

## Інженерна підготовка території в умовах залягання слабого ґрунту

Олег Малишев<sup>1</sup>, Андрій Ращенко<sup>2</sup>, Тетяна Диптан<sup>3</sup>

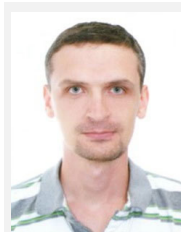
Київський національний університет будівництва і архітектури  
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,  
<sup>1</sup>malyshev.ov@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-2804-6217  
<sup>2</sup>raschenko.am@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-2948-3232  
<sup>3</sup>dyptan.tv@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2852-014X

DOI: 10.32347/0475-1132.43.2021.101-110

**Анотація.** В сучасних умовах відбувається забудова лісів, парків, родючих ґрунтів, а також знесення застарілих сільськогосподарських конструкцій, будівель та споруд і створення на їх місці нових житлових масивів. Великі міста та населені пункти розширюються за рахунок освоєння під забудову територій, геологічна будова яких є складною. Зокрема, складність обумовлена не тільки низькими значеннями фізико-механічних характеристик ґрунтів, але й особливими властивостями (висока стисливість, вигнивання органічних решток, нерівномірність та тривалість протікання осідання в часі, ін.) [1, 5]. Певна частина території нашої країни представлена заторфованими ґрунтами, які в певній мірі можливо розглядати як корисні копалини, використання яких як основу будівель та споруд не є раціональним та вимагає застосування спеціальних заходів та будівельних робіт.

При проектуванні будівель і споруд у таких інженерно-геологічних умовах необхідно враховувати, що всі види геотехнічних дій з боку деформованої основи на будівлю зводяться в основному до нерівномірних вертикальних та горизонтальних переміщень поверхні основи. З метою забезпечення надійної експлуатації будівлі в таких інженерно-геологічних умовах слід приймати конструктивно-технологічні рішення, які будуть комплексно враховувати складність ділянки та дозволять реалізувати проектне рішення. При цьому, як показує практика проектування та будівництва, досить часто перелічені несприятливі фактори та небезпечні процеси ігноруються, не враховуються або приймаються не коректні рішення по забезпеченню надійності основи.

Для вирішення цієї задачі актуальними за-



**Олег Малишев**  
доцент кафедри  
геотехніки  
к.т.н., доц.



**Андрій Ращенко**  
ст. викладач кафедри  
геотехніки



**Тетяна Диптан**  
ст. викладач кафедри  
геотехніки

лишаються: комплекс сучасних інструментів моделювання (чисельний розрахунок) та натурні спостереження, які дозволяють виконати аналіз результатів та прийняти обґрунтовано вірний (надійний, економічно вигідний) варіант підготовки основи для забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівлі чи споруди [2].

**Ключові слова.** Слабкі ґрунти, торф, консолідація, самоущільнення, нерівномірні деформації, конструктивно-технологічні рішення, напружено-деформований стан, геотехнічний елемент, геотехнічний масив.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Геотехнічні умови багатьох будівельних майданчиків відносяться до найвищої (складної) категорії внаслідок наявності в основі слабких водонасичених ґрунтів [3]. Ці умови є одним із визначальних факторів при виборі конструктивних, технічних, організаційних і технологічних рішень підземної частини будівель з урахуванням можливих негативних наслідків при подальшій експлуатації об'єктів. Влаштування підземних частин будівель потребує врахування комплексу особливостей таких ґрунтів та вимагає застосування належного інженерного захисту. Критерій вибору тієї чи іншої технології будівництва залежить від інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, початкового напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, типу огорожувальних конструкцій, наявності прилеглих споруд, послідовності будівництва.

Проблемне питання проектування зводиться до комплексного аналізу всіх визначальних факторів та прийняття оптимального варіанту для кожного окремого випадку будівництва.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В Україні значна частина майданчиків, які обираються для забудови, відносяться до таких, що складені слабкими ґрунтами (водонасичені, заторфовані, замулені та ін.). У вивчення та узагальнення матеріалів інженерно-геологічних досліджень та досвід проектування на таких ґрунтах значний вклад внесли М.Ю. Абелев, Ю.М. Абелев, М.Н. Гольдштейн, А.М. Дранніков, В.Д. Ломтадзе, М.О. Цитович та ін. [6...9].

Аналіз публікацій минулих років дозволяє зробити висновки, що врахують поведінку таких основ:

- при влаштуванні привантаження слабого ґрунту необхідно влаштовувати дренаж; консолідація від привантаження, як правило, завершується через 1,5...2 місяці [6];

- тривалість деформацій привантаженого слабого шару ґрунту залежить від коефіцієнта фільтрації [7];
- розрахункові значення осідання в таких ґрунтових умовах значно нижчі за фактичні [8, 9].

