

УДК 625.7./8

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2025.1.10>**Онищенко Артур Миколайович,**

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд
факультету транспортного будівництва,
Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>
Scopus-Author ID: 57204974589
E-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com

Гаркуша Микола Васильович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд
факультету транспортного будівництва,
Національний транспортний університет,
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>
E-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua

ПІДХОДИ З РАЦІОНАЛЬНОГО ОБСЯГУ ВІДБОРУ ЗРАЗКІВ ПРИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ВИШУКУВАННЯХ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. Вибір елементів системи інженерно-геологічного опробування методично досить розроблений і пронормований з огляду на великий обсяг накопиченої емпіричної інформації та типізації інженерно-геологічних умов. Підвищення представництва інженерно-геологічних даних може бути досягнуто завдяки згущенню мережі спостережень, але пов'язане з ним збільшення обсягу випробування призводить до збільшення вартості та тимчасових витрат проведених геологічних вишукувань. Пошук оптимального балансу між потребою якості та швидкості робіт можливий за кількісного оцінювання мінливості елементів геологічного середовища за допомогою статистичних методів. Ступінь відповідності властивостей сукупності об'єктів опробування і досліджуваної геологічної сукупності залежить від розташування, щільності та загальної кількості точок спостережень, а також від розмірів, орієнтування, форми й об'єму відібраних проб.

Оцінювання можливостей використання результатів інженерно-геологічного опробування для вибору раціонального комплексу методів виконується на стадії пошуково-оціночних робіт на основі аналізу особливостей геологічної будови, характеру розподілу ознак, речовинного складу та фізичних властивостей об'єкта, а також передбачуваної методики та техніки розвідки, щільності розвідувальної мережі та роздільної здатності геофізичної апаратури під час інженерно-геофізичного вивчення.

Вибрані метод і спосіб опробування мають забезпечувати найвищу достовірність результатів за належної продуктивності й економічності. Його результати лягатимуть в основу техніко-економічного обґрунтування інженерно-геологічних вишукувань для цілей будівництва, оскільки дозволяють запроектувати обґрунтовану кількість геологічних зразків оптимальним способом.

Під час пробовідбору у практиці застосовують різні схеми, які різняться за геометрією та масовістю пробовідбору.

У роботі наведено аналіз підходів з раціонального обсягу відбору зразків у процесі інженерно-геологічних вишукувань під час будівництва транспортних споруд.

Ключові слова: відбір зразків, ґрунт, інженерно-геологічне вишукування, кількість проб, транспортна споруда.

Onyshchenko Artur, Harkusha Mykola. Approaches to rational sampling scope in engineering and geological exploration during the construction of transport structures

Abstract. The selection of elements of the engineering geological testing system is methodically sufficiently developed and standardized in view of the large amount of accumulated empirical information and typification of

engineering geological conditions. Increasing the representation of engineering geological data can be achieved by thickening the observation network, but the associated increase in the volume of testing leads to an increase in the cost and time spent on geological surveys. Finding the optimal balance between the need for quality and speed of work is possible with a quantitative assessment of the variability of elements of the geological environment using statistical methods. The degree of correspondence of the properties of the set of sampling objects and the studied geological set depends on the location, density and total number of observation points, as well as on the size, orientation, shape and volume of the selected samples.

The assessment of the possibilities of using the results of engineering and geological testing to select a rational set of methods is carried out at the stage of search and evaluation works based on the analysis of the features of the geological structure, the nature of the distribution of features, the material composition and physical properties of the object, as well as the intended exploration methodology and technique, the density of the exploration network and the resolution of geophysical equipment during engineering and geophysical studies.

The adopted method and method of testing should ensure the highest reliability of the results with sufficient productivity and economy. Its results will form the basis of the feasibility study of engineering and geological surveys for construction purposes, since they allow designing a reasonable number of geological samples in the most optimal way.

When sampling, various schemes are used in practice, which differ in geometry and mass sampling.

The paper presents an analysis of approaches to the rational volume of sampling during engineering and geological surveys during the construction of transport structures.

