

УДК 624.138

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2025.47.2025.8>**Рудін А. А.**

аспірант кафедри технології будівельного виробництва

Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури  
Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро

ORCID: 0000-0003-4215-3884

**Несевря П. І.**

к.т.н., доцент кафедри технології будівельного виробництва,

Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури  
Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро

ORCID: 0000-0003-2371-7381

**КОРЕЛЯЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБВОДНЕНИХ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ  
М. ДНІПРО МЕТОДАМИ ДИНАМІЧНОГО ТА СТАТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ**

***Анотація.** Попри тривалу історію використання методу динамічного зондування для інженерно-геологічних досліджень, досі залишається неузгодженим питання коректної інтерпретації результатів, отриманих за допомогою малогабаритних ручних динамічних зондів. Більшість існуючих досліджень зосереджені на спробах встановлення прямих кореляційних залежностей між показниками динамічного та статичного зондування без урахування конструктивних особливостей зондів та їх метрологічної взаємозамінності. Такий підхід значно обмежує можливість порівняння результатів різних методів, особливо в умовах використання нестандартизованих або дослідних моделей малогабаритних зондів. Актуальним залишається питання створення уніфікованого підходу до побудови системи кореляційних залежностей, що передбачає врахування перехідних етапів між нестандартними ручними приладами та стандартними установками статичного зондування. Особливої складності набуває ця задача при дослідженні лесових ґрунтів, які характеризуються високою варіабельністю фізико-механічних властивостей та чутливістю до зволоження.*

*Стаття присвячена польовому методу оцінки властивостей обводнених лесових ґрунтів із застосуванням малогабаритних пристроїв методом динамічного зондування і кореляція результатів з результатами отриманими методом статичного зондування.*

*З'ясовано, що виведені в результаті випробувань малогабаритними динамічними зондами замочених лесових ґрунтів нижче рівня ґрунтових вод кореляційні залежності між показниками динамічного та статичного зондування є достатньо стійкими, хоча й були отримані на обмеженій базі вихідних даних.*

*В результаті проведених досліджень лесових ґрунтів встановлено, що малогабаритні зонди можуть бути використані при проведенні інженерних вишукувань на лесових ґрунтах, у тому числі й замочених, особливо при вирішенні нестандартних задач у специфічних умовах (зокрема зондування через фундаментні плити в підвалах будівель з метою вивчення складу та стану ґрунтів основ, у пазухах котлованів тощо).*

*Виявлені відмінності характеристик, отриманих під час динамічного зондування різних ярусів лесових ґрунтів м. Дніпро, дозволяють стверджувати про наявність властивих лише їм характерних особливостей, зокрема й графічного типу.*

**Ключові слова:** зондування, дослідження ґрунтів, методи дослідження фундаментів і основ, інструментальні методи, ґрунти, геологічні умови.

**Постановка проблеми.** Виконання досліджень масиву лесових ґрунтів методом зондування потребує одночасного врахування

багатьох факторів, зокрема технічних характеристик зонду, рівня розташування ґрунтових вод та врахування регіонального розташування

майданчику дослідження для застосування відповідних кореляційних залежностей для обробки результатів досліджень. Особливої складності набуває дослідження зондуванням обводнених лесових ґрунтів та встановлення кореляційних залежностей для таких ґрунтів при їх дослідженні методом статичного і динамічного зондування.

**Аналіз останніх публікацій.** Аналіз більшості наявних на сьогоднішній день розробок у сфері динамічного зондування показав, що основна увага дослідників приділена встановленню кореляційних залежностей між результатами випробувань ґрунтів динамічними зондами, у тому числі й малогабаритними, та стандартними установками статичного зондування [1–4] та зазначається, що одним із складних випадків залишається встановлення надійних кореляційних зв'язків саме для лесових ґрунтів.

**Мета роботи:** виконання порівняльних досліджень обводнених лесових ґрунтів м. Дніпро методами статичного та динамічного зондування і аналіз отриманих результатів.

**Результати досліджень.** Об'єктом дослідження методом динамічного зондування були розкриті будівельним котлованом четвертинні еолово-делювіальні ґрунти, представлені такими різновидами (нумерація шарів згори донизу згідно з матеріалами інженерних вишукувань на ділянці):

– шар 5 (vdQIIIud). Супіски лесові удайського горизонту, світло-жовті, пластичні, карбонатизовані, з поодинокими вкрапленнями гідрооксидів марганцю. Залягають під суглинками шару 4 потужністю від 0,5 до 2,7 м;

– шар 6 (edQIIIpl). Суглинки лесові прилуцького горизонту, жовтувато-бурі, темно-бурі, м'якопластичні, з прошарками та лінзами пластичних супісків, карбонатизовані. Потужність шару – 1,9–4,2 м. Фактично є основним досліджуваним шаром;

– шар 7 (vdQIII dn). Супіски лесові дніпровського горизонту, палево-жовті, пластичні, з прошарками суглинків, у підшві запіщані, з рідкісними жовнаками карбонатів. Залягають повсюдно потужністю від 2,4 до 5,9 м.

Особливістю ділянки є розташування рівня ґрунтових вод у середньому на 1 м нижче дна котловану – фактично на межі між 5 та 6 шарами.

На момент початку проведення досліджень на цій ділянці в котловані ще тривали роботи з улаштування пальових фундаментів (рис. 1). На даному етапі досліджень ручним зондом зі дна котловану були досліджені ґрунти шарів 5 (частково, поблизу підшви шару), 6 (повністю, по всій товщі), 7 (частково, в покрівлі шару), представлені лесовими супісками та лесовими суглинками пластичної консистенції, які є проєктною основою плити ростверку пальового фундаменту майбутньої будівлі.