Щодо термінології, прийнятої у нормах [1], для природних основ в складних інженерно-геологічних умовах використовується термін "*слабкі основи*". До них відносять природні основи, складені обводненими ґрунтами, насипи, які можуть мати значні по величині нерівномірні за часом деформації. Для попередження розвитку таких деформацій необхідно враховувати спеціальні конструктивні рішення, які забезпечать нормальну експлуатацію будівлі в подальшому.

## МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є підтвердження використання конструктивно-технологічних рішень підготовки основи, складеної слабкими ґрунтами з урахуванням вимог норм [1...3] по обмеженню гранично допустимих деформацій в період експлуатації.

Для цього необхідно вирішити основні задачі:

1. Проаналізувати інженерно-геологічні умови, несприятливі процеси та явища майданчика дослідження;
2. Дослідити вплив послідовності підготовки майданчика до будівництва (привантаження, експлуатація, закріплення) на фізико-механічні характеристики ґрунтів основи;
3. Оцінити деформації основи на різних етапах завантаження (підготовки, зведення та експлуатації);
4. Обґрунтувати раціональність використання конструктивно-технологічних рішень на прикладі майданчика діючого автозаправного комплексу.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідний майданчик автозаправного комплексу знаходиться по вул. 1-го Травня в смт Баришівка Броварського району Київської області. До початку будівництва була встановлена [10] геологічна будова майданчика (рис.1). За цими даними:

- автозаправний комплекс зведений на правій надзаплавній терасі р. Трубіж;
- абсолютні позначки поверхні на час вишукувань склали 97.9...98.3 м;
- абсолютні позначки автомобільної дороги, впритул до якої розташований майданчик склали близько 100 м;
- до позначок 92.5...93.7 м залягають слабкі ґрунти болотного походження:

ПЕ-1 –рослинний шар потужністю до 0.4 м; ПЕ-2 – торф, потужністю до 4 м; ПЕ-3 –пластичний та текучий супісок, потужністю до 1.5 м. Ця товща покриває алювіальні дрібні піски середньої щільності ПЕ-4, потужністю більше 6 м.

Інженерно-геологічні умови майданчика відносяться до категорії III-ї – умови складні, де переважаючими критеріями є наявність потужної товщі слабких ґрунтів та підтоплення ділянки [3] (рис. 1). Для забезпечення можливості нормального в'їзду-виїзду з території АЗК в період експлуатації, проектною організацією було прийнято рішення підвищити планувальні позначки підсипкою на висоту до 3.0 м (рис. 2) та обрати пальовий варіант фундаменту для споруди АЗК, де основою для паль прийнято пісок ПЕ-4. Це одночасно мало захистити територію від впливу небезпечних явищ в період весняних паводків.

Таке конструктивно-технологічне рішення з влаштування вертикального дренажу з піщаного ґрунту мало б прискорити процес консолідації та дозволило б швидше відфільтровуватися воді з водонасиченого ґрунту. Осідання шару торфу від привантаження протягом одного року прогнозувалося на величину 10...12 см [1].