Key words: sampling, soil, engineering and geological survey, number of samples, transport structure.

Вступ. Під час будівництва транспортних споруд роль інженерно-геологічного дослідження є найважливішою, це може бути чинником, який визначає ефективність усього проєкту будівництва [1; 2].

Основною вимогою до інженерно-геологічних досліджень є їхня ефективність. Ефективність забезпечено, якщо інженерно-геологічні дослідження є комплексними, проводилися впорядкованим і розважливим чином. Етапи інженерно-геологічних досліджень включають дослідження, що передбачають оцінювання можливості будівництва запропонованої споруди на даній території; попередні дослідження, що включають дослідження, необхідні для базового оцінювання інженерно-геологічних умов щодо технічної здійсненності запропонованої споруди; детальні дослідження, щоб отримати якомога повнішу інформацію про стан основи на будівельному майданчику. Під час будівництва продовжуються геологічні дослідження, які передбачають документування, співвіднесення результатів попередніх і детальних досліджень із реальними умовами та, за необхідності, проведення контрольних випробувань [3]. Для проведення даного циклу досліджень необхідна оптимальна кількість відбору зразків.

Вибір елементів системи інженерно-геологічного опробування методично досить розро-

блений і проноrmований з огляду на великий обсяг накопиченої емпіричної інформації та типізації інженерно-геологічних умов. Підвищення представництва інженерно-геологічних даних може бути досягнуто згущенням мережі спостережень, але пов'язане з ним збільшення обсягу випробування призводить до збільшення вартості та тимчасових витрат проведених геологічних вишукувань. Пошук оптимального балансу між потребою якості та швидкості робіт можливий за кількісного оцінювання мінливості елементів геологічного середовища за допомогою статистичних методів. Ступінь відповідності властивостей сукупності об'єктів опробування і досліджуваної геологічної сукупності залежить від розташування, щільності та загальної кількості точок спостережень, а також від розмірів, орієнтування, форми й об'єму відібраних проб [4].

Матеріали та методи. Проєктування транспортних споруд треба проводити на основі даних інженерних вишукувань згідно з ДБН А.2.1-1 [5], ДСТУ 9154 [6], ДСТУ-Н Б EN 1997-1 [7].

Окрім того, доцільним є визначення особливостей складу та змісту інженерно-геодезичних вишукувань для будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг [8].

Інженерно-геологічні вишукування мають забезпечувати комплексне вивчення інженерно-геологічних умов району проектування автомобільної дороги, зокрема й геологічної будову, сейсмотектонічних, геоморфологічних і гідрогеологічних умов, складу, стану та властивості ґрунтів, геологічних та інженерно-геологічних процесів та складання прогнозу можливих змін інженерно-геологічних умов у сфері взаємодії проєктованих об'єктів з геологічним середовищем з метою отримання необхідних і достатніх матеріалів для обґрунтування проєктної підготовки будівництва, зокрема й заходів інженерного захисту об'єкта будівництва й охорони навколишнього середовища [4].

Склад і характер інженерно-геологічних вишукувань залежать від стадії розробки проєкту, складності та ступеня вивченості природних умов району досліджень.

Склад інженерно-геологічних вишукувань такий:

- збір і обробка матеріалів вишукувань і досліджень минулих років;
- дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок;
- рекогносцирувальне обстеження, зокрема й аеровізуальні та маршрутні спостереження;
- проходка гірничих виробок;
- геофізичні дослідження;
- польові дослідження ґрунтів;
- гідрогеологічні дослідження;
- стаціонарні спостереження (локальний моніторинг компонентів геологічного середовища);
- лабораторні дослідження ґрунтів, підземних і поверхневих вод;
- обстеження ґрунтів основ і фундаментів наявних будівель і споруд;
- складання прогнозу змін інженерно-геологічних умов;
- камеральна обробка матеріалів і складання технічного звіту (висновку).