Рис. 1. Майданчик проведення досліджень з позначенням точок зондування (т.д.з. № 1 зліва, т.д.з. № 2 справа)

Для проведення досліджень ґрунтів шарів 5, 6, 7 зі дна котловану на відм. 63,00–64,05 м було виконано зондування в 3-х точках (рис. 2) глибиною до 3,7 м (т.д.з. № 1, т.д.з. № 2, т.д.з. № 3). Вибір точок і на даному етапі досліджень визначався виконанням будівельних робіт у котловані та переміщенням будівельної техніки. Точка зондування № 1 була намічена безпосередньо біля точки статичного зондування № 1 та розвідувальної свердловини № 2, пройдених на стадії вишукувань, з метою зіставлення отриманих при зондуванні обома методами даних з фізико-механічними властивостями лесових ґрунтів, а також виведення кореляційних залежностей між параметрами динамічного та статичного зондування. Слід зазначити, що виконання статичного зон-

дування лесової товщі в гірничо-технічних умовах міста здійснювалося вкрай рідко, і з цієї причини наявні нечисленні архівні дані мають значну цінність для дослідницьких цілей.

Порівняння загального вигляду графіків зондування (залежності параметрів  $N/P_d$  від глибини  $H$ ) у всіх точках (рис. 3–5) загалом свідчить про відносну однорідність складу лесових суглинків шару 6. Деяко відмінний графік у т.д.з. № 3 порівняно з графіками в т.д.з. № 1 та № 2 зумовлений більшою ступеню насиченості водою ґрунтів досліджуваної товщі, ймовірно, внаслідок тривалого впливу витоків із пошкоджених водонесучих комунікацій на прилеглий до контуру цієї частини котловану території суміжної житлової забудови.

