

## Підсилення ґрунтової основи – підготовки під дорожнє покриття діючого підприємства

*Андрій РАЩЕНКО<sup>1</sup>, Тетяна ДИПТАН<sup>2</sup>*

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

DOI: 10.32347/0475-1132.48.2024.116-128

**Анотація.** Питання будівництва нових та відновлення існуючих комплексів зберігання й переробки сільськогосподарської продукції, логістичних комплексів в сьгоднішніх умовах має велике значення як невід'ємна складова забезпечення нормального функціонування нашої економіки. Історично склалося так, що в Україні при розробці нормативних документів основні вимоги виписані для проектування та будівництва будівель і споруд цивільного та промислового призначення: житлових та адміністративних будинків, виробничих будівель, об'єктів транспортної, енергетичної та критичної інфраструктури. Вони базуються на забезпеченні вимог міцності, надійності, довговічності, безпеки та економічності.

Для проектів будівництва об'єктів логістичних комплексів чи сільськогосподарського напрямку, в нормативних документах України детальних вказівок та вимог значно менше [1, 2]. Тому при реалізації подібного класу об'єктів приймаються проектні рішення, що складені на основі вимог, викладених у будівельних нормативних документах інших країн, наприклад, Єврокодах (EN) [10], стандартах Великобританії (BS) чи США (ASTM), де вже накопичений великий досвід надійної експлуатації цих об'єктів.

Питання вимог до інженерної підготовки територій виробничого чи сільськогосподарського напрямку при розробці проектів їх комплексної забудови недостатньо висвітлюються у національних нормативних документах, що встановлюють вимоги до розрахунку будівельних конструкцій, будівництва доріг чи комплексного планування територій – вони занадто загальні і не містять необхідної деталізованої



**Андрій РАЩЕНКО**  
ст. викладач кафедри  
геотехніки



**Тетяна ДИПТАН**  
ст. викладач кафедри  
геотехніки

інформації чи чітких вимог щодо застосування надійних проектних рішень.

Як наслідок, нерідко бувають випадки, коли деформації оточуючої поверхні та під'їзних шляхів до цих об'єктів значно ускладнюють та/або унеможливають їх нормальну експлуатацію.

В статті приділено увагу дослідженню ґрунтової підготовки як основи під'їзних шляхів для групи будівель та споруд комплексу зі зберігання зерна: встановлення стану підготовки під час експлуатації комплексу; виявлення причин розвитку значних її деформацій; вибору методів підсилення та закріплення основи; геотехнічного контролю якості виконаних робіт з підсилення основи.

**Ключові слова:** ґрунтова основа, нерівномірні деформації основи, геотехнічний контроль, підсилення основи, замивання ґрунту, ін'єкування ґрунту, динамічне зондування ґрунтів.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під час реконструкції підприємства зі зберігання та первинної обробки зернових культур, що відбулась 4...5 років тому, на новій ділянці був зведений комплекс споруд нового елеватора: силосні банки (силоси), сушарки, норії (норійні вежі), склад з лінією сортування та первинної переробки продукції, завальні ями, авторозвантажувач, вагові, внутрішня залізнична гілка та ін. (рис. 1).

З моменту введення в експлуатацію і протягом наступних трьох років, дорожнє покриття території та внутрішніх доріг на-

вколо основної будівлі (складу з лінією сортування та первинної переробки) та прилеглих до нього споруд, зазнало ушкоджень від 40 до 50 % загальної площі внутрішнього дворového простору. Це значно ускладнює нормальну експлуатацію комплексу, окремі ділянки дорожнього покриття й проїздів є аварійними та закритими для доступу техніки, обслуговуючого персоналу та утруднює доступ до будівель і споруд комплексу, знижує їх експлуатаційну придатність.

Для встановлення причин масового розвитку ушкодження дорожнього покриття



Рис.1. Поділ території виробничого комплексу на зони, залежно від ступеню ушкодження дорожнього покриття. Схема розташування точок "летючого" (первинного) контролю для отримання оперативної інформації про стан підготовки під покриття.

Позначення:

Ш-Св.А1 – шурф-свердловина номер 1 в зоні "А";

ТДЗ-А1 – точка динамічного зондування (DPL) номер 1 в зоні "А".

(Оригінальне зображення з ресурсу Google Earth, повернуте вліво).

Fig.2. Division of the territory of the production complex into zones, depending on the degree of damage to the road surface. The scheme of the location of the points of "flight" (primary) control for obtaining operational information about the state of preparation for the coating.

Marking:

Ш-Св.1А1 – geotechnical pit-borehole number 1 in zone "А";

ТДЗ-А1 – place of tests by dynamic probing (DPL) number 1 in zone "А".

(Original image from Google Earth resource, rotated to the left).

були виконані роботи з комплексного обстеження технічного стану території.

На першому етапі досліджень, після візуального огляду території, були проаналізовані проектні рішення та інші архівні матеріали. На їх основі був розроблений комплекс заходів щодо визначення причин розвитку значних деформацій (за рахунок комплексного дослідження стану ґрунтової підготовки та ґрунтів природного залягання, що її підстеляють) та прийнятий до роботи і впроваджений проект відновлення експлуатаційної придатності простору внутрішнього двору підприємства.

### АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогодні існують різні підходи до класифікації впливів на ґрунтову основу, що використовується як підготовка під промислові підлоги, чи як покриття для внутрішніх доріг та проїздів. Кожен з таких підходів, як правило, акцентує увагу лише на одному чи декількох критеріях, які виділяються як головні і до визначення властивостей яких приурочені основні дослідження. Так, у нормативних документах України [2] це, в першу чергу критерій щільності сухого ґрунту, тобто фізична величина. У європейських нормах [8] – це критерії динамічного модуля пружності, тобто параметр стисливості ґрунту при динамічній дії на нього. В той же час, кожен з цих параметрів має спільну основу через непряму залежність із коефіцієнтом ущільнення  $D_{pr}$ .