За значної мінливості геологічних ознак допуски до відтворюваності вимірювань для конкретних об'єктів можуть бути прийняті на основі фактичних даних за кількісною оцінкою похибки аналогії σ_{an} по відповідних класах ознак, належності до природних

комплексів або іншої прийнятої систематики.

За значного впливу чинників-завад (мінливості розміру зерен, шаруватості, фізико-механічних характеристик тощо) на результати інженерно-геологічного опробування обґрунтовується методика їх урахування.

Кореляційні зв'язки досліджуваної ознаки, зокрема й непрямих показників геологічного об'єкта, аналізуються щодо характеру зв'язку для кожного природного типу, комплексу та геологічного об'єкта. Міцність зв'язку оцінюється за значеннями критерію достовірності кореляційної залежності ($tr > 2$) (або критерію значущості кореляційного відношення t_0), коефіцієнта кореляції ($r \geq 0,8$) або за результатами розрахунку коефіцієнтів і вільних членів рівняння регресії за двома-трьома вибірками, що характеризує досліджувану ознаку на різних ділянках геологічного об'єкта. Якщо відмінності у значеннях коефіцієнта та вільних членів не перевищують подвоєних похибок їх визначення, зв'язок вважається досить стійким.

За необхідності визначення супутніх ознак і ознак-завад, які на даному геологічному об'єкті не досить надійно встановлюються інженерно-геологічними вишукуваннями, рекомендується паралельно виконувати опробування в обсязі, достатньому для достовірної оцінки, з використанням для цього передусім проб, що відбираються для зовнішнього контролю (зазвичай 20% від обсягу рядового опробування).

Інженерно-геологічні вишукування виконують із застосуванням прогресивних методів виконання робіт, сучасних приладів і обладнання.

Однак основний обсяг розвідувальних інженерно-геологічних та інженерно-гідрогеологічних вишукувань виконують бурінням свердловин.

Проходку гірничих виробок здійснюють зазвичай механізованим способом. Види, глибини та призначення гірничих виробок під час інженерно-геологічних вишукувань визначають відповідно до вимог ДБН А.2.1-1 [5].

Для вивчення ґрунтово-геологічних умов уздовж прийнятого варіанту траси заклада-

ють геологічні розробки, розчищення, шурфи, прикопки та свердловини.

Основним методом вивчення ґрунтово-геологічних умов під час вишукувань доріг є механічне буріння з безперервним відбором і оглядом керна та взяттям зразків (діаметр не менше 100 мм) з непорушеною структурою.

Пошуково-розвідувальні роботи на стадії проєктування проводять згідно з ДБН А.2.1-1 [5].

Результати. Види лабораторних визначень фізико-механічних властивостей ґрунтів під час інженерно-геологічних вишукувань згідно з ДБН А.2.1-1 [5].

Вибір виду та складу лабораторних визначень характеристик ґрунтів виконують з урахуванням виду ґрунту, стадії проєктування, характеру споруди, умов роботи ґрунту, а також прогнозованих змін інженерно-геологічних умов території в результаті її освоєння.

У лабораторіях виконують випробування зразків порід, що передбачають використання складного лабораторного обладнання для визначення їхніх компресійних властивостей, визначення опору зсуву, а також випробування зразків будівельних матеріалів для визначення тимчасового опору стисненню каменю, подрібнюваністю щебеню, зносу в поличному барабані гравію та морозостійкості.

У визначенні фізико-механічних властивостей ґрунтів варто також використовувати метод інженерно-геологічної аналогії.

Прогноз змін інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов у дослідженнях варто здійснювати у формі якісного прогнозу з використанням порівняльно-геологічних методів (природних аналогів та інженерно-геологічних аналогій). Прогноз варто здійснювати на основі узагальнення матеріалів вишукувань минулих років, матеріалів аерокосмічних знімків і даних інженерно-геологічного картування досліджуваної території з урахуванням результатів рекогносцирувального обстеження.