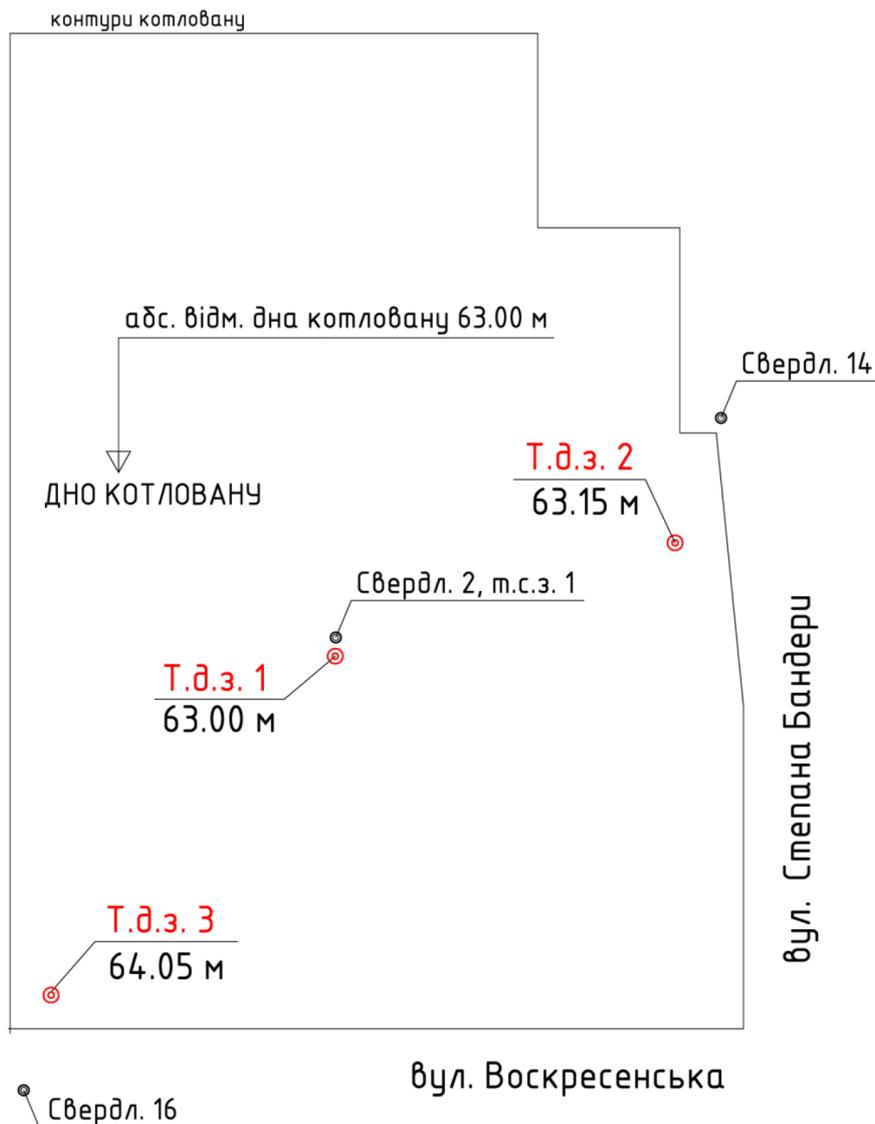


Рис. 2. Схема розташування точок зондування в котловані

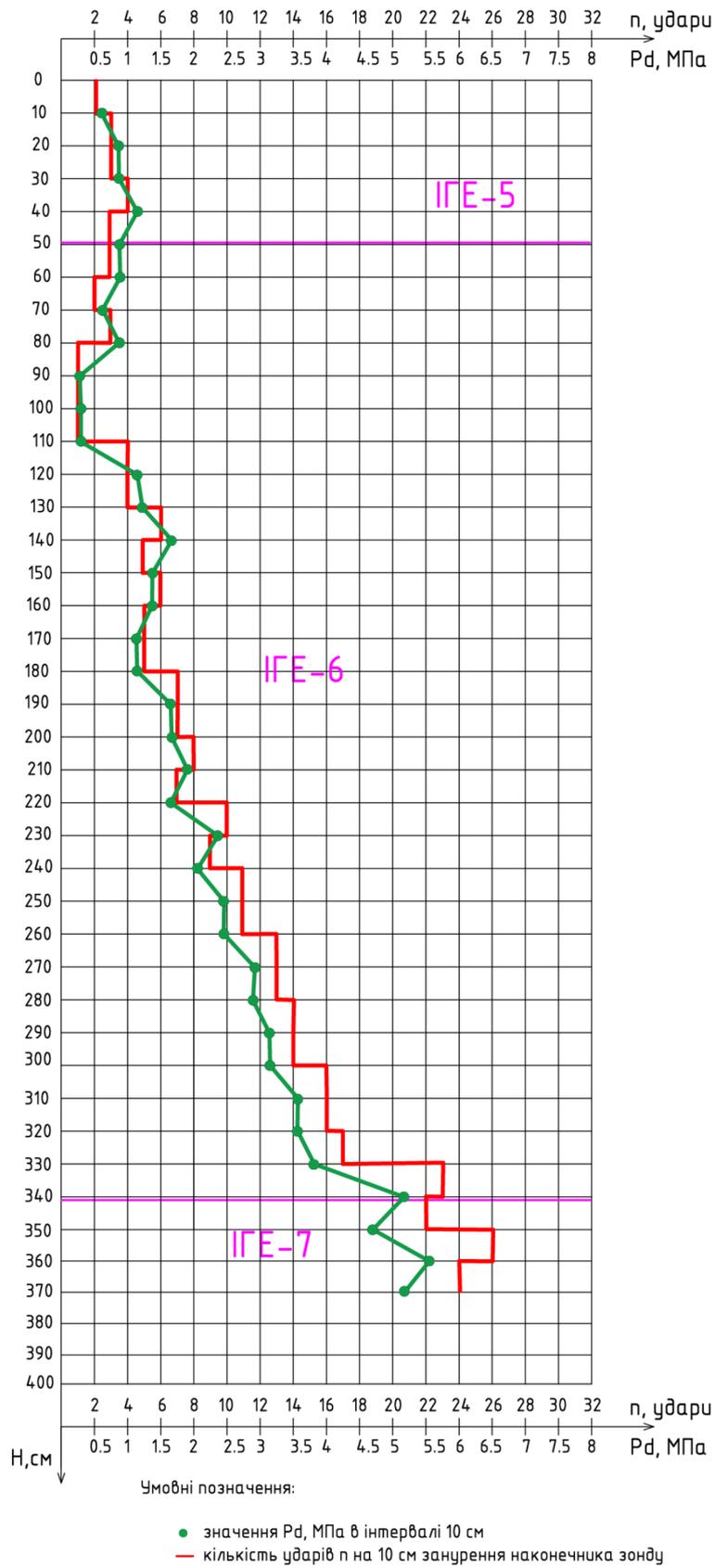


Рис. 3. Графік зондування лесової товщі шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 1 в котловані

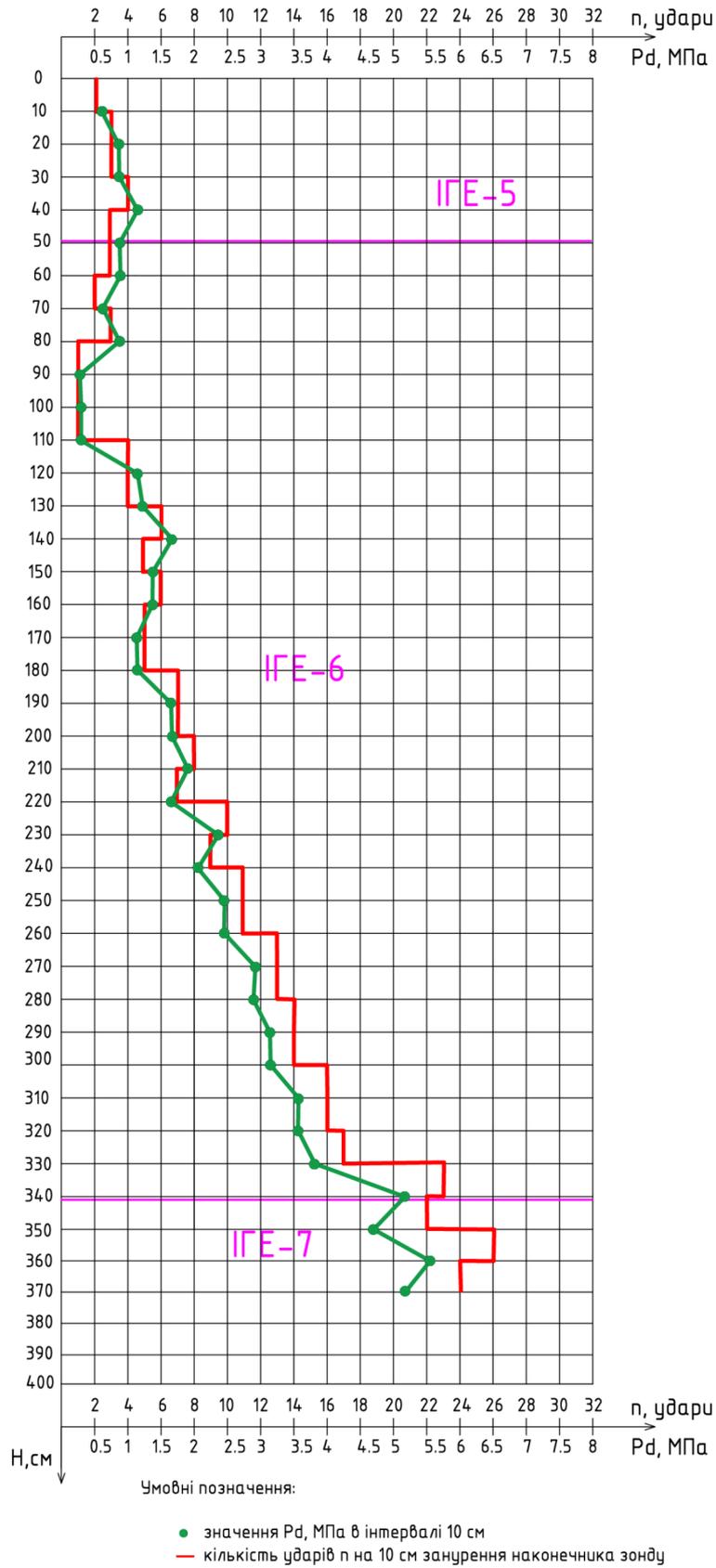


Рис. 4. Графік зондування лесової товщі шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 2 в котловані

