднання детонаторів в електричній мережі повинна бути забезпечена і інша умова, щодо не перевищення сили струму в мережі через приєднані різні контролюючі прилади та допоміжне обладнання, зокрема автоматичні промислові вимикачі. В основному вітчизняні та зарубіжні автоматичні вимикачі промислового призначення здатні витримувати силу струму яка б не перевищувала 100 А. Саме тому другою обмежувальною прямою на рис. 3 та рис. 4 крім гарантованого струму в 2,5 А позначено обмеження для автоматичних вимикачів в 100 А. Таким чином, користуючись рис. 3 та рис. 4, можна підбирати оптимальні параметри магістрального провідника, які гарантують потрібну силу струму від 2,5 А до 100 А за паралельного приєднання детонаторів та змінної напруги в 220 В та 380 В.

### **Висновки**

Проведено огляд наукової літератури та наведено актуальні дослідження стосовно схем електричних мереж з'єднання детонаторів, що використовуються в тунельних вибухових роботах. На основі проведеного огляду поставлена мета та задачі дослідження щодо порівняння розрахункового опору електричної мережі детонаторів та сили струму в магістральних дротах при послідовному і паралельному з'єднанні від параметрів дротів і їх довжини при проходженні тунелів. Сила струму в магістральному провіднику не здатна забезпечити гарантійний струм, величина якого повинна становити не менше 2,5 А, не залежно від величини розглянутої змінної напруги та за послідовно підключеної електричної мережі детонаторів. За паралельної схеми підключення мідна та алюмінієва жили не забезпечують гарантійний струм при використанні: мідної магістральної жили довжиною 2000 м та площею поперечного перерізу  $0,75 \text{ мм}^2$  за напруги 220 В; оцинкованої сталі за поперечного перерізу в  $1,1 \text{ мм}^2$  при довжині магістрального провідника 1000 м і більше та напрузі 380 В, а також при довжині магістрального провідника 500 м і більше та напрузі 220 В. При розробці великих тунелів одразу на всю площу поперечного перерізу, призначеного для залізничних тунелів з мінімум двома коліями або автомобільних доріг I та II технічних категорій, використання послідовної схеми підключення детонаторів неможливо, доцільно використання паралельної схеми.

### **Конфлікти інтересів**

Автор заявляє, що у нього немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

### **Фінансування**

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### **Доступність даних**

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

### **Використання штучного інтелекту**

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

### **References**

1. Aivazov, Yu.M. (2005). Survey and design of mountain transport tunnels. (Vol. 1). Kyiv: NTU. ISBN 978-966-632-098-1. ISBN 978-966-632-098-1. [in Ukrainian].

2. Lapchenko, A.S. (2025). The influence of ground blast furnace slag and plasticizing additive on the strength properties of road concrete. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 23, 143-154. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-14) [in Ukrainian].

3. Lapchenko, A.S. (2025). Disadvantages's evaluation of drilling and blasting works in various rock. *Collection of research papers of the National mining university*, 83 (4), 280-287. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.280> [in Ukrainian].

4. Symanovich, G.A., Khomenko, O.E., Kononenko, M.M. (2014). Destruction of rocks by explosion. *Dnipropetrovsk: NGU*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322096252\\_RUJNUVANNA\\_GIRSKIH\\_PORI\\_D\\_VIBUHOM](https://www.researchgate.net/publication/322096252_RUJNUVANNA_GIRSKIH_PORI_D_VIBUHOM) [in Ukrainian].

5. Aivazov, Yu.M., Pidgorny, O.V. (1998). *Methodological guidelines for the implementation of a course project in the discipline "Underground transport structures"*. Kyiv: UTU. URL: [http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page\\_lib.php](http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page_lib.php) [in Ukrainian].

6. Electric and non-electric detonators: what is the difference? Published in *Mining Industry: веб-сайт*. URL: <https://www.miningdoc.tech/2025/04/15/electric-and-non-electric-detonators-what-is-the-difference>

7. Zhang, Y., Zhou, J., Li, J. et al. (2025). Advancing overbreak prediction in drilling and blasting tunnel using MVO, SSA and HHO-based SVM models with interpretability analysis. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* Vol. 11. 53 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40948-025-00963-1>

8. Cardu M., Martinelli D., Todaro C. (2024). *Industrial Explosives and their Applications for Rock Excavation*. London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group <https://doi.org/10.1201/9781003241973>

9. Shi J.-J., Guo S.-C., Zhang W. (2022). Expansion of Blast Vibration Attenuation Equations for Deeply Buried Small Clearance Tunnels Based on Dimensional Analysis. *Frontiers in Earth Science*. № 10. 889504. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.889504>

10. Silva J., Li L., Gernand J. M. Reliability analysis for mine blast performance based on delay type and firing time. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Volume 28. Issue 2. P. 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.004>

11. Study guide for the general blasters examination: Division of Mine Reclamation and Enforcement Explosives and Blasting Branch / Ed. M. Brashear. Kentucky: Institute of makers of explosives, 2011. – 76 p. URL: <https://eec.ky.gov/Natural-Resources/Mining/Reclamation-Enforcement/explosives-blasting.pdf>

12. Baryakhtar, V. G., Dovgy, S. O., Bozynova, F. Ya., Kiryukhina, O. O. (2019). *Physics*. Kharkiv: Publishing house "Ranok". ISBN 978-617-09-5236-3 [in Ukrainian].

