

16. **J. Virieux.** P-SV wave propagation in heterogeneous media: velocity-stress finite-difference method, *Geophysics*, vol. 51, no.4, pp. 889–901, 1986.
17. **S. Butterworth.** On Electrically-maintained Vibrations. In: *Proceedings of the Physical Society of London*. Vol. 27. 1914, pp. 410–424.
18. **K. S. Van Dyke.** The Piezo-Electric Resonator and Its Equivalent Network. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* 16.6 (June 1928), pp. 742–764. ISSN: 0731-5996. DOI: 10.1109/JRPROC.1928.221466.
19. Luftgekoppelte Ultraschallwandler für die industrielle Anwendung. Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von Alexander Unger aus Cottbus: 19. Juni 2019, Darmstadt - D 17. URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-89745.
20. **G. Sessler, R. Lerch, D. Wolf.** Technische Akustik. 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. ISBN: 978-3-540-23430-2.
21. **W. P. Mason.** Electromechanical Transducers and Wave Filters. 2nd ed. D. van Nostrand Company, Inc., 1942. URL: <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.13601>.
22. **H. F. Olson.** Acoustical Engineering. 1st ed. D. van Nostrand Company, Inc., 1957. URL: [http://cyrille.pinton.free.fr/electroac/lectures\\_utiles/son/Olson.pdf](http://cyrille.pinton.free.fr/electroac/lectures_utiles/son/Olson.pdf).
23. **W. Weißgerber.** Elektrotechnik für Ingenieure 2. 6th ed. Vieweg, 2007. ISBN: 978-3-8348-0191-3.
24. **Meeker D.** Finite Element Method Magnetics. Version 4.0. User's Manual, January 26, 2004 // <http://femm.berlios.de>, 2003.
25. <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>.

Рукопис подано до редакції 24.04.2023

УДК: 624.131.1:69.04

О.О. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., В.О. ЯРОШЕНКО, аспірант  
Криворізький національний університет

## ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГЕОТЕХНІКА В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД ТА КОМУНІКАЦІЙ

**Мета.** Метою статті є ознайомлення з організацією і складом робіт при інженерно-геологічних та інженерно-геотехнічних вишукуваннях, основними задачами передпроектних інженерно-геологічних вишукувань, інженерно-геологічної розвідки, а також зі складом та змістом типових звітів з інженерних досліджень.

**Методи дослідження.** Аналіз літературних джерел щодо питання інженерно-геологічних та інженерно-геотехнічних вишукувань. Вивчення нормативних документів, державних будівельних норм з огляду питання інженерних вишукувань.

**Наукова новизна** полягає в: узагальненні та структуруванні інформації щодо організації та складу робіт при інженерно-геологічних, геотехнічних вишукуваннях та надання її широкому загалу; описі основних задач рекогносцирувальних маршрутних обстежень, як основних робіт які передують початку будь-якого об'єкту будівництва; узагальненні та структуруванні інформації щодо основних характеристик ґрунтів та їх розрахунків; описі методів визначення основ, підвалин та фундаментів.

**Практична значимість.** В даній статті приведені й структуровані матеріали стосовно інженерно-геологічних, геотехнічних робіт, аналізу нормативних документів стосовно даного питання, що можуть слугувати основою для розробки превентивних методів та засобів зменшення шкоди при просіданні земної поверхні, а також інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів тощо.

**Результати.** За результатами опрацювання літературних науково-дослідницьких джерел і нормативних документів було вивчено та описано: як стійкість порід впливає на процес будівництва; ведення передпроектних робіт; проведення досліджень. Детально описано для чого потрібні рекогносцирувальні маршрутні обстеження. Вказано, що таке геофізичні дослідження, яку роль вони виконують та приведення діючих державних будівельних норм з їх видів та об'ємів робіт. В результаті виявлено, що геофізичні роботи повинні йти завжди на випередження усіх інших інженерно-геологічних робіт. Описано основні фізичні розрахункові характеристики ґрунтів.

Вказана підбірка методів та їх принципи, за якими можна визначати процеси осідання основ, підвалин та фундаментів. Описана методика розрахунку осідання основ наближеним методом, запропонована професором І. О. Розенфельдом.