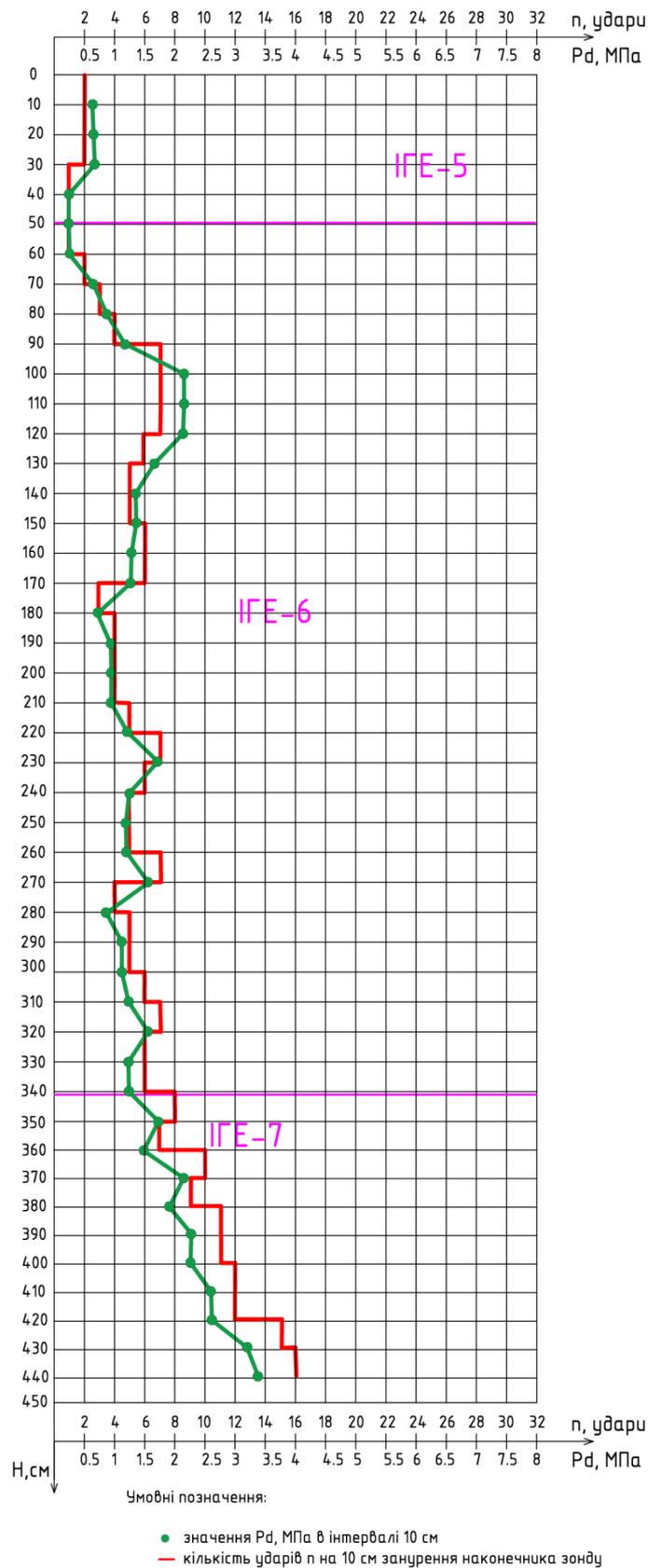


Рис. 5. Графік зондування лесової товщі шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 3 в котловані

Це також підтверджується графіками та частковими рівняннями залежності між  $P_d$  та  $N$  для лесових суглинків шару 6 в точках, що досліджуються (рис. 6):

Для т.д.з № 1:

$$N = 4,861P_d - 12\,979. \quad (1)$$

Для т.д.з № 2:

$$N = 4,7087P_d - 0,8242 \quad (2)$$

Для т.д.з № 3:

$$N = 4,6781P_d - 0,5904 \quad (3)$$

Причому шари 5 та 7 по всіх трьох точках зондування були виключені з інтервалу порівняння. Лесові супіски шару 5 – через розташування інтервалу зондування обмеженої потужності в підшві шару, до того ж поблизу дзеркала ґрунтових вод. А лесові супіски шару 7 – також через обмежений за глибиною інтервал зондування, що був приурочений лише до покрівлі цього шару і не відображає усіх особливостей будови товщі. У т.д.з. № 3 лесові супіски шару 7 не досліджувалися, оскільки залягали глибше.

Для визначення характеру можливої залежності між параметрами зондування та фізико-механічними властивостями лесових ґрунтів досліджуваної площадки використовувалися матеріали інженерно-геологічних вишукувань, виконані ДП «ДніпроДНТР» у 2006 та 2014 роках, а також збережені архівні матеріали інженерних вишукувань у межах міської території [16, 17]. Врахову-

ючи той факт, що ґрунти цієї площадки на стадії виконання інженерних вишукувань також вивчалися методом статичного зондування, було доцільно провести порівняльний аналіз результатів статичного зондування стандартною установкою з обладнанням ПКА-15 «Касета» та динамічного зондування малогабаритним зондувальним пристроєм. На основі цього аналізу передбачалося встановити кореляційні залежності типу  $N/q_c$  та  $P_d/q_c$  в інтервалі порівняння, орієнтуючись на глибину зондування лесових ґрунтів шарів 5, 6, 7 малогабаритним зондувальним пристроєм, виконаного зі дна котловану в точці зондування № 1. Також, враховуючи наявність фактора інваріантності значень  $P_d$ , отриманих різними зондами для лесових ґрунтів площадок у Соборному районі міста, передбачалося, що цей фактор інваріантності буде характерний і при дослідженнях лесових супісків та суглинків шарів 5, 6, 7 аналогічної консистенції на цій площадці.