У результаті прогнозу змін інженерно-геологічних умов у районі пошуків установлюють:

– можливість виникнення та розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ визначених виду та масштабу;

– спрямованість і характер можливих змін складу і стану ґрунтів під впливом природних і техногенних чинників і прояви особливих властивостей ґрунтів, їхні орієнтовні характеристики, а також категорію небезпеки природних процесів і тенденцію зміни окремих чинників інженерно-геологічних умов.

Для складання прогнозу змін фізико-механічних властивостей ґрунтів рекомендується розробляти таблиці для найбільш характерних геолого-генетичних типів порід конкретного регіону на основі дослідження кореляційних зв'язків між фізичними та механічними характеристиками ґрунтів. Для дослідження впливу на властивості ґрунтів їх геологічного походження (генезису) у статистичну сукупність, що призначалася для обробки, варто включати перевірені дані щодо ґрунтів того самого походження. Надалі, після дослідження кореляційних зв'язків, варто розглянути можливість об'єднання двох або більше статистичних сукупностей в одну, якщо відмінність у кореляційних залежностях для них не є істотною. Кореляційні залежності зручно представляти у формі графіків (залежно від змін характеристик ґрунтів за глибиною, взаємозв'язку між фізичними та механічними характеристиками).

Склад і зміст технічного звіту про результати інженерно-геологічних вишукувань мають відповідати вимогам ДБН А.2.1-1 [5]. У заключній частині звіту мають бути сформульовані рекомендації та пропозиції щодо проведення подальших досліджень.

Випадкова похибка окремих вимірювань установлюється за даними основного та повторного циклів вимірів, виконаних за тим самим інтервалом в однакових умовах і практично одночасно (паралельні визначення). Обсяг внутрішнього контролю має бути не менш ніж 10% від основного обсягу. Якщо випадкові похибки перевищують граничні, але допустимі, кількість повторних вимірів (n) в основному циклі вимірювань рекомендується збільшити згідно з формулою:

$$\left(n^3 \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon_n} \right)^2, \quad (1)$$

де ε_o – похибка основного циклу вимірювань;

ε_n – похибка повторного циклу вимірювань.

Вміст аналізованої ознаки за інтервалом опробування в такому разі визначають як середнє арифметичне із серії повторних замірів.

Зовнішній контроль результатів вимірювань (вимірювання в інший час, іншим оператором або комплектом апаратури) виконується в обсязі не менше ніж 10% від обсягу основних вимірів, рівномірно за часом.

Відсутність систематичних розбіжностей між основними та контрольними вимірами встановлюється за критерієм Стюдента для рівня значущості 0,05 і кількості зіставлень не менше 30 в кожному класі ознак.

Розбіжності глибин залягання тіл, визначених за даними основного та контрольного (повторного) вимірювань, не мають перевищувати наступних значень згідно з ДБН А.2.1-1 [5].

У разі використання глибин за каротажними даними, які підтверджуються контрольними вимірами, допустима похибка розмітки приймається рівною ± 10 см на кожні 100 м.

За масових вимірів на одній ділянці рекомендується встановлювати єдині масштаби реєстрації.

Інтервали деталізації мають охоплювати весь інтервал опробування геологічного об'єкта за всією його геометрією. Крок деталізаційних вимірювань має забезпечувати безперервну характеристику інтервалу.

У разі необхідності виконуються роботи для визначення поправок.

На графіках вимірів у разі безперервних вимірів виділяються всі ділянки, де сигнали відрізняються від середнього фонового значення параметра більш ніж на потрібну величину середньої похибки його вимірювання. Ці ділянки поділяються на секційні інтервали з урахуванням особливостей розподілу досліджуваної компоненти або висунутих вимог. Водночас рекомендується керуватися таким:

- секційний інтервал опробування має бути однорідним за значенням ознаки, а виміри по ньому не спотворені впливом зовнішніх чинників;

- довжина секційного інтервалу має бути більше потужності насичення для даного методу;

- довжина секційного інтервалу не повинна перевищувати мінімальної потужності тіл, а також максимальної потужності внутрішніх і некондиційних прошарків.