Отже, для врахування зміни характеристик міцності й деформативності ґрунтової основи, що використовується як підготовка під покриття (або підготовка під промислову підлогу), потрібно до звичайних способів та методів досліджень ґрунтів додатково враховувати й такі процеси, як: зміна напружено-деформованого стану ґрунтового масиву [4], руйнування ґрунтової основи, зсуви, зміна гідрологічних умов, просідання лесових ґрунтів, ущільнення в часі насипних ґрунтів та консолідація товщі біогенних ґрунтів [3], ерозія, динамічний вплив на територію [5] та ін.

### МЕТА РОБОТИ

Головною метою роботи є встановлення закономірностей зміни фізико-механічних характеристик ґрунтової основи в процесі її експлуатації та після виконаного підсилення, що визначаються в польових умовах за прискореними методами.

### ЗАДАЧІ

Для досягнення поставленої мети послідовно вирішувались такі задачі:

- 1) виконання аналізу ґрунтових умов майданчика до початку будівництва комплексу;
- 2) проведення оцінки достатності виконаних робіт з визначення стану ґрунтової підготовки під дорожнє покриття підприємства після розвитку значних деформацій – за результатами польових досліджень ґрунтів та лабораторних випробувань відібраних зразків;
- 3) виявлення причин розвитку деформацій підготовки під покриття;
- 4) вибір методів підсилення та закріплення основи;
- 5) проведення геотехнічного контролю якості виконаних робіт з підсилення основи із характеристиками, заданими проектом підсилення.

### ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### ҐРУНТОВІ УМОВИ МАЙДАНЧИКА ДО ПОЧАТКУ БУДІВНИЦТВА КОМПЛЕКСУ

За даними Технічного звіту з інженерно-геологічних вишукувань (стор. 45-62 [7]), що виконувались до початку будівництва комплексу, майданчик розташований в межах лесової вододільної рівнини. Його поверхня була рівною, характеризувалась абсолютними позначками 188.7...191.3 м із незначним загальним ухилом у південно-західному напрямку. Геологічна будова по майданчику наведена у табл. 1.

Рослинний шар підлягав зрізанню з подальшою рекультивацією, а тому його властивості не розглядаються. Лесовий сугли-

нок ІГЕ-1А, що залягає нижче – це ілювіальний горизонт, що відноситься до слабкого шару, який до того ж, різко погіршує свої властивості при замочуванні – наприклад атмосферними опадами чи за рахунок витоків з водонесучих мереж. Далі до глибини 11.6 м залягає еолово-делювіальна лесова товща ІГЕ-2...ІГЕ-5, представлена перешаруванням важких та легких суглинків. При замочуванні вони просідають під дією додаткового тиску, але не просідають від дії власної ваги при замочуванні. Вони підстеляються щільними глинами ІГЕ-6.

## ОСНОВНІ ПРОЕКТНІ РІШЕННЯ КОМПЛЕКСУ

За проектом надземні конструкції нових споруд виконані із сучасних ефективних матеріалів (металеві колони, ферми, балки, сендвіч-панелі, ін.). Фундаменти основної групи виробничих будівель та споруд – пальові, нижні кінці яких заведені у неогенові глини, а голови об'єднані монолітними залізобетонними ростверками.

Табл. 1. Зведена колонка геологічної будови майданчика та нормативних показників виділених інженерно-геологічних елементів (до початку будівництва)

Table 1. Summary column of the geological structure of the site and normative indicators of selected engineering-geological elements (before the start of construction)

Номер інженерно-геологічного елемента (ІГЕ) та його опис	Інтервал глибин, м	Вологість, $w$	Показник текучості, $I_L$	Питома вага, $\gamma$ , $\text{кН/м}^3$	Питоме зчеплення, $c$ , $\text{кПа}$	Кут внутр. тертя, $\varphi$ , градусів	Модуль деформації, $E$ , $\text{МПа}$	Початковий тиск просідання, $p_{st}$ , $\text{кПа}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ІГЕ-1: рослинний шар	0.0...0.4	-	-	14.0	-	-	-	-
ІГЕ-1А: суглинок легкий пілуватий, з домішкою органічної речовини, з покрівлі із залишками коріння рослин та ходами землеріїв, лесовий, просідаючий	0.4...1.6	$\frac{0.173}{0.412}$	$\frac{0.14}{>1}$	$\frac{14.7}{17.7}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{15}{11}$	$\frac{4.9}{2.8}$	30...41
ІГЕ-2: суглинок важкий пілуватий, твердий, лесовий, просідаючий, макропористий, з гніздами та стяжіннями карбонатів	1.6...6.3	$\frac{0.201}{0.386}$	$\frac{<0}{>1}$	$\frac{15.6}{17.9}$	$\frac{19}{11}$	$\frac{23}{15}$	$\frac{10}{4.2}$	53...94
ІГЕ-3: суглинок важкий пілуватий, твердий, лесовий, просідаючий, із рідкими включеннями стяжін карбонатів та залізо-манганових конкрецій, з плямами озалізнення	6.3...7.1	$\frac{0.183}{0.271}$	$\frac{<0}{>1}$	$\frac{18.1}{19.4}$	$\frac{23}{18}$	$\frac{22}{21}$	$\frac{14}{11}$	285
ІГЕ-4: суглинок важкий пілуватий, твердий, лесовий, просідаючий, макропористий, з включеннями конкрецій та стяжін карбонатів до 5...20% по об'єму, з рідкими включеннями залізо-манганових конкрецій (вкопний ґрунт)	7.1...10.8	$\frac{0.215}{0.323}$	$\frac{<0}{0/71}$	$\frac{17.2}{18.7}$	$\frac{32}{14}$	$\frac{23}{20}$	$\frac{12}{8}$	212
ІГЕ-5: суглинок легкий пілуватий, напівтвердий, лесовий, слабо макропористий, непросідаючий, з включеннями залізо-манганових конкрецій та стяжін карбонатів до 5% по об'єму, рідкими зернами окислів марганцю	10.8...11.6	$\frac{0.209}{0.286}$	$\frac{0.17}{0.87}$	$\frac{18.0}{19.2}$	$\frac{24}{20}$	$\frac{17}{15}$	$\frac{13}{10}$	247
ІГЕ-6: глина легка пілувата, тугопластична, місцями напівтверда, з включеннями щебеню та гравію кристалічних порід до 25%, стяжін карбонатів 5...10 % по об'єму (рідше до 20%), із залізо-мангановими конкреціями	11.6...21.0	0.233	0.28	20.1	45	15	15	-