За результатами аналізу даних статичного зондування на стадії вишукувань у точці статичного зондування № 1 біля свердловини № 2 та динамічного зондування у точці динамічного зондування № 1 було виведено для зазначених горизонтів лесових ґрунтів пластичної консистенції низку кореляційних рівнянь. Зокрема, кореляційні рівняння між показниками  $N$ ,  $P_d$  та питомим опором під конусом зонду  $q_c$ , МПа, мають наступний вигляд (рис. 7):

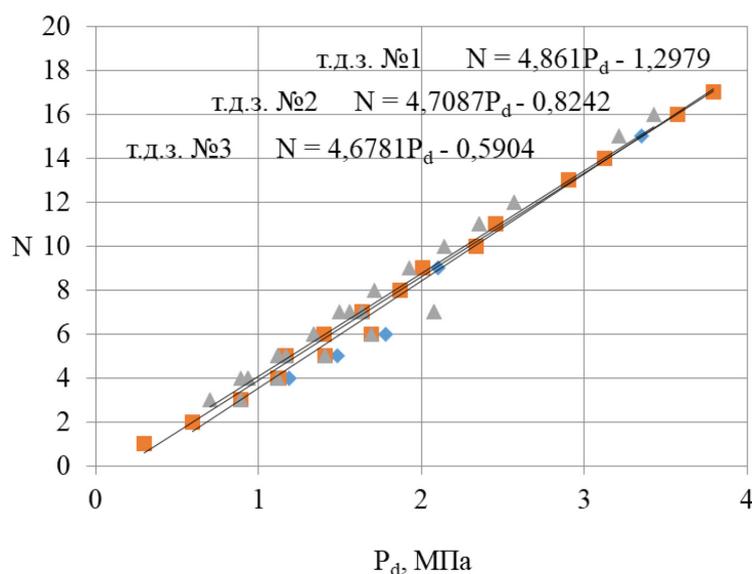


Рис. 6. Графіки і рівняння залежності між  $P_d$  та  $N$  для лесових суглинків шару 6 в т.д.з. № 1, № 2, № 3

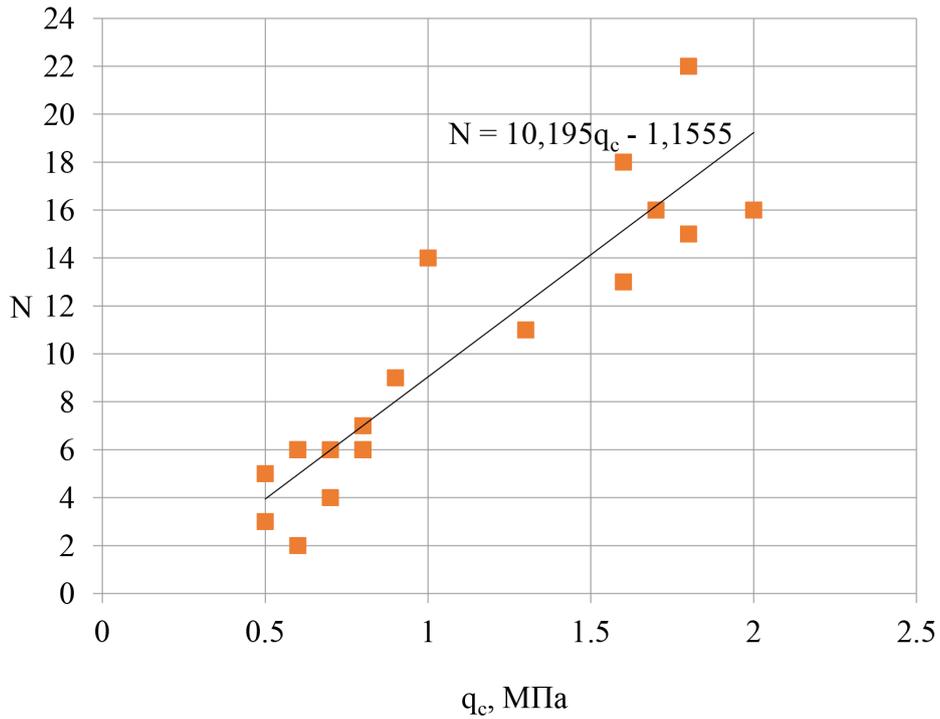


Рис. 7. Графік залежності між  $N$  і  $q_c$  для лесових ґрунтів шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 1

Зокрема, рівняння кореляції між  $N$ ,  $P_d$  та питомим опором під конусом зонда  $q_c$ , МПа, мають наступний вигляд (рис. 3.1.38–3.1.39):

$$N = 10,195q_c - 1,1555; \quad (4)$$

$$P_d = 2,0673q_c + 0,0808. \quad (5)$$

Також доволі добре прослідковується кореляційна залежність між  $N$ ,  $P_d$  та питомим опо-

ром тертю по боковій поверхні зонда –  $f_c$ , кПа (рис. 8–10).

$$N = 0,5515f_c - 7,3603; \quad (6)$$

$$P_d = 0,1101f_c - 1,1238 \quad (7)$$

Наведені вище кореляційні залежності між динамічним та статичним зондуванням з організаційно-технічних причин були отримані

