

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛИБИНИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗВІДУВАННЯ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ТРАНСПОРТНИХ БУДІВЕЛЬ**

**RESEARCH OF THE DEPTH OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL EXPLORATION DURING THE CONSTRUCTION OF TRANSPORT BUILDINGS**

**Фабрика Ю.М., к.т.н., доцент, ORCID ID:0000-0002-1745-1356** (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), **Ільчук Н.І., к.т.н., доц., ORCID ID: 0000-0002-7419-2661** (Луцький національний технічний університет університет), **Фабрика Б.Ю., магістр ORCID ID:0009-0000-7468-5776** (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу).

**Fabruka Yu.M, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-1745-1356** (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and gas), **Ilichuk N.I., Ph.D. of Engineering, Associate Professor, ORCID ID:0000-0002-7419-2661** (Lutsk National Technical University University), **Fabruka B.Yu., Master, ORCID ID:0009-0000-7468-5776** (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and gas).

Наведено та проаналізовано аналітичний метод визначення глибини інженерно-геологічного розвідування на територіях, які відведено для спорудження транспортних будівель. Застосування аналітичного методу дозволить виконувати більш точне визначення глибини розвідування, а також сприяє підвищенню якості його проведення та подальшого розрахунку.

A comparison of the reliability of mathematical modelling results of the heat treatment plate systems by moving heating sources is made. An approach to determining the amount of thermal energy redistributed in the welding plate due to local thermal effects is proposed. Increasing requirements for the strength and durability of the relevant nodes and elements of welded structures, as well as the problem of saving metal and energy in the context of the transition to resource- and energy-saving technologies, determines the urgency of the task of determining the optimal parameters of low-temperature processing technology using moving sources and heat sinks. The continuous increase in the volume of welding work in industry and construction is inextricably linked with the development of ways to minimize residual stresses and deformations and their harmful effects on the quality and performance of welded structures. The analysis of known literary sources indicates

insufficient study of the process of heat treatment using moving zones of heating and accompanying cooling and taking into account elastic-plastic deformations, since this is associated with great difficulties of a mathematical nature associated with the mobility of thermal effects, the emergence of purely elastic zones, elastic-plastic and purely plastic deformations.

The possibility of solving such problems is performed by numerical methods, namely: the method of finite differences, the method of finite elements, and the method of boundary integral equations. Analytical methods that make it possible to construct solutions of such problems in a closed form can be used in calculations only under the condition of significant simplifications of the description of the deformation process, which introduces errors in establishing the real picture of the development of elastic-plastic deformations.

**Ключові слова:** транспортна будівля, територія забудови, інженерно-геологічне розвідування, глибина розвідування.  
transport building, building territory, engineer-geological investigation, depth of investigation.

**Вступ.** Проведення інженерно-геологічного розвідування виконують, коли визначено місце розташування транспортної будівлі, а також її основні конструктивні особливості: конструктивна схема, глибина закладення фундаментів і навантаження, які будуть передаватися на них. Основними завданнями, що вирішуються при проведенні інженерно-геологічного розвідування, є виділення в сфері взаємодії будівлі з геологічним середовищем інженерно-геологічних елементів і визначення розрахункових характеристик цих елементів. Розглянуті матеріали сприятимуть більш точному визначенню глибини інженерно-геологічного розвідування, що також підвищить якість його проведення.

**Аналіз останніх досліджень.** Методична схема для проведення інженерно-геологічного розвідування передбачає: аналіз матеріалів, отриманих на попередніх етапах вишукувань, враховуючи при цьому конструктивні особливості будівлі; визначення меж сфери взаємодії будівлі з геологічним середовищем; формулювання завдань інженерно-геологічного розвідування; вироблення схеми інженерно-геологічного розвідування; призначення методів проведення інженерно-геологічного розвідування; проведення польових і лабораторних робіт; поточний камеральний аналіз, систематизація отриманих матеріалів; складання інженерно-геологічної моделі основи будівлі; розробка рекомендацій проектувальникам і будівельникам; оформлення звітної документації про інженерно-геологічне розвідування території забудови.