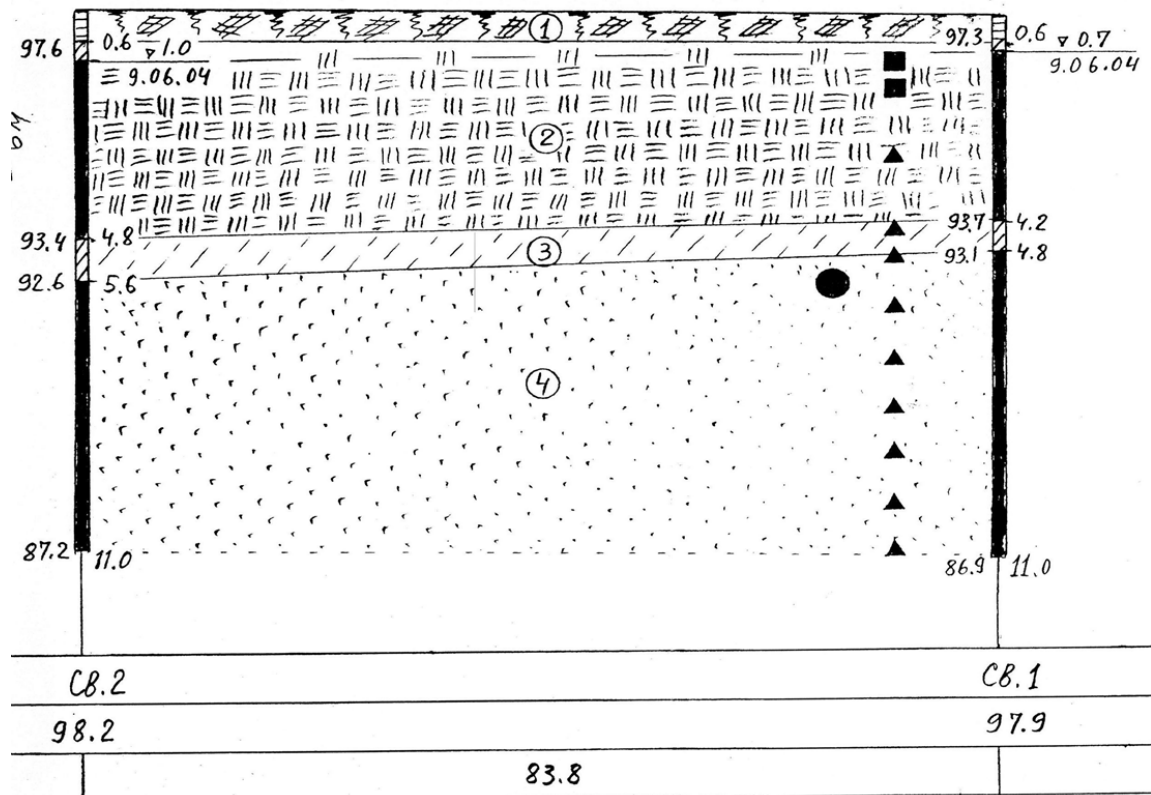


Рис. 1. Інженерно-геологічний розріз в межах АЗК (за даними Технічного звіту, 2004 р. [10]).

Fig. 1. Engineering-geological section within patrol station (according to the Technical Report, 2004 [10]).

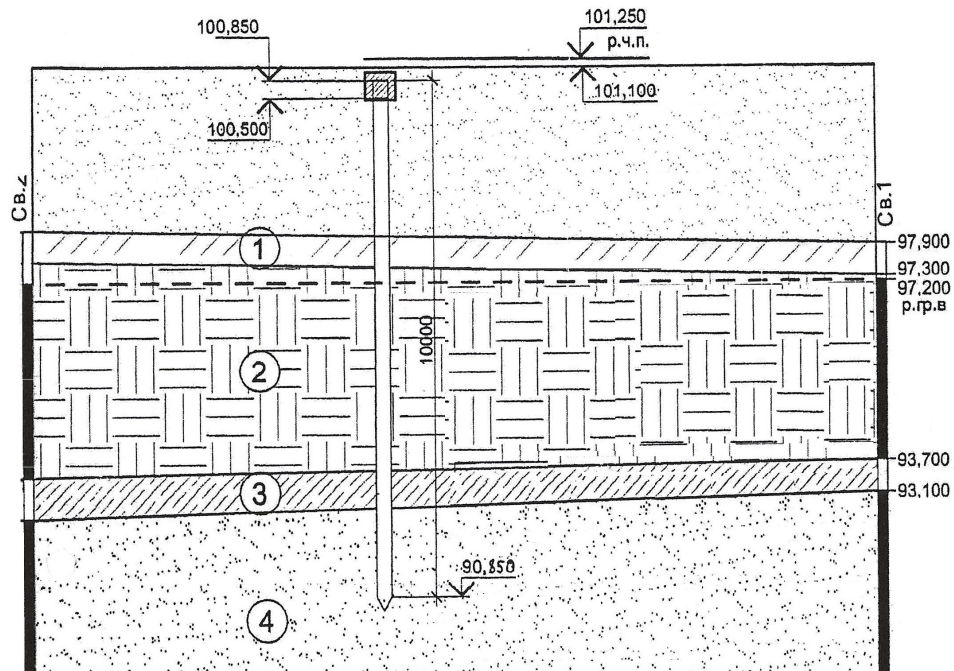


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз з планувальною підсипкою (2016 р. [11]).  
 Fig. 2. Engineering-geological section with planning backfill (2016 [11]).

Однак, при виконанні будівельних робіт, привантаження влаштовувалось на рослинний шар, що не був зрізаний, а сам піщаний насип влаштовувався без належного ущільнення. Після завершення будівництва в процесі експлуатації АЗК активно проявились значні нерівномірні незатухаючі деформації, що привели до осідання та викривлення поверхні на величину від 5...9 до 27...32 см. Будівля операторської, виносні опори навісу та заправні колонки, що зведені на паливових фундаментах, не постраждали.

Обстежуваними та вишукувальними роботами [11] були встановлені основні причини деформацій покриття майданчика:

- а) ущільнення торфу під дією привантаження насипними ґрунтами;
- б) самоущільнення в часі шару привантаження;
- в) додаткова динамічна дія від рухомого транспорту на пухкі неуцільнені піски;
- г) додаткове замочування атмосферними опадами через місця руйнувань системи місцевого водовідведення, що було пошкоджене при осіданні основи.



Рис. 3. Деформації території біля будівлі АЗК.  
 Fig. 3. Territory deformations around patrol station building.



Процеси деформацій по майданчику носили масовий характер (рис.3), а за прогнозом [11] вони мали б бути незатухаючими.

Тому власником було прийнято рішення про закріплення ґрунтової основи в межах майданчика (рис. 4).