Примітка: у чисельнику показники ґрунтів природного стану, у знаменнику – значення при замочуванні.

Для організації внутрішнього дворового простору із забезпеченням відповідних ухилів, виконувались планувальні роботи із підсіпкою насипними ґрунтами та зміною абсолютних позначок:

- в західній частині ділянки з позначок 188.7...189.5 м до 190.1...190.4 м;
- в північній та південній частині – з позначок 189.4...190.0 м до 190.4...190.8 м;
- у східній частині було тільки зрізання рослинного шару та влаштування дорожнього покриття.

Покриття внутрішньої території комплексу запроектоване та виконане із збірних залізобетонних плит та крупних ділянок з монолітного бетону, абсолютні позначки денної поверхні за проектним рішенням становлять 190.1...191.5 м.

#### ПРОГРАМА РОБІТ З ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

У зв'язку з тим, що значна частина площі внутрішнього дворового покриття ушкоджена, були виконані обстежувальні роботи з метою визначення причин утворення таких ушкоджень та розробки заходів щодо відновлення експлуатаційної придатності покриття.

Програма обстеження внутрішнього дворового простору передбачала виконання комплексу польових робіт за зонами, кожна з яких характеризувалась різним ступенем пошкодження покриття: зона "А" – покриття не пошкоджене, або ступінь пошкоджень не впливає на безпечну експлуатацію дворового простору; зона "Б" – наявні руйнування покриття, експлуатація дворового простору можлива з обмеженнями; зона "В" – значна кількість руйнувань, перекосів та провалів покриття, безпечна експлуатація дворового простору неможлива.

Для кожної з виділених зон "Б" та "В" призначалось влаштування по три шурфи, а для зони "А" – два шурфи на глибину до 0.7...1.0 м для розкриття стану конструкції покриття, визначення ступеню його пошкодження (з фіксацією величин провалів, пустот), відбору зразків непорушеної структу-

ри покриття (кернів) та ґрунтової підготовки (монолітів). Окрім того, з dna кожного шурфу передбачено буріння свердловин до глибини 3 м від поверхні для визначення виду та стану ґрунтів, що підстеляють ґрунтову підготовку та виконання динамічного зондування легким зондом (DPL).

Проведеним обстеженням території встановлено наступне:

##### 1) елементи дорожнього покриття:

- збірні плити в багатьох місцях розбиті наскрізними тріщинами, отримали крен (перепад позначок по протилежних кінцях плит більше 250 мм), бетон зруйнований, арматура оголена, зігнута, місцями розірвана або переламана. Пошкоджено до 40% від загальної площі збірних плит;

- ділянки з монолітного бетону також пошкоджені мережею наскрізних та глибоких тріщин (пошкоджено більше 50% від загальної площі монолітних ділянок). До того ж, присутні провали покриття на глибину до 0.5...0.9 м та діаметром до 0.3...0.7 м – вони додатково займають до 15% площі монолітного покриття;

- вся поверхня бетонного та залізобетонного покриття території має характерний хвилястий рельєф, що відповідає ознакам масової нерівномірної деформації;

- сучасні ухили поверхні мають значні відхилення від проектного рішення, біля стін існуючих будівель та споруд спостерігається зворотній ухил (тобто, до будівель і споруд) покриття та мощення.

Найбільша кількість пошкоджень покриття (зона "В") приурочена до західної, південної та північної частини території, навколо основної будівлі (складу з лінією сортування та первинної переробки) та прилеглих до нього споруд.

##### 2) ґрунтова підготовка:

для попередньої та швидкої оцінки стану ґрунтової підготовки було виконане динамічне зондування легким зондом DPL у кожній із виділених зон. (схему розташування точок контролю див. рис. 1, графіки зондування див. рис. 2).