У виробках орієнтування ліній (профілів) вимірів щодо елементів залягання тіла вибір довжини секційних інтервалів та інші методичні прийоми вимірювань (кількість ліній вимірів на стінці, опробування однієї або двох стінок, профільні або майданчикові вимірювання) мають відповідати основним положенням вибраної методики опробування.

За секційного опробування інтервали мають бути співмірної довжини, за винятком тих випадків, коли необхідно опробувати окремі різновиди або типи ґрунту, виділити внутрішні ґрунтові прошарки різної потужності тощо.

Межі геологічних тіл або окремих ділянок визначаються відповідно до вимог чинних інструкцій, посібників і методичних вказівок або відповідно до галузевої методики, розробленої для конкретного об'єкта й апробованої в установленому порядку.

Використання модельних інтервалів дозволяє найбільш повно врахувати геологічні особливості об'єкта й оцінити їхній вплив на точність і достовірність опробування, скоротити терміни розроблення і апробації методики опробування. Кореляційну залежність, установлену за монолітними зразками, необхідно підтвердити (або скорегувати) результатами геофізичного та геологічного опробування опорних інтервалів свердловин і виробок.

За опорні інтервали у свердловинах і виробках приймаються окремі інтервали, що повно характеризують геологічне тіло за простяганням і падінням у межах окремих ділянок загалом.

Геологічна документація розвідувальних виробок виконується з детальністю, що забезпечує відображення основних особливостей внутрішньої будови тіла (фізико-механічні властивості, природні різновиди, структурно-текстурні особливості, характер контактів, кількість, місцезонашування та петрографічний склад прошарків тощо).

Результати геологічної документації ув'язуються за глибиною з однозначно встановленими на діаграмах контактами тіл, петрографічними різновидами розрізу, внутрішніми породними прошарками тощо.

Невідповідність даних геологічної документації та результатів геофізичних вимірювань у виробках усувається шляхом повторної документації виробок і контрольних геофізичних вимірювань.

Відбір борознових проб в опорних інтервалах виконується із застосуванням механічних пробовідбірників. Достовірність борознового опробування завіряється більш надійним способом згідно з ДБН А.2.1-1 [5].

Випадкові похибки кернового та борознового опробування визначаються за результатами основного та контрольного опробування, виконаного тим самим способом відбору, обробки й аналізу проб згідно з ДБН А.2.1-1 [5]. Основне та контрольне опробування за опорними інтервалами доцільно проводити зі 100% внутрішнім і зовнішнім контролем аналітичних робіт.

Діапазон ознак ґрунтів, відібраних в опорних інтервалах, має охоплювати всі класи мінливості в кожному з виділених природних типів. Число класів має бути не менше чотирьох.

Кожен клас ознак у кожному природному типі має представляти не менше ніж 11 інтервалами (або окремими пробами) з лінійним еквівалентом, що відповідає пробі оптимальної геометрії.

У разі відсутності належної кількості опорних інтервалів, що відповідають рекомендаціям, за опорні можуть виступати їх моделі, складені з монолітних зразків (штуфи, керн), відібраних на досліджуваному об'єкті, або рядові інтервали, достовірність результатів опробування яких підтверджена тим чи іншим фактичним матеріалом згідно з ДБН А.2.1-1 [5].

У побудові кореляційних залежностей ураховуються речовинний склад, структурно-текстурні особливості, а також технологія проходки розвідувальних виробок. Із цією метою на зведене поле кореляції виносяться точки з позначенням типу ґрунту, кута зустрічі плас-

тів у шаруватих середовищах, глибини розташування інтервалу, номінального діаметра свердловин тощо. Для опорних інтервалів, однорідних за кожним із цих чинників, розраховуються індивідуальні кореляційні залежності.

Однорідність порівняльної вибірки встановлюється за критерієм ζ , водночас кількість виключених окремих інтервалів не має перевищувати 5% обсягу вибірки. Виключені інтервали вносяться в дефектну відомість із зазначенням причин грубих розбіжностей між даними геологічного й інженерно-геологічного опробування [4].