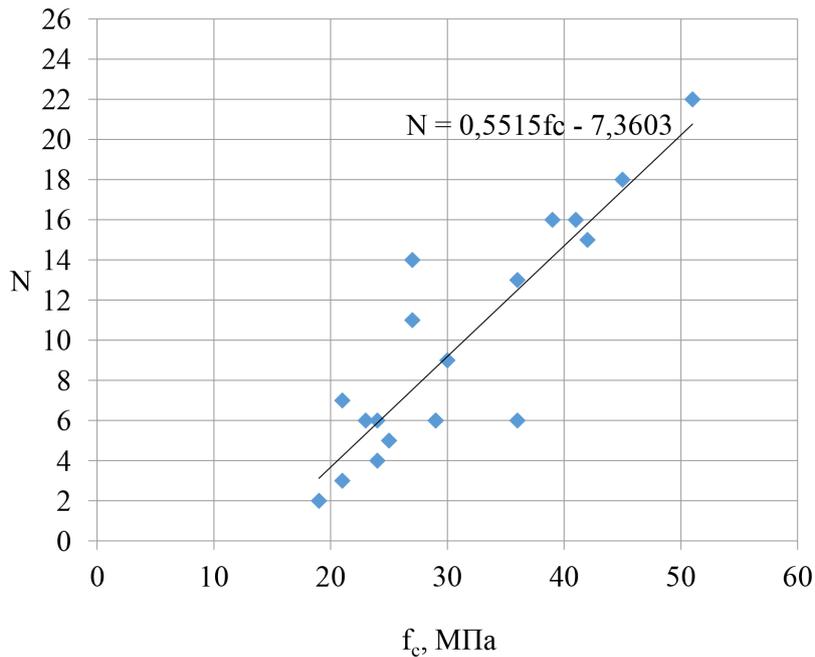
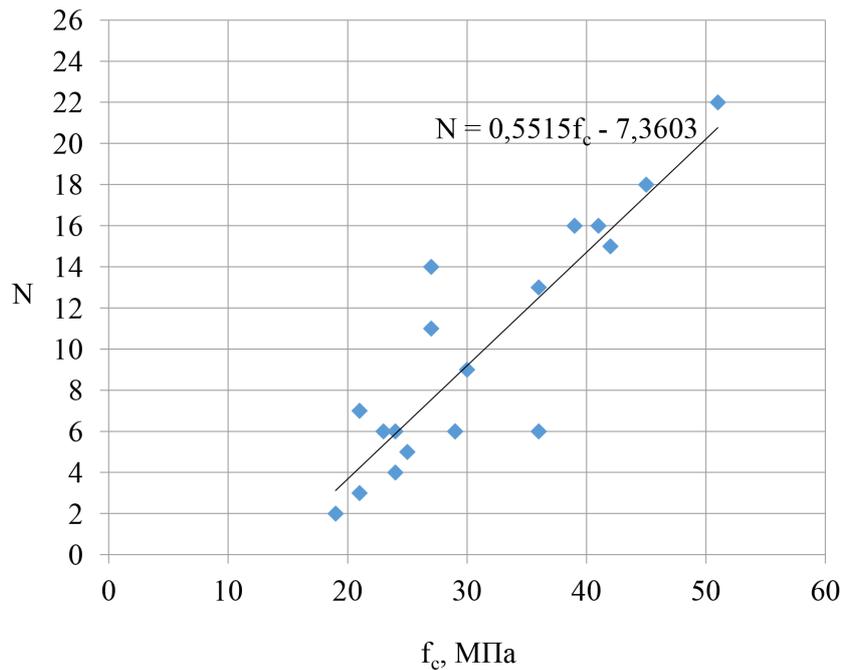
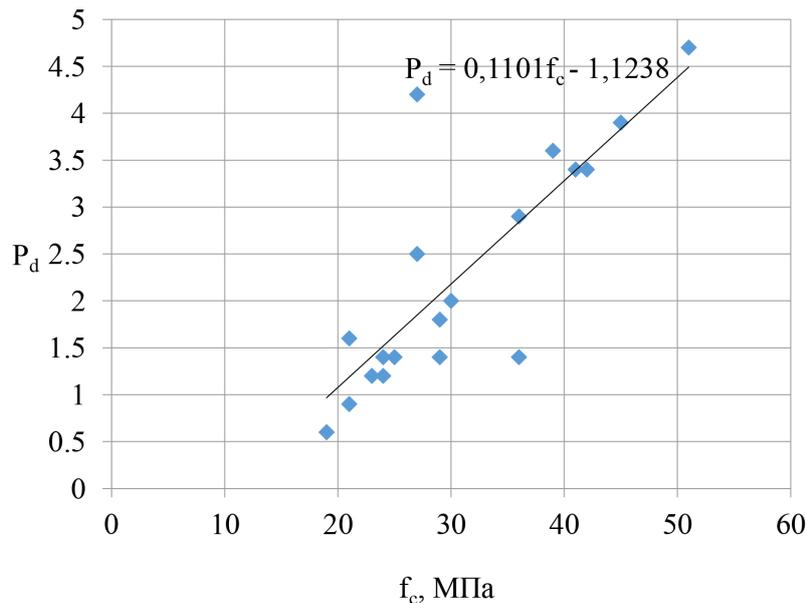


Рис. 8. Графік залежності між  $P_d$  і  $f_c$  для лесових ґрунтів шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 1

Рис. 9. Графік залежності між  $N$  і  $f_c$  для лесових ґрунтів шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 1Рис. 10. Графік залежності між  $P_d$  і  $f_c$  для лесових ґрунтів шарів 5, 6, 7 в т.д.з. № 1

фактично за результатами досліджень лише в одній точці майданчика – біля свердловини № 2 та точці статичного зондування № 1. З цієї ж причини вихідні дані через їх обмежену кількість не піддавались статистичній обробці, тобто рівняння кореляції спочатку мали дискретний характер.

Для лесових ґрунтів України Рубінштейном А. Я. та його колегами (7), на основі виведення кореляційних залежностей між умовним динамічним опором та лобовим

опором під конусом зонда при статичному зондуванні, встановлених для піщаних ґрунтів, було запропоновано власні кореляційні залежності, складені, зокрема, для лесовидних суглинків Одеської області з достатньою, на думку авторів, точністю:

$$P_d = 0,1133 + 1,454q_c - 0,0055q_c^2. \quad (8)$$

З огляду на цю обставину було визнано за необхідне здійснити перевірку отриманих залежностей, використовуючи рівняння

залежності між статичним та динамічним зондуванням, виведені іншими дослідниками (Рубінштейн і Кулачкін) для різних типів ґрунтів. У даному випадку найбільш можливим для застосування є рівняння залежності  $P_d$  від  $q_c$ , виведене Рубінштейном і Кулачкіним для лесових ґрунтів Півдня України. Результати порівняння параметра  $P_d$  для різних розрахункових рівнянь наведені на рис. 11.

Однак, рівняння Рубінштейна та Кулачкіна видається складним для практичного застосування через багатозначність варіантів розв'язання.

Слід також зазначити, що характерні залежності між показниками зондування  $N/P_d$  та такими характеристиками ґрунту, як загальне зчеплення  $C$ , густина ґрунту  $\rho$ , густина сухого ґрунту  $\rho_d$ , пористість  $n$ , коефіцієнт пористості  $e$ , у ході досліджень на цій ділянці отримати не вдалося. Виняток становлять характеристики тертя по боковій поверхні зонду  $f_c$ .