**Ключові слова:** інженерна геологія, будівництво, зсуви, обвал, просідання поверхні, ґрунт, вишукування, геотехнічні роботи, стійкість, землетрус.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** В результаті розробки родовищ корисних копалин впливають серйозні порушення балансу в природі, зокрема порушення стійкості земної поверхні. При будь-якому виді розробки родовищ – відкритому чи шах-

тному способам, в першу чергу необхідно приділяти особливу увагу стійкості ґрунтів, стічним та підземним водам.

Особлива тенденція обвалів спостерігається на Криворіжжі – великому промисловому місті, де знаходиться найбільша в Європі шахта «Родіна» та ще багато інших. На практиці існує багато прикладів обвалення земної поверхні, подекуди зі смертельними випадками. Так от наприклад у 2010 році, в результаті недостатньої стійкості ґрунтів, на шахті ім. Орджонікідзе стався обвал при проведенні планових підривних робіт площею приблизно 16 га, як наслідок 4 одиниці автотранспорту провалилися під землю та 1-чоловік загинув. Вже наступного року відбулося таке природне явище як землетрус, близько 4 балів, зі значною площею просідання земної поверхні, на щастя ніхто не постраждав.

В результаті таких спостережень та вивчення статистичних даних постають наукові задачі в розробці методів за для запобігання подібних випадків, та рекомендацій щодо більш ретельного вивчення питання стійкості земної поверхні.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Ознайомившись та зробивши аналіз державних стандартів України [1, 3-6] було ознайомлено із загальними положеннями цих стандартів, порядком лабораторних випробувань, а також вивчено встановлення методів польового визначення характеристик міцності та деформованості ґрунтів при їх дослідженні для будівельних робіт. Окрім основ та підвалин будинків та споруд, вивчено:

- методи статистичної обробки результатів випробувань;
- методи лабораторного визначення гранулометричного та мікро-агрегатного складу;
- методи польових випробувань статистичним та динамічним зондуванням.

Згідно із державними будівельними нормами [2, 7] перед початком будівництва споруд або конструкцій промислового значення виконується низка регламентованих геофізичних робіт. Такі роботи проводяться з метою визначення структурно-тектонічної будови, простягання та глибини залягання ґрунтів різного літологічного складу, а саме текстури, структури та походження, їх властивості, виявлення інженерно-геологічних процесів та можливих геофізичних аномалій, сейсмічної активності і таке інше.

Вивчаючи матеріали літературних джерел [8-10] було визначено основи інженерної геології, а саме: походження гірських порід та їх відмінні ознаки; геологічні та інженерно-геологічні процеси; основи гідрогеології та ґрунтознавства, поняття закону ущільнення; методи інженерно-геологічних досліджень.

За допомогою підручників [9, 10] було вивчено механіку ґрунтів та основні принципи проектування основ та фундаментів.

**Постановка задачі** дослідження полягає у:

- науковому обґрунтуванні взаємозв'язку розробки родовищ корисних копалин зі стійкістю земної поверхні;
- розкритті значення організації інженерно-геологічних та інженерно-геотехнічних вишукувань в період експлуатації будівель та споруд;
- розкритті задач рекогносцирувальних маршрутних обстежень;
- ознайомлення з основними розрахунковими характеристиками ґрунтів та з вимогами при плануванні та виконанні гідрогеологічних досліджень;
- ознайомлення з методами визначення просідань основ та фундаментів.

**Викладення матеріалу і результати.** Перед початком будівництва об'єктів різного призначення збираються та обробляються матеріали інженерно-геологічних вишукувань минулих років, при цьому обов'язково розглядаються результати геолого-знімальних робіт найбільших масштабів, результати проведення стаціонарних спостережень за режимом підземних вод та інших геологічних процесів, а також слід вивчати і брати до уваги аерокосмічні матеріали, матеріали науково-дослідницьких робіт та науково-технічної літератури, в яких будуть надані відомості про природні та техногенні фактори щодо інженерно-геологічних умов конкретного регіону.

Для будівельного майданчика майбутньої споруди проводиться аналіз можливих забруднень підземних вод, обов'язково перевіряється наявність старих фундаментів а також фундаментів сусідніх споруджень, підземних комунікацій. Особлива увага приділяється досвіду будівельних робіт та експлуатації споруджень та комунікацій з аналогічними геологічними умовами.

В результаті зібраних матеріалів та їх обробки в програмі інженерно-геологічних вишукувань виконується оцінка ступеню вивченості території яка досліджувалася і на її основі формується робоча гіпотеза про інженерно-геологічні умови та встановлюється категорія складності цих умов.