Важливим завданням наведеної схеми є визначення меж сфери взаємодії будівлі з геологічним середовищем, так як розміри цієї сфери

взаємопов'язані з кількістю та глибиною інженерно-геологічних виробок. Глибина інженерно-геологічних виробок за вимогами нормативних документів [3] повинна перевищувати стисливу товщу основи фундаментів на 1-2 м. Як відомо, розмір стислої товщі визначається при проектуванні методами механіки ґрунтів [1, 4]. Вона залежить від багатьох чинників, основними з яких є глибина закладення фундаментів у ґрунт, форма і розміри їх підшви, значення вертикального тиску, що передається на ґрунти основи, розрахункові характеристики ґрунтів, такі, зокрема, як їх питома вага, модуль деформації. На стадії проведення інженерно-геологічного розвідування більшість із зазначених величин (розміри підшви фундаментів, вертикальний тиск, характеристики ґрунтів) є невідомими, тому розмір стислої товщі досить точно визначити немає можливості.

**Мета і задачі досліджень:** Практика інженерно-геологічних вишукувань і наступного проектування транспортних будівель свідчить про те, що наведені в табл. 1 дані з певним наближенням можна використовувати для призначення глибини виробок, але все ж у деяких випадках вони мають суттєві похибки і тому вимагають коригування. Зважаючи на це, виникає необхідність уточнити деякі з наведених у табл. 1 значень глибин виробок, розширити цю таблицю, врахувавши у більшій мірі можливі випадки її застосування. Зокрема, в табл. 1 немає даних про рекомендовану глибину виробок на територіях з надмірно стисливими ґрунтами з модулем деформації  $E < 5 \text{ МПа}$ . Адже відомо, що в таких ґрунтових умовах розмір стислої товщі в основах збільшується [4]. Крім того, варто розширити обсяг даних для випадків з різною висотою дзеркала ґрунтових вод в стислій товщі основ будівель, бо ця висота може значно різнитися, наприклад, складати менше чверті висоти товщі, а може й бути вищою глибини закладення фундаменту в ґрунт, що суттєво впливає на розмір стислої товщі. Фактично виходить так, що глибина закладення не впливає на розмір товщі, а відповідно і на глибину розвідування, а це не відповідає положенням нормативних документів [4].

**Методика досліджень та вихідні дані.** Працюючи над вирішенням зазначених питань, ми дійшли до висновку, що їх можна успішно вирішити, застосувавши аналітичний метод знаходження глибини інженерно-геологічних виробок [2]. У даній статті викладається розширений й удосконалений варіант розробленого нами аналітичного методу. За цим методом глибину інженерно-геологічних виробок  $H$ , м від планувального рівня землі навколо будівлі рекомендується знаходити за формулами:

на території, відведеній для спорудження будівель зі стрічковими фундаментами:

$$H = K_1 \sqrt{N_1} + \frac{d}{2} + \Delta \quad (1)$$

на території, відведеній для спорудження будівель з окремими фундаментами:

$$H = K_2 \sqrt[3]{N_2} + \frac{2d}{3} + \Delta \quad (2)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – коефіцієнти, що мають розмірність м/кН<sup>1/2</sup> і м/кН<sup>1/3</sup> відповідно, значення яких подано в табл. 2;

$N_1$  – навантаження на стрічковий фундамент, кН/м;

$N_2$  – навантаження на окремий фундамент, кН;

$d$  – глибина закладення фундаменту в ґрунт, м;

$\Delta$  – додаткова глибина перевищення виробками розміру стисливої товщі основи, приймається в межах 1-2 м.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів К

Особливості ґрунтових і гідрогеологічних умов	Значення коефіцієнтів	
	$K_1$ , м/кН <sup>1/2</sup>	$K_2$ , м/кН <sup>1/3</sup>
Ґрунтових вод в межах $H$ немає	0,41	0,51
Ґрунтові води залягають у нижній чверті висоти $H$	0,42	0,53
Ґрунтові води залягають у нижній половині висоти $H$	0,46	0,55
Ґрунтові води залягають на три чверті висоти $H$	0,50	0,59
Ґрунтові води залягають майже на всю висоту $H$	0,56	0,63
На нижній межі стисливої товщі залягають надто деформівні ґрунти ( $E \leq 5$ МПа)	0,58	0,64
<i>Примітка.</i> При інших глибинах дзеркала ґрунтових вод значення коефіцієнтів $K_1$ і $K_2$ допускається знаходити за лінійною інтерполяцією.		