**Висновки.** Встановлено, що малогабаритні зонди можуть бути використані при проведенні інженерних вишукувань на лесових ґрунтах, у тому числі й замочених, особливо при вирішенні нестандартних задач

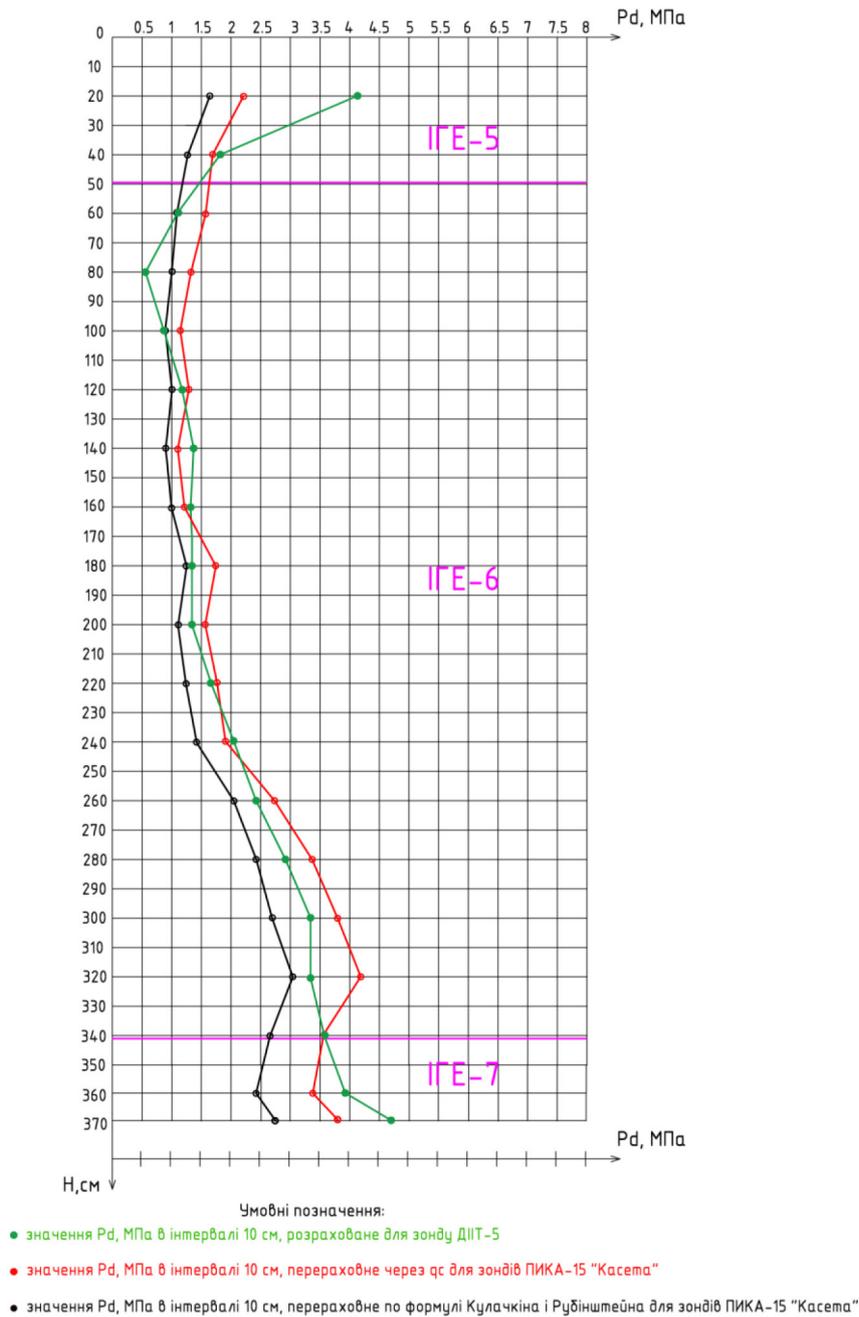


Рис. 11. Графіки залежності параметра  $P_d$  від  $H$  для різних розрахункових рівнянь

у специфічних умовах (зокрема зондування через фундаментні плити в підвалах будівель з метою вивчення складу та стану ґрунтів основ, у пазухах котлованів тощо). Виведені в результаті випробувань малогабаритними динамічними зондами замочених лесових ґрунтів у зоні впливу УГВ кореляційні залежності між показниками динамічного та статичного зондування виявилися досить сталими, хоча й були побудовані на обмеженій базі вихідних даних. Одним із завдань, поставлених у ході виконання польових робіт на майданчиках м. Дніпро, було, зокрема, вивчення можливої придатності залежностей, розроблених для лесових ґрунтів різних регіонів до місцевих ґрунтових умов, виходячи з подібності лесових ґрунтів як окремого типу зі схожим складом, будовою та власти-

востями. Проте аналіз результатів застосування виведених в інших країнах рівнянь для лесових ґрунтів м. Дніпро показав, що це складно реалізувати на практиці – «універсальних» залежностей для лесових ґрунтів не існує або вони непридатні для практичного застосування. Отже, виникає потреба у створенні власних регіональних кореляційних залежностей. Виявлені відмінності характеристик, отриманих під час динамічного зондування різних ярусів лесових ґрунтів м. Дніпро, дозволяють стверджувати про наявність, окрім інших розбіжностей, і властивих лише їм характерних особливостей, зокрема й графічного типу. Це, у свою чергу, актуалізує питання створення своєрідного регіонального геотехнічного банку даних, що включатиме й цей параметр.