Насамперед складності які можуть виникати в тій чи іншій місцевості пов'язані з регіональними особливостями інженерно-геологічних умов, до того ж вони повинні враховуватись в територіальних будівельних нормах, де більш диференційовано підходять до обліку ландшафт-кліматичних та структурно-геологічних особливостей кожного окремого регіону.

Врешті, після обробки науково обґрунтованої типізації (або генералізації) всіх факторів формується остаточне теоретичне уявлення про складність інженерно-геологічних умов, які впливають на умови будівництва, і які закріплюють у вигляді карт, схем інженерно-геологічної розбивки на сектори, відповідно до тих чи інших умов складності.

Рекогносцирувальні маршрутні обстеження являють собою вид робіт, який може бути як самостійним так і допоміжним, що залежить від комплексу природних умов, наявності варіантів проектних рішень та складності об'єкту будівництва.

До основних задач рекогносцирувальних обстежень та маршрутних спостережень належить: огляд місця вишукувальних робіт; опис природних і штучних оголень гірських порід; візуальна оцінка рельєфу; опис наявності води, штучних водних об'єктів (із виміром рівнів води); опис типів ландшафтів; опис зовнішніх проявів геодинамічних процесів; опис місцевого населення (про надзвичайні ситуації, які мали місце); опис проявів геологічних та інженерно-геологічних процесів (включно описання геоботанічних індикаторів, гідрогеологічних та екологічних умов).

Інженерно-геологічну рекогносцировку проводять з метою оцінки складності геологічних умов, прохідності місцевості та інших критеріїв, які впливають на проведення подальших досліджень, збирання даних для складання програми робіт. Окрім цього рекогносцировку проводять для оцінки якості, уточнення та доповнення зібраних матеріалів щодо району будівництва, порівняння оцінки інженерно-геологічних умов на визначених варіантах майданчика будівельних робіт та трас комунікацій. Проводиться попередня оцінка фізико-геологічних процесів та явищ, можливих змін геологічного середовища в процесі будівництва та експлуатації об'єктів які проектується.

В ході рекогносцирувального обстеження ведеться відбір контрольних зразків ґрунту або проб води для лабораторних досліджень, проте попередньо перед цим здійснюється планування місць розміщення контрольних ділянок для комплексних досліджень та уточнення результатів попереднього дешифрування аеро-фотознімків.

В результаті усіх вищезазначених робіт складається звіт в якому схематична інженерно-геологічна карта з позначеними лініями маршрутів, точок спостережень контурів виділених об'єктів дослідження буде основним документом.

Геофізичні дослідження для розробки передпроектної документації на великих площах або трасах значної протяжності, у місцях з розвитком небезпечних інженерно-геологічних процесів та в особливих умовах (шельф, урбанізовані та відпрацьовані території), а також у ході моніторингу можливих змін геологічної та екологічної обстановки рекомендується проводити у складі першочергових робіт.

В інженерно-геологічних дослідженнях, геофізичні дослідження мають частковий ряд особливостей:

отримана інформація має інтегральний характер, тобто відноситься саме до визначеного об'єму порід а не до точки опробувань та дозволяє відстежувати геологічні межі безперервно;

в окремих випадках інформація про характеристики масиву може бути отримана переважно за допомогою геофізичних методів, наприклад таких як оцінка неоднорідності масиву, виділення границь залягання покрівлі скельних порід, визначення динамічних модулів пружності тощо;

в більшій кількості випадків геофізичні дослідження ведуться без порушення цілісності геологічного середовища, яке вивчається та може виконуватися велику кількість разів з будь-якою періодичністю без змін умов спостереження, що дає змогу ефективно використовувати їх для перевірки отриманої інформації та проведення моніторингу змін геологічного середовища;

дозволяють проводити дистанційні спостереження, у тому числі в період спостережень, та оцінювати стан порід і локалізувати зони його змін, які прогножуються, наприклад напруження, суцільність, вологість і таке інше.

Геофізичні методи допомагають успішно вирішити завдання локального характеру з вивчення геологічної будови та граничної неоднорідності показників властивостей ґрунтів. Суттєва і дуже особлива роль геофізики полягає у вирішенні задач сейсмічного мікрорайонування, які охоплюють значні площі. На рисунку (рис. 1), можна ознайомитися з рекомендованими видами та об'ємами геофізичних робіт, які затверджені державними будівельними нормами та мають діючий статус.