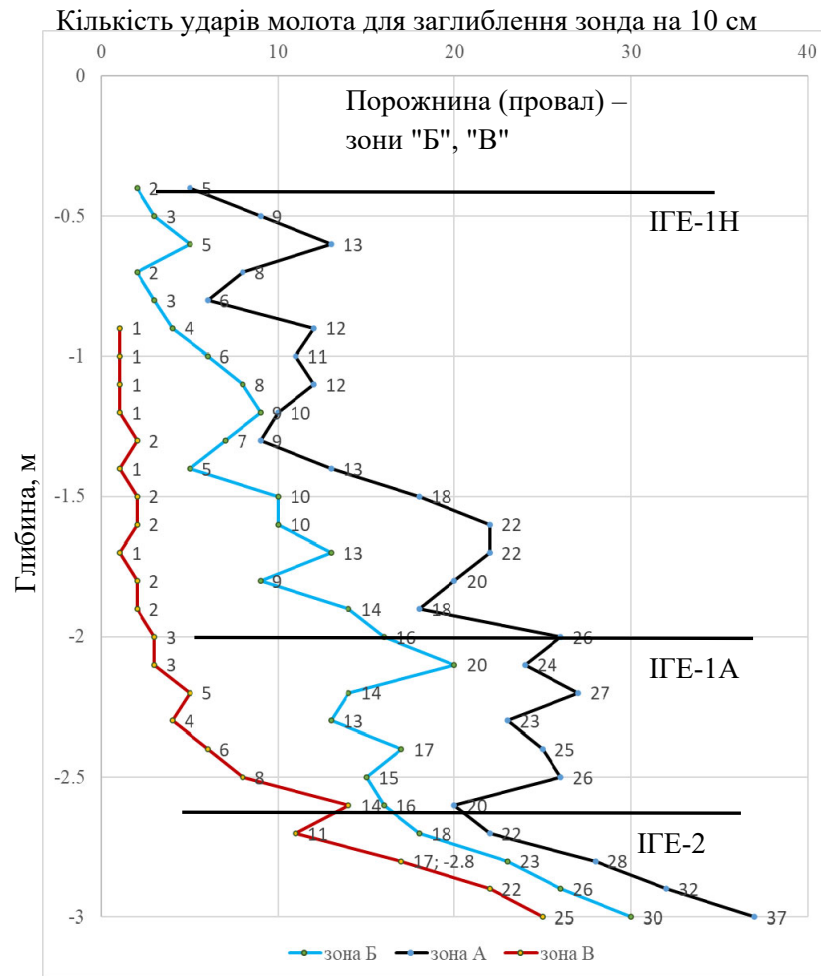


Рис.2. Порівняльні графіки динамічного зондування в зонах А, Б, В на ділянках з різним ступенем пошкодження дорожнього покриття.

Fig.2. Comparative graphs of dynamic soil probing in zones "A", "B", "B" on areas with different degrees of damage to the road surface.

За результатами такого "летючого" контролю було підтверджено незадовільну якість стану ґрунтової підготовки в зонах "Б" та "В" та погіршення стану ґрунтів природного залягання, що безпосередньо підстеляють ґрунтову підготовку

З метою отримання числових значень параметрів фізичних та механічних характеристик ґрунтової основи, відповідно до вже розробленої програми робіт, із дослідних шурфів були відібрані зразки ґрунтів непорушеної структури для визначення виду та стану ґрунтової підготовки та шару ґрунту, що її підстеляє. За результатами цих досліджень встановлено:

ПГЕ-1Н – насипний шар (ґрунтова підготовка під дорожнє покриття): суміш місцевих

ґрунтів – суглинків ілювіального горизонту ПГЕ-1А та частково суглинків ПГЕ-2; має підвищену вологість ( $w = 0.218...0.248$ ) у зонах "Б" та "В" відносно природного стану ( $w = 0.173...0.201$ ). Його стан змінюється від напівтвердого в зоні "А" та м'якопластичного у зоні "Б" до текучопластичного у зоні "В"; щільність сухого ґрунту становить  $\rho_d = 1.15...1.24 \text{ г/см}^3$ , що відповідає параметрам дуже пухкого (неущільненого та розпушеного) ґрунту. Підтверджено початкове припущення, що під час будівництва цей шар укладався лише за рахунок поверхневого розрівнювання. Для всіх виділених зон насип має значну стисливість, відноситься до слабкого ґрунту, характеризується модулем деформації  $E = 1.6...2.0 \text{ МПа}$ ;



2.3) шари, що підстеляють підготовлену основу:

а) ПЕ-1А – ілювіальний горизонт: легкі гумусовані суглинки. Внаслідок замочування атмосферними опадами через порушення в конструкції покриття відбулось збільшення їх вологості з  $w = 0.173$  до  $w = 0.196 \dots 0.212$ , а показник текучості підвищився до м'якопластичного стану, проявились властивості просідання (спостерігались характерні вигини обрису шару на зрізі у шурфах). Відносяться до слабких, значно деформуються під дією навантаження та при додатковому замочуванні. Модуль деформації цього шару, визначений при компресійних випробуваннях становить  $E = 2.8 \dots 4.0$  МПа;

б) ПЕ-2 – лесові просідаючі суглинки, які у природному стані до початку будівництва характеризувались модулем деформації  $E = 10$  МПа. При виконанні обстеження внутрішнього двору цей показник визначений в межах  $E = 4.5 \dots 9$  МПа, здатні проявляти властивості просідання при замочу-

ванні: початковий тиск просідання становив  $p_{sl} = 53 \dots 94$  кПа. Це робить основу нерівномірно стисливою, особливо у випадку примусового замочування атмосферними опадами чи внаслідок витоків з водонесучих мереж. Результати лабораторних визначень основних показників за відібраними зразками ґрунту непорушеної структури наведені у табл. 2.

Для отримання більш детальної інформації було виконане динамічне зондування ґрунтів на глибину до 3...4 м по всій площі комплексу, яке підтвердило як загальну оцінку ґрунтової основи, виконаної при "летючому контролі", так і при подальшому виконанні програми обстеження.

Також виконаними роботами була підтверджена загальна геологічна будова ділянки (у її верхній частині) та уточнені характеристики ґрунтів основи, що підстеляють ґрунтову підготовку.