Серед запропонованих методів найбільш швидким та таким, що не потребував виконання значних обсягів земляних робіт був запропонованим метод ін'єктування всієї території комплексу із створенням нового геотехнічного масиву (ГМ).

Закріплення основи виконувалось через ін'єктор діаметром 50 мм, де під високим тиском на глибину 9 м від існуючої поверхні закачувався складний розчин з компонентами: цемент, вода, рідке скло (гелеокомпозит). Такий новоутворений штучний геотехнічний елемент (ГЕ) додатково армувався стрижнем композитної арматури діаметром 10 мм.

Перевірка якості закріпленої ґрунтової основи виконувалась польовими дослідженнями за допомогою динамічного зондування за методикою норм [4]. Дослі-

дження виконувалось через 15...25 діб після закінчення ін'єктування [12]. Виконавцем робіт з підсилення основи додатково відбирались зразки матеріалів ін'єктування для їх випробування у лабораторії

Контроль виконувався по площі майданчика у два етапи:

під час першого етапу уточнювалися механічні характеристики ґрунтів майданчика зондуванням ґрунтів;

під час другого етапу контролювався стан основи після її закріплення ін'єктуванням:

- виконувалось динамічне зондування ГМ навколо ГЕ;
- контролювалась міцність закріпленого стовбура неруйнівним методом;
- відбирались керни з тіла ГЕ для визначення у лабораторії граничного опору матеріалу та його класу.

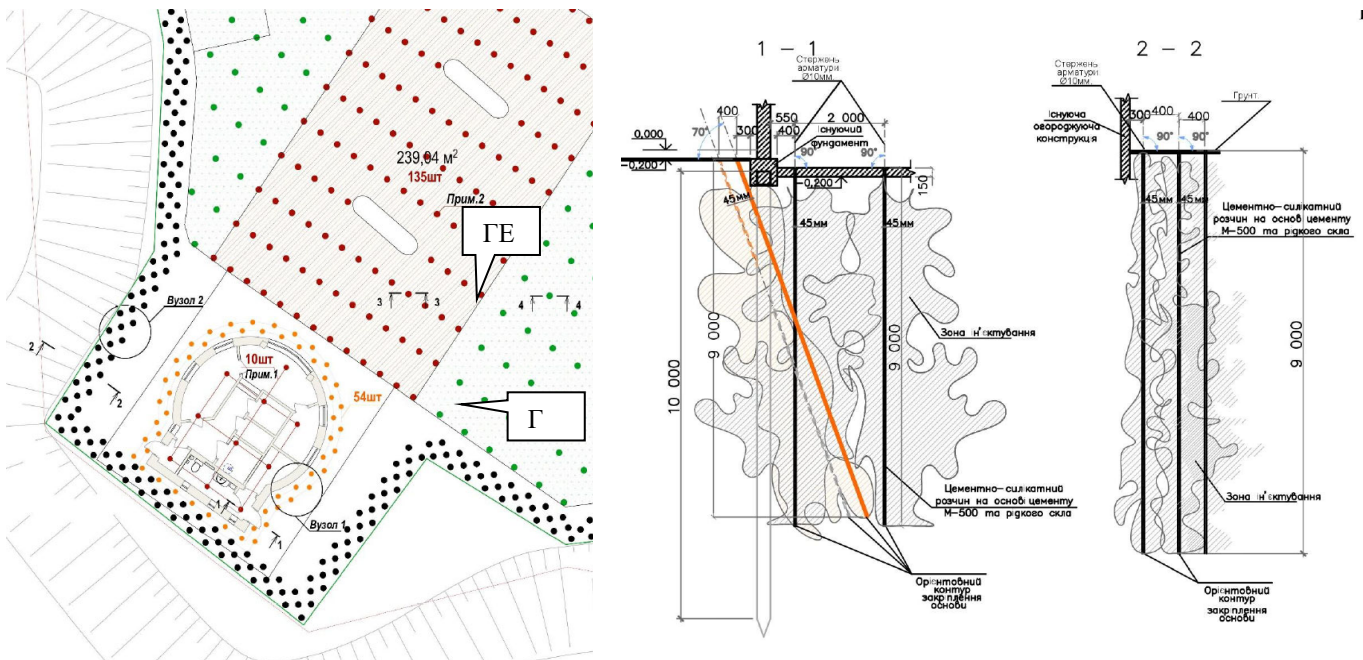


Рис.4. Підсилення ґрунтової основи методом ін'єктування (2017 р. [13]).

Fig.4. Strengthening the soil base by injection method (2017 [13]).