Порівняльний коефіцієнт варіації V_c обчислюють за формулою:

$$V_c = \frac{S}{X_n - X_{min}}, \quad (2)$$

де X_n – нормативне значення;

S – середнє квадратичне відхилення характеристики;

X_{min} – найменше значення у вибірці дослідних X_i даних після статистичної перевірки на виключення помилок.

Відносна квадратична похибка інженерно-геологічного опробування:

$$t_A = \frac{|\bar{A}| \sqrt{n}}{S_A}, \quad (3)$$

$$S_A = \sqrt{\frac{(A_i - \bar{A})^2}{n - 1}}, \quad (4)$$

де $\bar{A}$ – середнє значення ознаки;

n – кількість випробування ознаки;

S_A – дисперсія ознаки.

Розрахункова величина критерію Фішера:

$$F = \frac{S_{мд}^2}{S_{вд}^2}, \quad (5)$$

де $S_{мд}$ – міжгруппова дисперсія ознаки;

$S_{вд}$ – внутрішньогруппова дисперсія ознаки.

Розрахункова величина критерію:

$$\zeta = \max \frac{|A_i - \bar{A}|}{S_A}. \quad (6)$$

$A_i, \bar{A}$ – величина ознаки в одиничному інтервалі під час інженерно-геологічного

опробування та середнє значення по інтервалах випробування.

Критеріями можливості використання на геологічному об'єкті одного або декількох рівнянь регресії є величини систематичних розбіжностей між даними геологічного опробування та даними інженерно-геологічних вимірювань, інтерпретація яких виконана з використанням усіх залежностей, установлених на об'єкті. У разі відсутності значущих систематичних розбіжностей за робоче приймається рівняння, що забезпечує найменшу випадкову похибку інженерно-геологічного опробування.

Підбір кореляційної залежності виконується у процесі розрахунку декількох рівнянь регресії із застосуванням поліномів 1 – , 2 – , ..., n-го ступеня. За оптимальне приймається рівняння з найменшою кількістю коефіцієнтів, для якого систематичні розбіжності в усіх класах вмістів між даними геологічного та геофізичного опробування незначні, випадкові розбіжності мінімальні, а коефіцієнт кореляції r або кореляційне відношення R не менше ніж 0,8.

Допускається визначення статистичних залежностей, розрахунок коефіцієнтів регресії, коефіцієнтів кореляції або кореляційного відношення, їх похибок і середнього квадратичного відхилення даних опробування від рівняння (лінії) регресії, а також оцінювання достовірності виявленого зв'язку за відомими статистичними формулами й алгоритмами.

Оцінювання достовірності визначення величини ознаки за прийнятими за робочі рівняннями регресії проводиться у процесі додаткового зіставлення даних рядового геологічного й інженерно-геологічного опробування за інтервалами, у максимальному ступені. Дані за опорними інтервалами, що стали основою для побудови кореляційних (градувальних) графіків, в оцінюванні достовірності рядового опробування не використовуються.

Як робочі допускаються використання рівнянь регресії, установлених для геологічного об'єкта, аналогічного за мінеральним і хімічним складом, а також за структурними та тектурними особливостями за досліджуваним геологічним об'єктом.

Усі розрахунки мають виконуватись із використанням розрахункових значень характеристик ґрунтів основ X , що визначають за формулою:

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}, \quad (7)$$

де X_n – нормативне значення характеристики;

γ_g – коефіцієнт надійності за ґрунтом.

Значення довірчої імовірності в обчисленні розрахункового значення характеристики ґрунту приймають відповідно до рекомендацій норм проектування різних видів споруд.

Дослідні дані, для яких проводиться статистична обробка, мають бути отримані єдиним методом випробування.