**Результати числових досліджень.** Щоб співставити дані про глибини виробок, які рекомендуються нормативними документами і знайдені за формулами (1) і (2), складено порівняльні табл. 2 і 3. При складанні цих таблиць умовно прийнято, що глибина закладення стрічкових фундаментів у ґрунт дорівнює 1 м, а окремих - 1,5 м, бо саме такі глибини найчастіше зустрічаються в практиці будівництва, хоча вони, звісно, можуть мати й інші значення.

Таблиця 2

Порівняльні значення глибин інженерно-геологічних виробок  $H$ , м, на територіях для спорудження будівель зі стрічковими фундаментами.

Особливості ґрунтових і гідрогеологічних умов	Навантаження на фундаменти, кН/м					
	100	200	500	700	1000	2000
Ґрунтових вод в межах $H$ немає	$\frac{5}{5,6}$	$\frac{7}{7,3}$	$\frac{10}{10,7}$	$\frac{13}{12,3}$	$\frac{16}{14,5}$	$\frac{21}{19,8}$
Ґрунтові води знаходяться у нижній чверті висоти $H$	$\frac{7}{5,7}$	$\frac{9}{7,5}$	$\frac{13}{10,9}$	$\frac{16}{12,6}$	$\frac{21}{14,8}$	$\frac{24}{20,3}$
Ґрунтові води знаходяться у нижній половині висоти $H$	$\frac{7}{6,1}$	$\frac{9}{8,0}$	$\frac{13}{11,8}$	$\frac{16}{13,7}$	$\frac{21}{16,0}$	$\frac{24}{22,1}$
Ґрунтові води знаходяться на три чверті висоти $H$	$\frac{7}{6,5}$	$\frac{9}{8,6}$	$\frac{13}{12,7}$	$\frac{16}{14,7}$	$\frac{21}{17,3}$	$\frac{24}{23,8}$
Ґрунтові води залягають майже на всю висоту $H$	$\frac{7}{7,1}$	$\frac{9}{9,4}$	$\frac{13}{14,0}$	$\frac{16}{16,3}$	$\frac{21}{19,2}$	$\frac{24}{26,5}$
На нижній межі стисливої товщі залягають надтодеформівні ґрунти ( $E \leq 5 \text{ МПа}$ )	$\frac{-}{7,3}$	$\frac{-}{9,7}$	$\frac{-}{14,5}$	$\frac{-}{16,8}$	$\frac{-}{19,8}$	$\frac{-}{27,4}$
<i>Примітка.</i> У чисельнику проставлені значення $H$ , визначені за рекомендаціями [3], у знаменнику – обчислені за формулою (1).						

Таблиця 3

– Порівняльні значення глибин інженерно-геологічних виробок  $H$ , м, на територіях для спорудження будівель з окремими фундаментами

Особливості ґрунтових і гідрогеологічних умов	Навантаження на фундаменти, кН						
	500	1000	2500	5000	10000	15000	50000
Ґрунтових вод в межах $H$ немає	$\frac{5,5}{7}$	$\frac{6,5}{8,1}$	$\frac{8,5}{9,9}$	$\frac{10,5}{11,7}$	$\frac{12,5}{14,0}$	$\frac{13,5}{15,6}$	$\frac{19,5}{21,8}$
Ґрунтові води знаходяться у нижній чверті висоти $H$	$\frac{7,5}{7,2}$	$\frac{8,5}{8,3}$	$\frac{10,5}{10,5}$	$\frac{14,5}{12,1}$	$\frac{16,5}{14,4}$	$\frac{20,5}{16,1}$	$\frac{27,5}{22,5}$
Ґрунтові води знаходяться у нижній половині висоти $H$	$\frac{7,5}{7,4}$	$\frac{8,5}{8,5}$	$\frac{10,5}{10,5}$	$\frac{14,5}{12,4}$	$\frac{16,5}{14,9}$	$\frac{20,5}{16,6}$	$\frac{27,5}{23,1}$