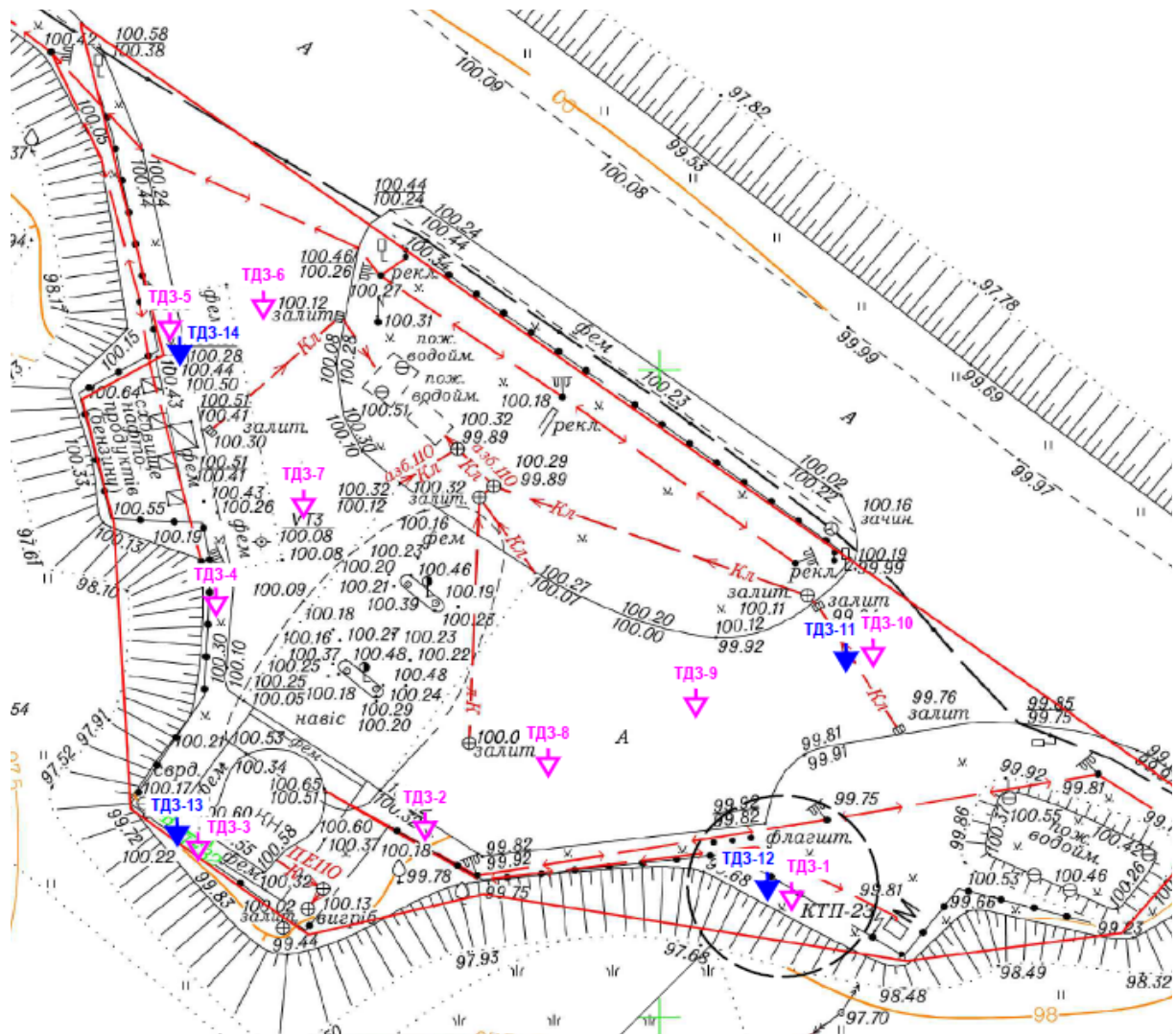


Рис. 5. Схема розташування точок контролю (2017 р. [12]).  
 Fig. 5. Control points location scheme (2017 [12]).

За результатами польових (для ГМ) та лабораторних (для ГЕ) випробувань встановлено:

- матеріал новоутвореного ГЕ діаметром 74...75 мм відповідає класу міцності C5/7.5;
- щільність скелету ґрунту навколо ГЕ по всій глибині ін'єктування складає:  $\rho_d \geq 1.20 \dots 1.35 \text{ г/см}^3$ . Це значно більше величин щільності скелету торфу у природному стані:  $\rho_d = 0.47 \text{ г/см}^3$  за звітом [11] та  $\rho_d = 0.89 \dots 1.37 \text{ г/см}^3$  за результатами динамічного зондування [12].

Приклад журналу польових досліджень ГМ динамічним зондуванням наведено на рис. 6.

Результати зондування [12] підтвердили ефективність прийнятого рішення щодо методу підсилення основи.

Зведені результати досліджень ґрунтової основи протягом різних років наведені у таблиці 1.