Табл. 2. Результати дослідження стану ґрунтової підготовки в окремих шурфах  
Table 2. The results of the study of the state of soil preparation in individual pits

Номер виробки, зона дослідження	Інтервал глибин, м		Матеріал, що досліджується		Фізичні показники				Модуль деформації, $E$ , МПа
	покрівля	підосва	назва	стан за візуальними ознаками	вологість, $w$	щільність ґрунту, $\text{г}/\text{см}^3$		показник текучості, $I_L$	
						природна, $\rho$	сухого, $\rho_d$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ш-Св.В1 зона "В"	0.0	0.2	бетон	відсутній (провал)	-	-	-	-	-
	0.2	0.8	порожина	провал	-	-	-	-	-
	0.8	2.0	насип: суглинок лесовий	замочений	0.231	1.42	1.15	0.79	0.231
	2.0	2.9	суглинок лесовий гумусований	замочений	0.212	1.49	1.23	0.58	0.212
	2.9	3.1	суглинок лесовий	вологий	0.183	1.54	1.30	< 0	0.183
Ш-Св.Б1 зона "Б"	0.0	0.2	бетон	зламаний	-	-	-	-	-
	0.2	0.5	порожина	провал	-	-	-	-	-
	0.5	1.3	насип: суглинок лесовий	замочений	0.218	1.47	1.21	0.60	2.0
	1.3	2.5	суглинок лесовий гумусований	замочений	0.196	1.47	1.23	0.40	3.1
	2.5	3.0	суглинок лесовий	вологий	0.192	1.55	1.30	< 0	6
Ш-Св.А1 зона "А"	0.0	0.2	бетон	пошкоджений	-	-	-	-	-
	0.2	0.7	насип: суглинок лесовий	замочений	0.196	1.48	1.24	0.18	1.8
	0.7	1.4	суглинок лесовий гумусований	вологий	0.178	1.51	1.28	0.20	4.0
	1.4	3.0	суглинок лесовий	природний	0.201	1.59	1.32	< 0	9

## ПРИЧИНИ РОЗВИТКУ ДЕФОРМАЦІЙ ГРУНТОВОЇ ПІДГОТОВКИ ПІД ПОКРИТТЯ:

За результатами візуального огляду території, польових випробувань та супутніх їм лабораторних досліджень властивостей ґрунтової підготовки під покриття, для виділених зон встановлені такі основні причини, що впливають на виникнення її деформації та виводять зі стану експлуатаційної придатності всю конструкцію дорожнього покриття:

### *1) недостатнє ущільнення насипу:*

неякісне ущільнення насипного ґрунту по всій площі комплексу є однією з основних причин розвитку деформацій ґрунтової основи, що, у свою чергу, сприяє виникненню та подальшому розвитку вторинних причин деформації ґрунтової основи;

### *2) відсутність якісної ґрунтової підготовки під конструкцію покриття:*

у зонах "А" та "Б" для локальних ділянок влаштування збірних залізобетонних плит були виявлені окремі місця, де роботи з підготовки ґрунтової основи не виконувались – плити монтувались по частково зрізаному (або й взагалі не зрізаному для зони "Б") рослинному шарі. Як наслідок, рослинний шар нерівномірно деформувався; атмосферні опади, що проникали між швами плит, приводили до різкої зміни консистенції та підсилювали нерівномірність деформації залізобетонних плит;

### *3) невдале планування території:*

до початку будівництва рельєф ділянки мав незначний загальний ухил у південно-західному напрямку. Проектом благоустрою території прийнято, що поверхневі опади відводяться у західному напрямку, а система місцевої дощової каналізації має загальний ухил у південно-східному напрямку. Таке рішення обґрунтовувалось зручністю обслуговування ємностей відстійників-накопичувачів. Оглядом колодязів встановлено, що частина трубопроводів цієї каналізації має зворотній нахил, який утворився внаслідок деформації насипного шару. Це приводить до застою атмосферних опадів у трубах та на окремих ділянках внутрішнього двору (як правило, біля

приймальних колодязів дощової каналізації). Окрім того, на ділянках, де покриття пошкоджене, відбувається вільне просочування атмосферних опадів в ґрунтову основу (для таких ділянок площа водозбору перевищує 50...80 м<sup>2</sup>). В цих місцях це привело до появи нових несприятливих процесів, пов'язаних із розмиванням потоками води ґрунтової основи та замочування як самого насипного шару підготовки, так і шарів ґрунту природної основи, по яких влаштований насип;

### *4) відсутність своєчасної реакції замовника на початок розвитку деформацій та порушень в конструкції покриття:*

у зв'язку з тим, що з початком розвитку деформацій та пошкоджень покриття, власником не вживались заходи щодо виявлення причин таких пошкоджень, ремонту чи локалізації зруйнованих ділянок, утворюються додаткові зони точкового замочування основи, що з часом приводить до повного руйнування конструкції покриття з подальшим утворенням провалів. При цьому, швидкість розвитку руйнування покриття спочатку незначна, а потім різко наростає;

### *5) експлуатація важкої техніки під час активізації деформацій та руйнування покриття:*

цей пункт є логічним наслідком розвитку вторинної причини деформації ґрунтової підготовки під конструкцію покриття: при проїзді важкої техніки ділянками пошкодженого покриття відбувалось пришвидшене руйнування бетонної конструкції покриття та видавлювання ґрунтової підготовки. При цьому внаслідок ударної дії колісних пар на суміжних ділянках на відстані 1.5...2 діаметра колеса вантажного автомобіля (близько 1.5...2.5 м), попарно формувались нові зони пошкодженого покриття. Це призводило до подальшого погіршення стану покриття, руйнування як верхніх, так і глибинних шарів покриття.