Особливості грунтових і гідрогеологічних умов	Навантаження на фундаменти, кН						
	500	1000	2500	5000	10000	15000	50000
Грунтові води знаходяться на три чверті висоти $H$	$\frac{7,5}{7,7}$	$\frac{8,5}{8,9}$	$\frac{10,5}{11,0}$	$\frac{14,5}{13,1}$	$\frac{16,5}{15,7}$	$\frac{20,5}{17,6}$	$\frac{27,5}{24,8}$
Грунтові води залягають майже на всю висоту $H$	$\frac{7,5}{8,0}$	$\frac{8,5}{9,3}$	$\frac{10,5}{11,6}$	$\frac{14,5}{13,8}$	$\frac{16,5}{16,6}$	$\frac{20,5}{18,6}$	$\frac{27,5}{26,0}$
На нижній межі стисливої товщі залягають надтодеформівні грунти ( $E \leq 5 \text{ МПа}$ )	$\frac{-}{8,1}$	$\frac{-}{9,4}$	$\frac{-}{11,7}$	$\frac{-}{14,2}$	$\frac{-}{16,8}$	$\frac{-}{18,8}$	$\frac{-}{26,3}$
<i>Примітка.</i> У чисельнику проставлені значення $H$ , визначені за рекомендаціями норми [3], у знаменнику – обчислені за формулою (2).							

Із порівняння даних табл. 2 і 3 випливає, що глибина виробок, знайдена за нормативними документами і за формулами (1) і (2), у більшості випадків відрізняється несуттєво (до 10%), але інколи відхилення значне і сягає 25%. Порівняння даних дозволяє стверджувати, що застосування аналітичного методу дає можливість точніше врахувати розмаїття ґрунтових і гідрогеологічних умов на територіях будівництва, що підвищує якість вишукувань.

Ще ефективнішим є застосування аналітичного методу для визначення глибини інженерно-геологічних виробок на територіях, відведених для спорудження будівель з пальовими фундаментами. На таких територіях за вимогами нормативних документів [3] глибину виробок в нескільких ґрунтах треба приймати нижче рівня кінців паль не менше ніж на 5 м. При цьому не враховуються як ґрунтові та гідрогеологічні умови, так і значення діючого навантаження. Практика використання таких вимог в деяких випадках призводить до сумнівних результатів, а саме: в одних і тих же умовах глибину виробок для пальових фундаментів допускається приймати меншою, ніж для мілких.

Візьмемо, для прикладу, територію, на якій мають споруджуватися дві однакові будівлі зі стрічковими фундаментами з діючим на них навантаженням 700 кН/м, причому перша будівля споруджуватиметься на мілких фундаментах з глибиною закладання 1 м, а друга - на пальових з розміщенням нижніх кінців на глибині 5,5 м. Якщо керуватися вимогами нормативних документів [3], то треба глибину інженерно-геологічних

виробок на місці спорудження першої будівлі з мілкими фундаментами призначати 12-16 м, а на території, де розташовуватиметься друга будівля з пальовими фундаментами, можна обмежитися меншою глибиною виробок, а саме 11 м, що нелогічно, бо в другому випадку глибина передачі сили від ваги будівлі на ґрунт буде значно більшою, а це означає, що й глибина стисливої товщі в основі розташовуватиметься нижче. Таких прикладів при потребі можна навести й більше, а з цього випливає, що для визначення глибини виробок на територіях спорудження будівель з пальовими фундаментами необхідно розробляти нові методики, які дають точніші результати, що використовуються для розрахунків деформацій основ на стадії проектування будівель.

Нами рекомендується в подібних випадках визначати глибину виробок  $H$ , м, від планувального рівня землі навколо будівлі аналітичним методом за формулами:

для будівель зі стрічковими пальовими фундаментами:

$$H = K_1 \sqrt{N_1} + \frac{d+l}{2} + \Delta \quad (3)$$

для будівель з окремими фундаментами у вигляді кушів паль:

$$H = K_2 \sqrt[3]{N_2} + \frac{2(d+l)}{3} + \Delta \quad (4)$$

де  $K_1, K_2, N_1, N_2$  – те ж, що і в формулах (1) і (2);

$\Delta$  – додаткова глибина виробок, приймається в межах 0-1 м;

$d$  – глибина закладення ростверка в ґрунт, м;

$l$  – довжина паль, м.