### Література

1. Вишукування і проектування гірських транспортних тунелів. В 3 ч. Ч. 1 / Ю.М. Айвазов. Київ: НТУ, 2005. 187 с. ISBN 978-966-632-098-1.

2. Лапченко А.С. Вплив меленого доменного шлаку та пластифікуючої добавки на міцнісні властивості дорожнього бетону. *Сучасні технології та*

методи розрахунків у будівництві. 2025. № 23. С. 143-154. DOI: [10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-14)

3. Лапченко А.С. Оцінка недоліків проведення буровибухових робіт в різних гірських масивах. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*. 2025. № 83 (4). С. 280-287. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.280>

4. Симанович Г.А., Хоменко О.Є., Кононенко М.М. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посіб.. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 207 с. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322096252\\_RUJNUVANNA\\_GIRSKIH\\_PORID\\_VIBUHOМ](https://www.researchgate.net/publication/322096252_RUJNUVANNA_GIRSKIH_PORID_VIBUHOМ) (дата звернення: 02.04.2026).

5. Айвазов Ю.М., Підгорний О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Підземні транспортні споруди» для студентів спеціальності 2911 «Мости та транспортні тунелі». Київ: УТУ, 1998. 36 с. URL: [http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page\\_lib.php](http://lib.ntu.edu.ua/catalog/page_lib.php) (дата звернення: 02.04.2026).

6. Electric and non-electric detonators: what is the difference? Published in Mining Industry: веб-сайт. URL: <https://www.miningdoc.tech/2025/04/15/electric-and-non-electric-detonators-what-is-the-difference> (дата звернення: 02.04.2026).

7. Zhang, Y., Zhou, J., Li, J. et al. Advancing overbreak prediction in drilling and blasting tunnel using MVO, SSA and ННО-based SVM models with interpretability analysis. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* 2025. Vol. 11. 53 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40948-025-00963-1>

8. Cardu M., Martinelli D., Todaro C. Industrial Explosives and their Applications for Rock Excavation. London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2024. – 240 p. <https://doi.org/10.1201/9781003241973>

9. Shi J.-J., Guo S.-C., Zhang W. Expansion of Blast Vibration Attenuation Equations for Deeply Buried Small Clearance Tunnels Based on Dimensional Analysis. *Frontiers in Earth Science.* 2022. № 10. 889504. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.889504>

10. Silva J., Li L., Gernand J. M. Reliability analysis for mine blast performance based on delay type and firing time. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2018. Volume 28. Issue 2. P. 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.004>

11. Study guide for the general blasters examination: Division of Mine Reclamation and Enforcement Explosives and Blasting Branch / Ed. M. Brashear. Kentucky: Institute of makers of explosives, 2011. – 76 p. URL: <https://eec.ky.gov/Natural-Resources/Mining/Reclamation-Enforcement/explosives-blasting.pdf> (дата звернення: 02.04.2026).

12. Фізика: підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.] ; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 272 с. ISBN 978-617-09-5236-3.

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 08.04.2026	Received 08.04.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 08.04.2026	Received in revised form 08.04.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

## **A. S. Lapchenko\***

Ph.D. in Engineering, Senior Researcher, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4037-5395>  
Department of bridges, tunnels and hydraulic structures  
National Transport University, St. M. Omelyanovycha-Pavlenko, 1, Kyiv, Ukraine, 02000

\*corresponding author, e-mail: [las83@ukr.net](mailto:las83@ukr.net)

## **Comparison of series and parallel electrodetonator network when passing tunnels**

How to Cite:

Lapchenko, A. S. (2026). Comparison of series and parallel electrodetonator network when passing tunnels. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 25, 53-65, [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-04)

*Abstract. Tunnel blasting is a complex engineering process that requires precise control of explosion initiation systems. Electric detonators are widely used in underground construction, where their connection scheme (serial, parallel) significantly affects: safety, efficiency and reliability. This paper presents a comparative analysis of serial and parallel electrical circuits for connecting electric detonators in tunnel conditions. The review of current research and scientific literature on the comparison electrical network's serial and parallel circuits of detonators used in tunnel blasting works is conducted. Based on the review, the goal and objectives of the study are set to calculate, construct and analyze the physical quantities' dependences of electric detonator network's serial and parallel circuits on their parameters when passing through tunnels. . The current strength in the main conductor is not able to provide a guarantee current, the value of which must be at least 2.5 A, regardless of the considered alternating voltage's value and the serially connected detonator's electrical network. With a parallel connection scheme, copper and aluminium conductors fully provide the guaranteed current in the main conductor at the entire range of its parameters under study, regardless of the alternating voltage's value when passing through tunnels, except for the use of a copper main conductor with a length of 2000 m and a cross-sectional area of 0.75 mm<sup>2</sup> at a voltage of 220 V. Galvanized steel with a cross-sectional area of 1.1 mm<sup>2</sup> is not able to provide the guaranteed current at the main conductor 1000 m length or more and the 380 V voltage, as well as at the main conductor 500 m length or more and the 220 V voltage. When developing large tunnels at once for the entire cross-sectional area intended for railway tunnels with at least two tracks or highways 10 m or more wide, the use of a serial connection scheme for detonators is impossible; it is advisable to use a parallel scheme. The results may be useful for engineers when selecting initiation systems.*

*Keywords: aluminium, copper, current strength, detonator, galvanized steel, series and parallel electrodetonator network, tunnel, wire resistance.*