## ВИБІР МЕТОДІВ ПІДСИЛЕННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ОСНОВИ.

Для відновлення стану покриття внутрі-



шнього двору підприємства необхідно спочатку виконати заходи з відновлення функціональної придатності ґрунтової підготовки під покриття, а потім і самого покриття. Серед існуючих методів відновлення експлуатаційної придатності покриття розглядалися такі основні підходи: підхід А (за так званою, "класичною" схемою), підхід Б та підхід В, де кожен з перерахованих методів, може виконуватись за різними способами та технологіями:

А. "Класична" схема, що включає на першому етапі робіт демонтаж бетонного та залізобетонного покриття. Така схема є простою у виконанні, з мінімальною кількістю спеціальних машин чи механізмів та не потребує залучення робітників високої кваліфікації. Проте може характеризуватись збільшеним обсягом робіт, оскільки відповідає технології влаштування підготовки та покриття як при новому будівництві на незабудованих ділянках:

А.1 повний демонтаж покриття по всій площі; виїмка та повторне укладання ґрунтової підготовки на ділянках пошкодженого покриття; відновлення бетонного та залізобетонного покриття;

А.2 частковий демонтаж покриття на ділянках, де пошкодження покриття мають найбільш несприятливий характер, далі – за п. А.1;

Б. Відновлення покриття та покращення ґрунтової основи без демонтажу самого покриття. Спочатку ліквідовуються порожнини та пустоти (способами Б.1...Б.5, наведеним нижче), а потім відбувається ремонт самого покриття на локальних ділянках. Цей спосіб значно складніший відносно підходу А, потребує наявності складного технологічного обладнання та кваліфікованих виконавців вузьких спеціальностей. Ці роботи виконуються організаціями, які мають відповідний досвід підсилення основ:

Б.1 заливка пустот під покриттям сумішшю води, піщаного ґрунту та добавками рідкого скла (так зване "замивання" пустот);

Б.2 засипання пустот та порожнин під покриттям місцевим ґрунтом з додатковим його ущільненням (трамбівками ударної дії,

віброплитами тощо);

Б.3 заливка пустот та порожнин під покриттям будівельним розчином або легким бетоном, ремонт пошкоджених ділянок покриття;

Б.4 заповнення порожнин та пустот під покриттям сухими сумішами та/або їх втрамбування в основу (наприклад, пневмопробійником чи іншим механізмом подібної дії);

Б.5 ін'єктування ґрунтової основи складними сумішами на основі цементного розчину з рідким склом або композитними смолами.

В. Вирівнювання перекосів покриття, підійом окремих ділянок плит з подальшим заповненням порожнин та пустот. Спочатку за допомогою домкратів вирівнюються та тимчасово закріплюються ділянки покриття, що зазнали прогинів; потім – ін'єктування порожнин та пустот за способами, наведеними у п. Б.1, Б.3, Б.5.

Для підходів Б та В спільним є необхідність влаштування нового покриття на ділянках ремонту, а також відновлення поверхневого шару покриття.

Серед наведених способів та технологій на цьому майданчику був використаний комбінований підхід [7]:

- демонтувалися ділянки покриття, де воно було зруйноване чи мало провали (для збірних залізобетонних плит обрізалися зламані уламки та оголена арматура);

- для провалів, глибиною більше 0.5 м використовувався спосіб замивання пустот сумішшю води, піщаного ґрунту та рідкого скла у співвідношенні 2.5:1:0.002. Рідке скло використане для швидкого осідання та тужавіння суміші. Мала концентрація рідкого скла не передбачає утворення міцних цементацийних зв'язків між частками піску та оточуючого ґрунту. Для швидкого розрівнювання при укладанні суміші використовувалися глибинні вібратори. Час осідання та початок тужавіння такого розчину становить 2...3 хв. Швидкий процес тужавіння та невелика кількість води забезпечувала недопущення додаткового замочування лесової основи;

- для ділянок, де пошкодження мали

значно меншу площу, або ж фіксувались лише викривлення поверхні покриття, використовувалось ін'єктування ґрунтової підготовки складними сумішами цементного розчину з рідким склом. Точки ін'єктування влаштовувались із кроком  $2.0 \times 2.0 \dots 4.0 \times 4.0$  м на глибину  $2.0 \dots 3.0$  м через попередньо просвердлені отвори в тилі покриття;

Відновлення, ремонт чи заміна конструкції покриття не розглядаються.

### ПРОВЕДЕННЯ ГЕОТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИКОНАНИХ РОБІТ З ПІДСИЛЕННЯ ОСНОВИ.

За вимогами норм [2] в кожній зоні влаштовано по два контрольних шурфи, що є основним способом контролю закріплених ін'єкцією ґрунтів з метою візуального опису зони закріплення та відбору зразків закріпленого ґрунту для подальших випробувань у лабораторії. Додатковою вимогою є використання статичного або динамічного зондування для визначення контуру закріпленого ґрунту (в плані та за глибиною) чи виконання геофізичних досліджень.

Для забезпечення надійного охоплення всієї площі закріпленої території, були використати прискорені методи контролю якості нового геотехнічного масиву:

*DPM* (Dynamic Probing Medium) – метод динамічного зондування середнім зондом: дозволяє виконати контроль ґрунтової товщі по всій глибині ущільнення, що виконувалось способом замивання;

*LDW* (Light Drop-Weight Test) – метод падаючого легкого вантажу за вимогами *TP BF-StB. Part B 8.3* [8]: дає змогу отримати параметр динамічного модуля пружності  $E_{vd}$  на поверхні ущільненого (чи закріпленого) шару.

Для методу *LDW* є вказівки щодо критерію достатності ущільнення: залежно від виду ґрунту та конструкції, де відбувається контроль, приймається відповідна мінімальна величина динамічного модуля пружності  $E_{vd}$ . Проте, для методу динамічного зондування є потреба виконання попередніх робіт для тарування результатів, отри-

маних при випробуваннях. Тому за результатами випробувань зразків, відібраних із шурфів були складені такі тарувальні залежності:

- "кількість ударів зонда для його заглиблення на 10 см – щільність сухого ґрунту": застосовується для контролю по глибині ділянок замивання пустот та промоїн сумішшю з піску, води та рідкого скла. Залежність встановлена шляхом відбору проб до глибини 0.8 м від ущільненої поверхні методом ріжучих кілець (з визначенням вологості та щільності сухого ґрунту) та виконанням динамічного зондування максимального близько до відібраних проб;

- "кількість ударів зонда для його заглиблення на 10 см – міцність закріпленої основи на одновісний стиск": використовується для контролю по глибині ділянок ін'єктування сумішшю цементного розчину та рідкого скла. Залежність встановлена шляхом виконання динамічного зондування та вибурювання проб (керна) до глибини 0.5 м від закріпленої поверхні з подальшим визначенням межі міцності на стик зразків у прес-машині.