С. 54 ДБН А.2.1-1:2008

**ДОДАТОК К  
(рекомендований)**

**ГЕОФІЗИЧНІ МЕТОДИ В КОМПЛЕКСІ ВИШУКУВАЛЬНИХ РОБІТ**

Завдання досліджень	Комплекс геофізичних методів	
	основні	допоміжні
<b>Інженерно-геологічні вишукування</b>		
1 Рельєф похрипії скельних ґрунтів	електророзвідка методами: ГПЗ*, ЕП; ВЕЗ УО; сейсморозвідка МПХ	електророзвідка методами: ВЕЗ МДС; ЧЕМЗ; ДЕМП; сейсморозвідка МВХ; гравірозвідка
2 Розчленування геологічного розрізу (встановлення меж між шарами різного літологічного складу й стану в скельних і дисперсних породах)	ВЕЗ; МПХ; ГПЗ; різні види каротажу: - акустичний; - електричний; - радіоізотопний; - геополіаритонний	ВЕЗ МДС; ВЕЗ ВП; ЧЕМЗ; ВСП; безперервне сейсмоакустичне профілювання на акаваторіях
3 Місце розташування, глибина залягання і форми локальних неоднорідностей:  - зона тріщинуватості та тектонічних порушень;  - карстові порожнини і підземні виробки;  - поховані останці та локальні переаглиблення в скельній основі;  - льодяні і сільнольодисті ґрунти;  - мікмералотні води і талики	ГПЗ, ВЕЗ УО; ВЕЗ МДС; КВЗ; ПП; МПХ; ВСП; сейсмопросвічування міжсвердловинного простору, визометрія, різні види каротажу; еманційно-газова зйомка	ВЕЗ ВП; ВЕЗ МДС; радіохвильове просвічування; радіокіп; ДЕМП; магніторозвідка; термометрична зйомка
	ГПЗ; ЕП; ВЕЗ; КВЗ; ВСП; расходомерія, резистивіметрія	сейсмоакустичне просвічування; радіохвильове просвічування, гравірозвідка
	ГПЗ; ВЕЗ УО; ВЕЗ МДС; ЕП; гравірозвідка, магніторозвідка	ДЕМП; сейсмічне просвічування
	ГПЗ; ЕП; ВЕЗ МДС; МПХ; різні види каротажу	ВЕЗ ВП; ДЕМП; ЧЕМЗ; мікромагніт; зйомка, гравірозвідка
	ГПЗ; ЕП; ВЕЗ МДС; МПХ; термометрія	ПП; ВЕЗ ВП

**Рис. 1.** Рекомендовані види та об'єми геофізичних робіт

Геофізичні роботи виконують у комплексі з гірничопрохідницькими, геотехнічними та гідрогеологічними роботами або передують їм.

Геофізичні методи використовують з метою вивчення стану ґрунтів, картування аномальних зон, прогнозування розвитку природних і техногенних процесів, визначення глибини закладення та стану фундаментів, пошуку похованих фундаментів, конструкцій, порожнин. При складних інженерно-геологічних умовах зазвичай рекомендовано виконувати геофізичні роботи випереджуючи усі інші види робіт

Як відомо, основними фізичними характеристиками, які визначаються дослідним шляхом є питома вага частинок

ґрунту ( $\text{кН/м}^3$ ), питома вага ґрунту ( $\text{кН/м}^3$ ), пластичність (долі одиниці), вологість (долі одиниці), коефіцієнт фільтрації ( $\text{м/добу}$ ). Усі інші характеристики розраховуються із загально визначених формул (табл.1).

Перейдемо до практичних методів визначення осідань основ та фундаментів. Як виявляється існує чимало методів визначення осідань основ та фундаментів. До таких відносяться метод пошарового підсумування, в основу якого покладені такі принципи:

просідання поверхонь викликане лише дією вертикальних напруг, інші напруги не враховуються;

ґрунт є суцільним, ізотропним, лінійно деформованим тілом;

напругу визначають під центром підошви фундаменту;

відмінністю у стискуванні окремих шарів ґрунтів нехтують, при визначенні напруги;

процеси деформації розглядають тільки в межах товщі, що стискується;

бічне розширення ґрунту в основі неможливе;

незалежно від виду ґрунту, коефіцієнт розширення ґрунту дорівнює 0,8;

фундаменти не мають жорсткості.