Табл. 1. Зміна фізико-механічних характеристик ґрунтів основи  
Table 1. The change of physical and mechanical characteristics of the soil base

Склад та параметри основи		Моніторинг зміни параметрів основи в період		
		проекування та будівництва 2004 р.	розвитку значних деформацій 2016 р.	після ін'єкування 2017 р.
Насипний	$\rho_d, \text{г/см}^3$	-	$\frac{1.2 \dots 1.5^{(1)}}{1.25}$	$\frac{0.57 \dots 1.40}{1.36}$
	$E, \text{МПа}$	-	$\frac{1 \dots 6}{3}$	$\frac{1 \dots 12}{7}$
Торф	$\rho_d, \text{г/см}^3$	1.39 <sup>(2)</sup>	0.47	$\frac{0.89 \dots 1.37}{1.00}$
	$E, \text{МПа}$	3.0 <sup>(2)</sup>	3.5	$\frac{0.5 \dots 16.5^{(3,4)}}{7}$
Супісок	$\rho_d, \text{г/см}^3$	1.56 <sup>(2)</sup>	1.54 <sup>(2)</sup>	$\frac{1.27 \dots 1.58}{1.45}$
	$E, \text{МПа}$	12 <sup>(2)</sup>	10 <sup>(2)</sup>	$\frac{11 \dots 16}{13}$
Пісок	$\rho_d, \text{г/см}^3$	1.60 <sup>(2)</sup>	1.56 <sup>(2)</sup>	$\frac{1.60 \dots 1.66}{1.63}$
	$E, \text{МПа}$	26 <sup>(2)</sup>	26 <sup>(2)</sup>	$\frac{17 \dots 21}{20}$

Примітки:

1. в чисельнику – розкид значень, в знаменнику – розраховане нормативне значення;
2. фізичні та механічні характеристики ґрунтів призначались без випробувань;
3. завищення показників опору зондуванню за рахунок включень коріння дерев;
4. мінімальні значення модуля деформації наведені для ділянок, що не закріплювались, а максимальні – безпосередньо біля ГЕ (геотехнічного елемента) .

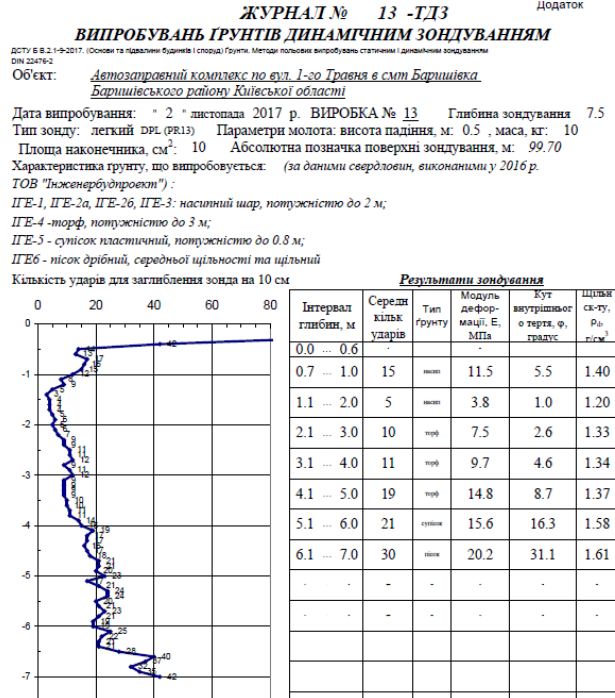
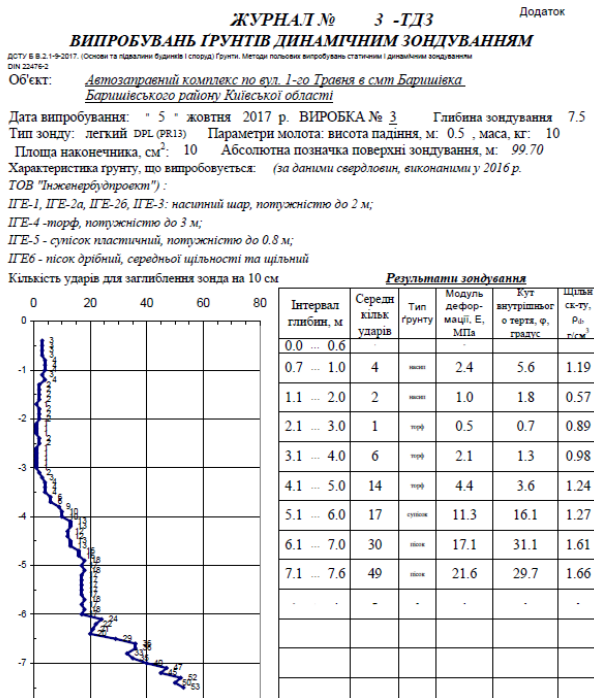


Рис. 6. Журнали випробувань динамічним зондуванням [12] до (зліва - № 3) та після (справа - № 13) виконання робіт з підсилення основи.