Контроль закріпленої основи, з врахуванням отриманих кореляційних залежностей, виконувався через 28...35 діб після завершення замивання чи ін'єктування ґрунту. За цими даними встановлено наступне:

#### 1). Ділянки замивання ґрунту:

- стан замитого ґрунту на всю глибину характеризується величиною щільності сухого ґрунту  $\rho_d = 1.47 \dots 1.62$  г/см<sup>3</sup>. Найменші значення відповідають інтервалу глибин 0.1...0.2 м, де  $\rho_d = 1.47 \dots 1.51$  г/см<sup>3</sup>. Після їх вибраковування, середнє значення становить  $\rho_d = 1.58$  г/см<sup>3</sup>, що за станом відносить підготовлену основу до "середньої щільності";

- із дванадцяти намічених, вдалось відібрати сім кернів, у кожному з яких в інтервалі глибин 0.0...0.15 м відбулось руйнування структури зразків (як на нашу думку, за рахунок малого вмісту в суміші рідкого скла, а також від дії води, що подавалась для охолодження ріжучої коронки). Для фрагментів кернів, що зберігали свою структурну міцність та не були зруйновані,

визначена межа міцності на стиск становить:  $R_c = 0.1 \dots 0.7$  МПа. Така нерівномірність пов'язана із якістю перемішування ґрунтової суміші та рідкого скла;

- динамічний модуль пружності поверхневої частини замитого шару складає  $E_{vd} = 18.5 \dots 56.0$  МПа при середньому значенні  $E_{vd} = 28.4$  МПа.

- Отже, за визначеннями за різними методиками стан ущільненого ґрунту, що влаштований методом замивання оцінюється як "середньої щільності".

2) *ін'єктування ґрунтової підготовки сумішами цементного розчину з рідким склом:*

Основний метод контролю – зондування *DPM*. Отриманими даними було виявлено, що прийнятий проектом крок ін'єктування (від 2 до 4 м у кожному напрямку) на ділянках деформованого покриття не забезпечує створення якісної основи з надійними характеристиками в плані. Тому після виконаної оцінки отриманих результатів, було прийнято рішення про зменшення кроку ін'єктування до чарунок розмірами  $0.6 \dots 0.8 \times 0.6 \dots 0.8$  м.

Повторний контроль *DPM* виконувався через 28...30 діб після завершення ін'єктування. Встановлено наступне:

- глибина зони закріпленого ґрунту відповідає проекту;
- радіус закріпленого масиву в кожній точці ін'єктування складає  $0.20 \dots 0.35$  м, що дещо менше кроку чарунки ін'єктування;
- міцність закріпленого ґрунту ( $R_c$ ) зменшується в напрямку від 2.7 МПа в центрі стовбура ін'єктування до  $0.25 \dots 0.40$  МПа на периферії зони закріплення.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для територій виробничо-промислової забудови вимоги чинних норм в частині виконання підготовки під внутрішнє дворове покриття недостатні для його надійної експлуатації. Тому необхідно передбачати заходи щодо зменшення ризиків деформацій на різних етапах життєвого циклу об'єкта:

- *стадія початку будівництва.* Тут ва-

жливо враховувати вимоги нормативних документів, що стосуються ущільнення ґрунтів, водовідведення, інших аспектів будівництва та відносяться до різних розділів проекту (наприклад, вимоги для влаштування ґрунтової основи автомобільних доріг не корелюються з вимогами щодо влаштування промислових підлог складських будівель). Тому у такому випадку слід оцінювати можливі ризики, які можуть виникнути як внаслідок прогалин у нормах, так і за рахунок виробничого браку (наприклад, недотримання технології підготовки ґрунтової основи) чи економії коштів;

- *стадія експлуатації об'єкта.* Регулярний моніторинг стану території дозволяє своєчасно виявляти проблеми, які можуть призвести до деформацій. Це включає контроль за станом покриття, систем відведення атмосферних опадів, а також регулярну перевірку стану покриття на предмет виявлення можливих дефектів;

- *стадія реконструкції (підсилення).* На цьому етапі важливо не тільки усунути виявлені дефекти, але й вжити заходів для запобігання їх повторній появі. Це може включати вибір методів підсилення та закріплення основи, а також коригування планування території та ін.

- Рекомендується використовувати комбіновані методи відновлення стану ґрунтової основи та використовувати максимально автоматизовані та механізовані методи контролю її якості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Настанова щодо інженерної підготовки ґрунтової основи будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В. 1.1-39:2016. - [Чинний від 2017-04-01] – К.: ДП "Укрархбудінформ". — 2017. — IV, 66 с.
2. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та фундаментів (СНиП 3.02.01-83): ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. – [Чинний від 2014-01-01] – К.: Мінрегіон України —2013 — 88 с.
3. Малишев О. Інженерна підготовка території в умовах залягання слабого ґрунту. / О. Малишев, А. Ращенко, Т. Диптан // *Основи та фундаменти.* – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 43. – С. 101-110.