Запропонований метод, професором М. О. Цитовичем у 1934р., еквівалентного шару ґрунту заснований на такому принципі, що основу розглядають як лінійно деформований напівпростір, в якому деформації прямо пропорційні напругам та можуть бути визначенні із допомогою теорії пружності.

Основні розрахункові фізичні характеристики ґрунтів

Назва	Визначення	Умовні позначення	Формула розрахунку	Одиниця виміру	Граничні межі
Вологість на границі пластичності	вологість, при якій ґрунт переходить із твердого стану в пластичний	$w_p$		долі одиниці	0,09 – 0,90
Вологість на границі текучості	вологість, при якій ґрунт переходить із пластичного стану в текучий	$w_L$		долі одиниці	0,15-5,0
Число пластичності	діапазон вологості, в якому ґрунт знаходиться в пластичному стані	$I_p$	$I_p = w_L - w_p$	долі одиниці	0 – 4,0
Показник текучості	характеристика природного стану ґрунту за пластичністю	$I_L$	$I_L = W - w_p / I_p$	долі одиниці	-
Питома вага сухого ґрунту	вага одиниці об'єму ґрунту у висушеному стані	$\gamma_d$	$\gamma_d = \gamma / (1 + W)$	кН/м <sup>3</sup>	12,18
Пористість	об'єм порот від загального об'єму ґрунту	$n$	$n = 1 - \gamma_d / \gamma_s$	долі одиниці	0 – 0,80
Коефіцієнт пористості	доля яку складає об'єм пор від об'єму мінеральної частини ґрунту	$e$	$e = \gamma_s \gamma (1 + W) - 1$	долі одиниці	0 – 1,5
Ступінь вологості	відношення природної вологості до вологості повної вологемності (ступінь заповнення пор водою)	$S_r$	$S_r = W / \gamma_s e \gamma_w$	долі одиниці	0 - 1
Показник неоднорідності гранулометричного складу	співвідношення діаметру часток, менше яких у ґрунті міститься відповідно 60% та 10% (за масою часток)	$C_u$	$C_u = d_{60} / d_{10}$	долі одиниці	1- 15
Ступінь щільності пісків	природний ступінь щільності відносно гранично-щільного і гранично-пухкого станів	$I_D$	$I_D = e_{max} - e / e_{max} - e_{min}$	долі одиниці	0 - 1
Питома вага ґрунту виваженого водою	вага одиниці об'єму ґрунту у виваженому стані	$\gamma_{sb}$	$\gamma_{sb} = \gamma_s - \gamma_w / (1 + e)$	кН/м <sup>3</sup>	7 - 12

Існує метод розрахунку просідання основ з урахуванням сусідніх фундаментів, в даному випадку назва говорить сама за себе, його застосовують якщо поруч розташовані інші фундаменти які будуть впливати на просідання.

Розрахунок осідання основ методом лінійно деформованого шару виконується в окремих випадках, коли виконуються умови:

шар ґрунту з модулем деформації  $> 100$  МПа;

ширина або діаметр фундаменту  $\geq 10$  м, а модуль деформації при цьому складає  $\geq 100$  МПа.

Розглянемо розрахунок осідання основ наближеним методом, запропонований професором І. О. Розенфельдом, відповідно до якого

$$S = 1,44 \mu (p - \sigma_{zg0}) / (1 + \mu E_m)$$

де  $\mu$  - співвідношення сторін фундаменту  $\mu = l/b$  (для стрічкового фундаменту  $\mu = 10$ );  $p$  - середній тиск по підшві фундаменту;  $\sigma_{zg0}$  - природна напруга в ґрунті на рівні підшви фундаменту;  $E_m$  - середнє значення модуля деформації ґрунтів, що залягають нижче від підшви фундаменту.

На рисунку (рис. 2). Можна побачити схему для визначення середнього значення модуля загальної деформації

$$E_m = \sum_{i=1}^n E_i h_i z_i / H_c^2$$

де  $E_i$  - модуль деформації  $i$ -го шару;  $h_i$  - товщина  $i$ -го шару;  $z_i$  - відстань від середини  $i$ -го шару до межі товщі ґрунту, що стискається;  $H_c = kb$  - потужність товщі, що стискається.