Значення додаткової глибини  $\Delta$  приймають залежно від орієнтовного співвідношення складових вертикального навантаження, що передається через бічну поверхню паль і через їх нижні кінці.

Для розуміння глибини виробок, які призначені за вимогами нормативних документів і визначені за формулами (3) і (4), складено табл.4 і 5.

Таблиця 4

Порівняльні значення глибин виробок на територіях спорудження будівель зі стрічковими пальовими фундаментами при  $d = 0,5$  м і  $l = 5$  м

Ґрунти в основах фундаментів	Значення $H$ , м						
	за вимогами норм	за нормою [5] при навантаженні на куш паль, кН					
		100	200	500	700	1000	2000
Необводнені	$\geq 10,5$	$\frac{7}{9}$	$\frac{9}{11}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{14}{18}$	$\frac{16}{21}$	$\frac{21}{28}$
Обводнені							

Порівняльні значення глибин виробок на територіях спорудження будівель з фундаментами у вигляді кущів паль, при  $d = 0,5$  м і  $l = 5$  м

Ґрунти в основах фундаментів	Значення $H$ , м							
	за вимогами норм	за нормою [6] при навантаженні на кущ паль, кН						
		500	1000	2500	5000	10000	15000	50000
Необводнені	$\geq 11$	$\frac{8}{9,5}$	$\frac{9}{10,5}$	$\frac{10}{12,5}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{15}{17,5}$	$\frac{17}{19,5}$	$\frac{23}{27}$
Обводнені								

Аналізуючи розбіжності поданих в табл. 5 і 6 глибин виробок, можна дійти до висновку, що вимоги норм [3] стосуються випадків, коли на стадії проектування будівель основи палювих фундаментів розраховуватимуться за першою групою граничних станів, тобто за несучою здатністю, хоча на цьому в нормах спеціально не наголошується. Але треба мати на увазі, що норми проектування палювих фундаментів [5] вимагають: коли палі в складі фундаментів працюють як висячі, то треба додатково розраховувати основи за другою групою граничних станів, тобто за деформаціями і тоді глибину виробок треба визначати аналітичним методом за формулами (3) і (4).

**Висновки.** Розроблений аналітичний метод дозволяє більш точно та обґрунтовано призначати глибину інженерно-геологічних виробок на територіях, які відведено для спорудження безкаркасних і каркасних будівель як для палювих, так і для фундаментів мілкового закладання.

Застосування аналітичного методу підвищує якість проведення інженерно-геологічних вишукувань для складання робочої документації.

1. Гольдштейн М. Н., Кушнір С. Г., Шевченко М. И. Розрахунок усадок та основ фундаментів. – К.: Будівельник, 1997. –208с.

Holdshstein M. N., Kushnyr S. H., Shevchenko M. Y. Rozrakhunok usadok ta osnov fundamentiv. – К.: Budivelnyk, 1997. –208s

2. Козак Р. В., Козачок Л. Д. Призначення глибини гірських виробок при проведенні інженерно-геологічних вишукувань // Звітна конф. викладачів та аспірантів за наслідками наук.-дослідної роботи 1993 р.: Тези доп. – Львів, 1994. – С.234–235.

Kozak R. V., Kozachok L. D. Pryznachennia hlybyny hirs'kykh vyrobok pry provedenni inzhenerno-geologichnykh vyshukuvan // Zvitna konf. vykladachiv ta aspirantiv za naslidkamy nauk.-doslidnoi roboty 1993 r.: Tezy dop. – Lviv, 1994. – S.234–235.

3. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва, Мінрегіонбуд, 2008. – 76с.

4. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зі Зміною № 1, Мінрегіон України, 2013.–134с.

5. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. Мінрегіонбуд, 2018. – 43 с.