Fig. 6. Dynamic sounding test logs [12] before (left - № 3) and after (right - № 13) completion works on base strengthening.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі аналізу інженерно-геологічних умов майданчика та прийнятих проектних рішень щодо будівництва та експлуатації майданчика АЗК, зроблені наступні висновки:

1. Майданчик характеризується складними інженерно-геологічними умовами, де в ґрунтовій товщі присутні слабкі ґрунти (торф) значної потужності.
2. На етапі виконання інженерних вишукувань до початку будівництва призначення нормативних та розрахункових показників ґрунтів за табличними значеннями привело до їх завищення, а для слабого шару показник щільності скелету ґрунту був завищений майже в три рази. До цього додалися помилки при проектуванні (при розробці проекту не були враховані явища самоущільнення слабого шару від дії додаткового корисного привантаження) та помилки при виконанні будівельних робіт (рослинний шар не зрізався, насип відсипався без належного ущільнення).
3. Розвиток значних нерівномірних деформацій території комплексу привів до виведення його зі стану нормальної експлуатації. Нерівномірні незатухаючі деформації досягали величин 27...32 см.
4. Прийняте рішення про закріплення основи ін'єктуванням стабілізувало осідання масиву ґрунту на території комплексу та дозволило відновити його експлуатаційну придатність. Ефективність робіт із інженерної підготовки території АЗК підтверджується контролем якості закріпленої основи та нормальною експлуатацією об'єкта більше чотирьох років.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. ДБН В.1.1-45:2017. – [Чинний від 2017-09-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 35с.
2. Основи та фундаменти споруд. ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 82с.

3. Інженерні вишукування для будівництва. ДБН А.2.1-1-2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 76с.
4. Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. ДСТУ Б В.2.1-9:2016 – [Чинний від 2017-04-01]. – К.: ДП "Державний дорожній науководослідний інститут імені М.П. Шульгіна" (ДП "ДерждорНДІ"), 2017.
5. Rashchenko A. The Main Features of Hydraulic Fill Soils and River Dnieper Alluvial Deposits in the Kyiv Region. / A. Rashchenko, T. Dyptan, O. Malyshev // *Civil and Environmental Engineering Reports*. Vol. 30, no. 4. – pp. 72–89.
6. Новиков М.Ф. Опыт проектирования намыва территорий под застройку на водопроницаемое и заторфованное основание. / М.Ф. Новиков, А.Л. Спивак, Н.В. Вязова // *Основания и фундаменты*. – К.: КИСИ. – 1988. – Вып. 21.– С. 57-59.
7. Бойко И.П. Деформации оснований земляных сооружений на илах оз. Сиваш. / И.П. Бойко, Г.М. Зарецкий, Л.Е. Уралова // *Основания и фундаменты*. – К.: КИСИ. – 1977. – Вып. 10.– С. 7-9.
8. Степаненко Г.П. Осадки намывной дамбы на слабых грунтах. / Г.П. Степаненко, А.Н. Спанцирети, И.О. Кошелева. // *Основания и фундаменты*. – К.: КИСИ. – 1989. – Вып. 22.– С. 82-86.
9. Розенфельд И. А. К вопросу о прогнозе осадок сооружений на сильносжимаемых основаниях. / И.А. Розенфельд // *Основания и фундаменты*. – К.: КИСИ. – 1971. – Вып. 4.– С. 82-86.
10. АЗС по вул. 1-го Травня у смт Баришівка, Київської області. Технічний звіт по інженерно-геологічних вишукуваннях. ПКТІ "ЄвроУкрпроект", Київ, 2004.
11. Об'єкт за адресою: вул. 1-е Травня, 1-А в смт Баришівка Київської області. Робочий проект. Інженерно-геологічні вишукування. Технічний звіт. 36259541-21/09.2016-00-00. ТОВ "Інженербудпроект", Київ, 2016.
12. Автозаправний комплекс вул. 1-го Травня, в смт Баришівка Баришівського району Київської області. Геотехнічні роботи. Результати контролю стану закріпленої ґрунтової основи. ТОВ "ЗБК-ЦЕНТР", 321017-В, Київ, 2017.
13. Підсилення ґрунтової основи для АЗС, методом ін'єктування гелеокомполітом, що



розміщена за адресою: вул. 1-ше травня, 1а, смт. Баришівка, Київська обл. Проект. ТОВ "Експрес Технології Ін'єктування", 25-17, Київ, 2017.