Значення коефіцієнта  $k$  залежить від співвідношення сторін фундаменту  $\mu$ . (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність коефіцієнта  $k$  від  $\mu$

Н	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	$\geq 6$ (стрічка)
К	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,9	5,5

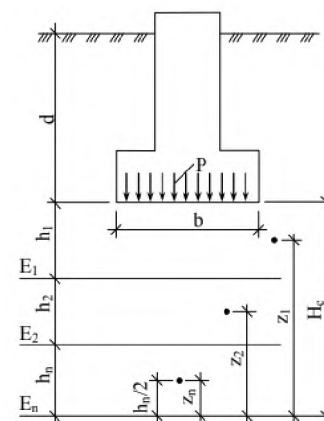


Рис. 2. Схема визначення середнього модуля загальної деформації, за методом І. О. Розенфельда

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** В роботі наведена коротка характеристика організації та складу робіт при інженерно-геологічних і інженерно-геотехнічних вишукуваннях. Надані основні відомості щодо геофізичних досліджень та характеристик ґрунтів. У статті наведені методи, якими можна визначити осідання основ та фундаментів.

#### Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99) Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості.
2. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд.
3. ДСТУ Б В.2.1 – 5-96 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань»
4. ДСТУ Б В.2.1-3-96. Основи і підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення.
5. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу».
6. ДСТУ Б В.2.1-9:2016. Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням.
7. ДБН А.2.1 – 1 – 2008. Інженерні вишукування для будівництва
8. Білецький В. С. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т./ за ред.В. С. Білецького — Д., 2004.— Т. 1: А — К. — 640 с.
9. Суярко В. Г. Інженерна геологія (з основами геотехніки)/ В.Г. Суярко, В. М. Величко, О. В. Гаврилюк, В. В. Сухов, О. В. Нижник, В. С. Білецький, А. В. Матвеев, О. А. Улицький, О. В. Чусько. За заг. ред. проф. В. Г. Суярка. — Х: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2019. — 278 с.
10. Зоценко М.Л. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти/ М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников. – П.: ПНТУ, 2003. – 13 – 554 с.
11. Oleksandr Ye. Lapshyn, Oleksandr O. Lapshyn, and Mykola Khudyk / The tragic consequences of the collapse of the earth's surface within the mining allotment of Ordzhonikidze mine // E3S Web Conf., - Volume 166, 2020., URL: <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/26/contents/contents.html>

Рукопис подано до редакції 24.04.2023

УДК 625.861

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,  
В.В. АФАНАСЬЄВ, М.О.ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти  
Криворізький національний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХВОСТІВ СМС ІНГУЛЕЦЬКОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ

**Мета.** Визначення фізико-механічних властивостей піска і щебню з хвостів. Точкові проби хвостів відібрано з терміналу окремої технологічної лінії грохочення. Лабораторні випробування хвостів проведено згідно зі зернового складу, вмісту зерен лешадної і голчатої форми, насипної щільності і пустотності, подрібнення (марки за міцністю).

**Методи дослідження.** До випробувань використовували лабораторну пробу, яку висушували до постійної маси, з котрої брали аналітичні проби. Просіювали ручним засобом через сита з отворами нормативних розмірів. Результати випробування полягали у визначенні залишку на кожному ситі.

**Наукова новизна.** Експериментальним шляхом були отримані фізико-механічні показники, дані про хімічний та гранулометричний склад щебеню та піску з відходів збагачення залізних руд.

**Практична значимість.** Для уникнення деформацій під залізничним навантаженням забезпечують загальну стійкість верхньої будови залізничної колії, стійкість і міцність основного майданчика земляного полотна (ущільнення, укоси, берми, укладання геотекстильних матеріалів, запас на осадку). Ці передбачені заходи економічно не завжди є доцільними. З другого боку, запаси нерудних будівельних матеріалів (граніт, то що), які є у залізничному кар'єрі, обмежені, видобуток – епізодичний. У зв'язку з цим для будівництва і відновлення земляного полотна на слабких основах і для верхньої будови залізничних колій актуальним є використання хвостів.

**Результати.** Щебінь з хвостів рекомендовано застосовувати для підсилення слабких основ при будівництві земляного полотна залізничних колій. Щебінь з хвостів рекомендовано застосовувати для верхньої будови залізничних колій. За рахунок використання відходів при будівництві залізниць у залізобетонних блоках можливо суттєве покращення екологічного стану підприємства на відвалах та в кар'єрі. Нова розроблена конструкція верхньої будови залізничної колії є екологічно захищеною від утворення пилу, допускає роботи з виправлення колії, заміни шпал і рейок.

**Ключові слова:** щебінь, залізничні колії, відходи збагачення, міцність