### Література

1. Czado B., S. Pietras J. Comparison of the cone penetration resistance obtained in static and dynamic field tests. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, Vol. 36. No. 1, 2012
2. Bagińska I. Comparative Analysis of Cone Resistances in Cone Penetration Test (CPTu) and Dynamic Probe Heavy Test (DPH) / *Geotech Geol Eng* (2020) 38. 5269–5278. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01362-x>
3. Spagnoli G. An Empirical Correlation Between Different Dynamic Penetrometers / MARUM Marine Geotechnics, EJEG, Vol. 13, Bund. C, January 2007 (PDF) An Empirical Correlation Between Different Dynamic Penetrometers (researchgate.net)
4. Krösbacher C., Henzinger C., Vogt S. Factors influencing correlations between CPT and DPH. *Geotechnik* 45(2), September 2022. <https://doi.org/10.1002/gete.202200009>
5. Об'єкт 8333. «Звіт про додаткові інженерно-геологічні вишукування на майданчику будівництва по вул. Шмідта, 13–15 у м. Дніпропетровськ». ДП «ДніпроДНТР», 2014.
6. Об'єкт 7758. «Науково-технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування на майданчику проектного будівництва каскаду 17-поверхових будинків з дворівневим паркінгом на розі вулиць Шмідта та Комсомольської у м. Дніпропетровськ». ДП «ДніпроДНТР», липень 2006.
7. Рубінштейн А. В., Секачов Ю. С. Порівняння статичного та динамічного зондування пісків у зв'язку з визначенням їх модуля деформації за даними зондування. *Інженерні вишукування в будівництві*. Серія II, Вип. 6(24), ЦІНІС, Властивості дисперсних осадових порід та формуючі їх геологічні процеси. 1973. С. 3–8.

### References

1. Czado, B., S. Pietras, J. (2012). Comparison of the cone penetration resistance obtained in static and dynamic field tests. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, Vol. 36, No. 1.
2. Bagińska, I. (2020). Comparative Analysis of Cone Resistances in Cone Penetration Test (CPTu) and Dynamic Probe Heavy Test (DPH). *Geotech Geol Eng*, 38. 5269–5278. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01362-x>
3. Spagnoli, G. (2007). An Empirical Correlation Between Different Dynamic Penetrometers. MARUM Marine Geotechnics, EJEG, Vol. 13, Bund. C. (PDF) An Empirical Correlation Between Different Dynamic Penetrometers (researchgate.net)
4. Krösbacher, C., Henzinger, C., & Vogt, S. (2022). Factors influencing correlations between CPT and DPH. *Geotechnik*, 45(2), <https://doi.org/10.1002/gete.202200009>
5. Obiekt 8333 (2014). Zvit pro dodatkovy inzhenerno-geologichni vyshukuvannia na maidanchyku budivnytstva po vul. Shmidta z, 13–15 u m. Dnipropetrovsk. [Report on Additional Engineering and Geological Surveys at the Construction Site on Shmidt Street, 13–15, Dnipropetrovsk]. 13–15, DP “DniproDNTR”.
6. Obiekt 7758 (2006). Naukovo-tekhnichnyi zvit pro inzhenerno-geologichni vyshukuvannia na maidanchyku proektovanoho budivnytstva kaskadu 17-poverkhovykh budynkiv z dvorivnevym parkinhom na rozi vulyts Shmidta ta Komsomolskoi u m. Dnipropetrovsk. [Scientific and Technical Report on Engineering and Geological Surveys at the Site of the Planned Construction of a Complex of 17-Storey Buildings with a Two-Level Parking Facility at the Corner of Shmidt and Komsomolskaya Streets in Dnipropetrovsk]. DP “DniproDNTR”.
7. Rubinstein, A. V., & Sekachov, Yu.S. (1973). Porivniannia statychnoho ta dynamichnoho zonduvannia piskiv u zviazku z vyznachenniam yikh modulua deformatsii za danyomy zonduvannia. [Comparison of Static and Dynamic Penetration Testing of Sands in Relation to the Determination of Their Deformation Modulus Based on Penetration Test Data]. *Inzhenerni vyshukuvannia v budivnytstvi*. Series II, Issue 6(24), TSINIS, Properties of Dispersed Sedimentary Rocks and the Geological Processes Forming Them, 3–8.

## CORRELATION ANALYSIS OF DYNAMIC AND STATIC PROBING DATA FOR WATER-SATURATED LOESS SOILS IN DNIPRO

**Abstract.** *Despite the long history of using the dynamic probing method for engineering and geological investigations, the issue of correctly interpreting the results obtained using small-sized manual dynamic probes remains unresolved. Most existing studies focus on attempts to establish direct correlation dependencies between the parameters of dynamic and static probing without taking into account the structural features of the probes and their metrological interchangeability. Such an approach significantly limits the ability to compare the results of different methods, especially under conditions involving non-standard or experimental models of small-sized probes.*

*The issue of developing a unified approach to constructing a system of correlation relationships remains relevant. This approach should account for transitional stages between non-standard manual devices and standard static probing equipment. This task becomes particularly challenging when studying loess soils, which are characterized by high variability in their physical and mechanical properties and sensitivity to moisture content.*

*This article is devoted to a field method for assessing the properties of water-saturated loess soils using small-sized devices with the dynamic probing method, and correlating the results with those obtained by the static probing method. It was found that the correlation relationships between the parameters of dynamic and static probing, derived from tests using small-sized dynamic probes on saturated loess soils below the groundwater level, are sufficiently stable, although based on a limited dataset.*

*As a result of the conducted studies of loess soils, it has been established that small-sized probes can be used during engineering surveys on loess soils, including water-saturated ones, especially when solving non-standard tasks in specific conditions (in particular, probing through foundation slabs in building basements to study the composition and condition of foundation soils, in trench backfills, etc.).*

*The identified differences in the characteristics obtained during dynamic probing of various loess soil layers in the city of Dnipro make it possible to assert the presence of distinctive features specific only to them, including those of a graphical nature.*

**Key words:** *sounding, soil investigation, methods of foundation and base investigation, instrumental methods, soil, geological conditions.*

**Rudin A. A.**

Postgraduate Student at the Department of construction technology  
Educational and Research Institute, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering  
and Architecture Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro

**Nesevrya P. I.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Construction  
Technology  
Educational and Research Institute, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering  
and Architecture Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro



*Дата надходження статті: 23.06.2025*

*Прийнято: 09.09.2025*

*Опубліковано: 30.12.2025*