## REFERENCES

1. Budivli i sporudy v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. DBN V.1.1-45:2017. (2017). Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 35 (in Ukrainian).
2. Osnovy ta fundamenti sporud. DBN V.2.1-10-2009. (2009). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 82 (in Ukrainian).
3. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva. DBN A.2.1-1-2008. (2008). Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 76 (in Ukrainian).
4. Grunty. Metody pol'ovyykh vyprobuvan' statychnym i dynamichnym zonduvanniam. DSTU B V.2.1-9:2016 (2017). Kyiv, (in Ukrainian).
5. Rashchenko A., Dyptan T., Malyshev O. (2020). The Main Features of Hydraulic Fill Soils and River Dnieper Alluvial Deposits in the Kyiv Region. *Civil and Environmental Engineering Reports*. 30 (4), 72—89 (in English).
6. Novikov M.F., Spivak A.L., Vyazova N.V. (1988). Opyt proyektirovaniya namyva territoriy pod zastroyku na vodopronitsayemoye i zatorfovannoye osnovaniye [Experience in designing the alluvium of territories for development on a permeable and peaty base]. *Osnovaniya i fundamenti*. – Kyiv: KISI, 21, 57-59 (in Russian).
7. Boyko I.P., Zaretskiy G.M., Uralova L.Ye. (1977) Deformatsii osnovaniy zemlyanykh sooruzheniy na ilakh oz. Sivash [Deformations of the foundations of earthen structures on the silts of the lake. Sivash]. *Osnovaniya i fundamenti*. – Kyiv: KISI, 10, 7-9 (in Russian).
8. Stepanenko G.P., Spantsireti A.N., Kosheleva I.O. (1971). Osadki namyvnoy damby na slabykh gruntakh. [Sediments of an alluvial dam on soft soils] *Osnovaniya i fundamenti*. – Kyiv: KISI, 22, 82-86 (in Russian).
9. Rozenfel'd I. A. (1971) K voprosu o prognoze osadok sooruzheniy na sil'noszhimayemykh osnovaniyakh [To the question of forecasting the settlement of structures on highly compressible foundations] / *Osnovaniya i fundamenti*. – Kyiv: KISI, 4, 82-86 (in Russian).
10. AZS po vul. 1-ho Travnnya u smt Baryshivka, Kyuyivs'koyi oblasti (2004). Tekhnichnyy zvit po inzhenerno-heolohichnykh vyshukuvannyakh. PK-TI "YevRoUkrproekt", Kyiv (in Ukrainian).
11. Ob'yekt za adresoyu: vul. 1-e Travnnya, 1-A v smt Baryshivka Kyuyivs'koyi oblasti (2016). Robo-chyy projekt. Inzhenerno-heolohichni vyshu-kuvannya. Tekhnichnyy zvit. 36259541-21/09.2016-00-00. TOV "Inzhenerbudpro-ekt", Kyiv (in Ukrainian).
12. Avtozapravnyy kompleks vul. 1-ho Trav-nya, v smt Baryshivka Baryshivs'koho rayo-nu Kyuyivs'koyi oblasti (2017). Heotekhnichni roboty. Rezul'taty kontrolyu stanu zakriplenoyi hruntovoyi osnovy. TOV "ZBK-TSENTR", 321017-V, Kyiv (in Ukrainian).
13. Pidsylennya gruntovoyi osnovy dlya AZS, metodom in'yektuvannya heleokompozytom, shcho rozmishchena za adresoyu: vul. 1-she travnnya, 1a, smt. Baryshivka, Kyuyivs'ka obl. Proekt (2017). TOV "Ekspres Tekhnolohiyi In'yektuvannya", 25-17, Kyiv (in Ukrainian).

#### Engineering preparation of the territory in conditions of laying soft soil

Oleg Malyshev,  
Andrii Rashchenko,  
Tetiana Dyptan

**Summary.** At present, in large cities, cities - millionaires, there is a tendency to build a large volume of residential multi-storey buildings entertainment complexes on undeveloped, free from construction areas of urban territory. Large cities and settlements are expanding due to the development of areas for buildings. The geological structure of this areas is difficult. In particular, the complexity is due not only to low values of physical and mechanical characteristics of soils, but also to special properties (high compressibility, decay of organic residues, unevenness and duration of sedimentation over time, etc.) [1, 5]. A certain part of the territory of our country is represented by peat soils, which to some extent can be considered as minerals, the use of which as a basis for buildings and structures is not rational and requires the use of special measures and construction works.

When designing buildings and structures in such engineering and geological conditions, it is necessary to take into account that all types of

geotechnical actions on the part of the deformed base on the building are reduced mainly to uneven vertical and horizontal deformations of the base surface. In order to ensure reliable operation of the building in such engineering geological conditions, it is necessary to make structural and technological decisions that will comprehensively take into account the complexity of the site and allow to implement the design solution.

At the same time, practice of design and construction shows, quite often the listed unfavorable factors and dangerous processes are ignored, not taken into account or incorrect decisions are made to ensure the reliability of the basis.

To solve this problem, the following tasks are relevant: a set of modern modeling tools (numerical calculation) and field observations, which allow you to analyze the results and take a reasonably correct (reliable, cost-effective) version of the base preparation for buildings or structures [2] to ensure reliable and safe operation of the building or structure.

**Key words.** Weak soils, peat, consolidation, self-compaction, uneven deformations, structural and technological solutions, stress-strain state, geotechnical element, geotechnical array.