Для встановлення мінімального числа проб у процесі випробувань використовують послідовний аналіз, метод оптимальної вибірки тощо. За методом оптимальної вибірки число випробувань визначається за формулою [4]:

$$N = \frac{\max |\Delta R_n|}{f}, \quad (8)$$

де $\max |\Delta R_n|$ – найбільше за абсолютним значенням відхилення часткового значення показника від вибіркового середнього;

f – задана різниця між математичним сподіванням і оцінкою середнього значення (абсолютна точність, з якої отримують оцінку середнього значення показника властивості за n визначеннями), визначається за формулою [4]:

$$f = \frac{2 \left[\frac{R_{\max}}{R_{\min}} - 1 \right]}{n - 1} \quad (9)$$

де $R_{\max}$, $R_{\min}$ – найбільше та найменше значення параметра на даній точці спостереження;

n – число зразків (вимірів).

Спрощений вибір мінімального числа проб N , які відбираються для випробувань, має відповідати такій послідовності:

$$N = \frac{R_{\max}}{R_{\min}} \leq 1,5, \quad (10)$$

де

$$N = \frac{100 + \frac{2V}{n}}{100 - \frac{2V}{n}}. \quad (11)$$

Таблиця 1
Співвідношення коефіцієнта V
до кількості проб n

V	n
30	9
25	6
20	4
15	3

Коли в шаруватій товщині знаходяться малопотужні шари ґрунту, необхідно встановити, чи можна вважати досліджуване геологічне тіло однорідним (квазіоднорідним), або розглядати як комплекс монопородних геологічних тіл першого рівня розчленування.

Використовується критерій виділення шаруватих тіл, для якого необхідно послідовно виконати такі умови:

– шарувата товща розглядається як однорідна (квазіоднорідна), якщо потужність шарів першого рівня розчленування h_m не перевищує деякої мінімальної величини, яка залежить від застосовуваного методу отримання показника якості, званого порогом чутливості h_{min} ;

– піддаються вивченню декілька перешарованих монопородних верств. У кожній установлюється чисельне значення визначального показника, об'єднуються окремі значення показника кожної літологічної різниці у дві вибірки. Кожна вибірка характеризується числом визначень n , середнім арифметичним X і середнім квадратичним відхиленням S , істотність відмінності оцінюють виразом:

$$\overline{X_i} - \overline{X_{i+1}} > 2 \times S_{\overline{X_i - X_{i+1}}}, \quad (12)$$

де i та $i+1$ – сусідні монопородні шари (елементи шаруватої товщі).

Якщо ліва частина нерівності менше за праву, то дане геологічне тіло можна розглядати як квазіоднорідне, якщо більше – оцінку шарів варто давати окремо для кожного шару.

Середнє квадратичне відхилення різниці розраховується за формулою:

$$S_{\overline{X_i - X_{i+1}}} = \pm \sqrt{\frac{S_{\overline{X_i}}^2 (n_i - 1) + S_{\overline{X_{i+1}}}^2 (n_{i+1} - 1)}{n_i + n_{i+1} - 2} \cdot \frac{n_i + n_{i+1}}{n_i \cdot n_{i+1}}}, \quad (13)$$

де n_i та n_{i+1} – об'єм виробок (кількість визначень) відповідно в i та $i+1$ монопородних шарах.

Висновки. За складом інженерно-геологічні вишукування є комплексними і передбачають види робіт, які мають за мету отримання численної кількості даних щодо геологічної будови, стану та властивостей ґрунтів, гідрогеологічних умов, інженерно-геологічних процесів і явищ. Окрема характеристика, яка включає також інженерно-геологічне опробування, має назву інженерно-геологічної ознаки. Комплекс ознак описує інженерно-геологічний стан території, що відповідає окремому геологічному об'єкту вишукувань.

У роботі запропоновано аналіз підходів із раціонального обсягу відбору зразків у процесі інженерно-геологічних вишукувань під час будівництва транспортних споруд.

Список використаних джерел:

1. Wang L., Wu Z., Chen Y., Wang Z., Yan C., Tong T. Engineering Environment and Geological Survey. *Technology Standard of Pipe Jacking*. Singapore : Springer, 2024. P. 61–67. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-99-5597-8_6.
2. Wei Zhou. Analysis of Geological Survey Technology in Building Engineering. *World Construction*. 2016. № 5. P. 15–17. DOI: 10.18686/wc.v5i2.75.
3. Kelly William E., Mares Staimislav. Chapter 6 Geophysical Surveys in Engineering-Geologic Investigations. *Developments in Water Science*. 1993. Vol. 44. P. 195–244. URL: [https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(08\)70374-5](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70374-5).
4. МР А.2.1-37641918-903:2019. Методичні рекомендації з визначення методами геостатистики раціонального обсягу відбору зразків при інженерно-геологічних вишукуваннях. (Чинний від 12.12.2019 р.). Київ, 2019. 45 с.
5. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. (Чинний від 01.07.2008 р.). Київ, 2008. 74 с.
6. ДСТУ 9154:2021. Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві. (Чинний від 01.09.2022 р.). Київ, 2021. 104 с.

7. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 (EN 1997-1:2004, IDT). Єврокод 7. Геотехнічне проектування. Ч. 1 : Загальні правила. (Чинний від 01.07.2013 р.). Київ, 2013. 193 с.

8. Батракова А.Г., Дорошко Є.В., Захарова Е.В., Клюка О.М. Особливості складу інженерно-геодезичних вишукувань у дорожньому будівництві. *Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник*. Серія «Технічні науки та архітектура». 2022. Вип. 6 (173). С. 81 – 85.

References:

1. Wang, L., Wu, Z., Chen, Y., Wang, Z., Yan, C., Tong, T. (2024). Engineering Environment and Geological Survey. *Technology Standard of Pipe Jacking*. Springer, Singapore. P. 61–67. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-981-99-5597-8_6 [in English].

2. Wei, Zhou (2016). Analysis of Geological Survey Technology in Building Engineering. *World Construction*. № 5. P. 15–17. DOI: 10.18686/wc.v5i2.75 [in English].

3. Kelly, William E., Mares, Staimislaw (1993). Chapter 6 Geophysical Surveys in Engineering-Geologic Investigations. *Developments in Water Science*. Vol. 44, P. 195–244. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0167-5648\(08\)70374-5](https://doi.org/10.1016/S0167-5648(08)70374-5) [in English].

4. Metodichni rekomendatsiyi z vyznachennya metodamy heostatystyky ratsional'noho obsyahu vidboru zrazkiv pry inzhenerno-heolohichnykh vyshukuvannyakh [Methodological recommendations for determining the rational volume of sampling during engineering geological surveys using geostatistics methods] (2019). *MR A.2.1-37641918-903:2019 from 12th December 2019*. Kyiv: Ukravtodor [in Ukrainian].

5. Vyshukuvannya, proektuvannya i terytorial'na diyal'nist'. Vyshukuvannya. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva [Surveys, design and territorial activities. Surveys. Engineering surveys for construction] (2008). *DBN A.2.1-1-2008 from 1st July 2009*. Kyiv: Minregion of Ukraine [in Ukrainian].

6. Nastanova z vykonannya heodezychnykh robit u dorozhn'omu budivnytstvi [Guidelines for the performance of geodetic works in road construction] (2021). *DSTU 9154:2021 from 1st September 2022*. Kyiv: DP “UkrNDNTS” [in Ukrainian].

7. Yevrokod 7. Heotekhnichne proektuvannya. Chastyna 1. Zahal'ni pravyla [Eurocode 7. Geotechnical design. Part 1. General rules] (2010). *DSTU-N B EN 1997-1:2010 (EN 1997-1:2004, IDT) from 1st July 2013*. Kyiv: Minregion of Ukraine [in Ukrainian].

8. Batrakova, A.H., Dorozhko, Ye.V., Zakharova, E.V., & Klyuka, O.M. (2022). Osoblyvosti skladu inzhenernoheodezychnykh vyshukuvan'u dorozhn'omu budivnytstvi [Features of the composition of engineering geodetic surveys in road construction]. *Komunal'ne hospodarstvo mist: nauково-tekhnichnyy zbirnyk*, 6 (173). 81–85 [in Ukrainian].