- <https://doi.org/10.32347/0475-1132.43.2021.101-110>
- Носенко В. Ідентифікація параметрів міцності ґрунтів для оцінки стійкості зсувного схилу. / В. Носенко, Т. Диптан, Д. Нечипоренко // *основи та фундаменти*. – К.: КНУБА. – 2023. – Вип. 46. – С. 17-27. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.46.2023.17-27>
  - Басараб В. Методика вибору комплексу засобів ущільнення ґрунту пазах котлованів і траншей за технічною ознакою. / В. Басараб, І. Уманець, Л. Саушева. // *Основи та фундаменти*. – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 43. – С. 67-78. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.43.2021.67-78>.
  - Комплекс протиаварійних робіт в зоні споруди приймального пристрою зерна з автотранспорту на два проїзди (замивання піском порожнин, підсилення основ фундаментів, підсилення основ під дорожнім покриттям, підсилення основ під вимощенням, гідроізоляційні роботи завальної ями) за адресою: Кіровоградська обл., Новогородківський р-н, с. Куцівка, вул. Привокзальна, 14. Геотехнічні роботи. Динамічне зондування ґрунтів. Приймальний контроль. 020721.Fin-B. ФОП "Язвінський О.В.". 2021.
  - Комплекс протиаварійних робіт в зоні споруди приймального пристрою зерна з автотранспорту на два проїзди (замивання піском порожнин, підсилення основ фундаментів, підсилення основ під дорожнім покриттям, підсилення основ під вимощенням, гідроізоляційні роботи завальної ями) за адресою: Кіровоградська обл., Новогородківський р-н., с.Куцівка, вул.Привокзальна 14. Технічне рішення. ТОВ "Експрес технології ін'єктування". 2021.
  - Technical testing regulations for soil and rock in road construction. TP BF-StB. Part B 8.3. Dynamic Plate Load Testing with the Light Drop-Weight Tester. / Wolfram K u d l a Freiberg — Köln, Germany: Wesselingер Straße, 2012. — 14 p. ISBN 978-3-86446-036-4.
  - Дослідження та випробування геотехнічні. Частина 2. Польове випробування динамічним зондуванням (ISO 22476-2:2005, IDT). ДСТУ ISO 22476-2:2008. [Чинний від 2010-01-01]. ДП "УкрНДЦ", – 2018. – 23 с.
  - EN 1997-2. European standard. Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. Brussels – 2007. – 195 p.
  - Nastanova shchodo inzhenernoi pidhotovky gruntovoi osnovy budivel i sporud: DSTU-N B V. 1.1-39:2016. (2016) Kyiv: SE "Ukrakhbudinform", 66 (in Ukrainian).
  - Nastanova shchodo provedennia zemlianykh robot, ulashtuvannia osnov ta fundamentiv (SNyP 3.02.01-83): DSTU-N B V.2.1-28:2013. (2013). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 88 (in Ukrainian).
  - Malyshev, O., Rashchenko, A., Dyptan, T. (2021). Inzhenerna pidhotovka terytoriyi v umovakh ukladannya m'yakoho ґрунту. [Engineering preparation of the territory in conditions of laying soft soil]. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 43, 101-110 (in Ukrainian).
  - Nosenko, V., Dyptan, T., & Nechyporenko, D. (2023). Vyznachennya pokaznykiv mitsnosti ґрунту dlya otsinky stiykosti skhyly kovzannya. [Identification of soil strength parameters for assessing stability of a sliding slope]. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 49, 17-27 (in Ukrainian).
  - Basarab, V., Umanets, I., & Sausheva, L. (2021). Metodyka vyboru kompleksu zasobiv dlya ushchil'nennya ґруntiv pazukh kotlovaniv i transhey na tekhnichnyi osnovi. [Methods of choosing a set of means for compacting the soils of the sinuses of ditches and trenches on a technical basis]. *Osnovu i fundamentey: Mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 43, 67-78 (in Ukrainian).
  - Kompleks protyavariynykh robot v zoni sporudy pryymal'noho prystroyu zerna z avtotransportu na dva proyizdy (zamyvannya piskom poverkhnivykh, pidsylennya osnov fundamentiv, pidsylennya osnov pid dorozhnim pok-ryttyam, pidsylennya osnov pid vymoshchennyam, hidroizolyatsiyni roboty zaval'nymy yamy) za adresoyu: Kirovohrads'ka obl., Novohorodkivs'kyi r-n, s. Kutsivka, vul. Pryvokzal'na, 14. [A complex of emergency works in the area of construction of a grain receiving device from motor vehicles for two passes (sand washing of the surface, strengthening of the foundation bases, strengthening of the foundations under the road surface, strengthening of the foundations under the paving, waterproofing works with backfill pits) at the address: Kirovohrad region., Novohorodkivskyi district, village Kutsivka, str. Privokzalna, 14]. *Geotechnical works. Dynamic probing of soils. Acceptance control*.

020721. *Fin-V*. FOP Yazvinsky O.V. 2021. (in Ukrainian).
7. Kompleks protyavariynykh robot v zoni sporudy pryymal'noho prystroyu zerna z avtotransportu na dva proyizdy (zamyvannya piskom porozhnyyn, pidsylennya osnov funda-mentiv, pidsylennya osnov pid dorozhnim pok-ryttyam, pidsylennya osnov pid vymoshchennyam, hidroizolyatsiyni roboty zaval'noyi yamy) za adresoyu: Kirovohrads'ka obl., Novhorodkivs'kyi r-n., s.Kutsivka, vul.Pryvokzal'na. [A complex of emergency works in the area of the construction of a grain receiving device from motor vehicles for two passes (sanding of cavities, strengthening of the foundation bases, strengthening of the foundations under the road surface, strengthening of the foundations under the paving, waterproofing works of the backfill pit) at the address: Kirovohrad region, Novgorodkiv district, Kutsivka village, Pryvokzalna street 14]. *Technical solution. "Express injection technologies" LLC.* — 2021. (in Ukrainian).
  8. Technical testing regulations for soil and rock in road construction. TP BF-StB. Part B 8.3. Dynamic Plate Load Testing with the Light Drop-Weight Tester. (2012). Köln: Wesseling Straße, 14.
  9. Doslidzhennia ta vyprovuvannia heotekhnichni. Chastyna 2. Polove vyprovuvannia dynamichnym zonduvanniam (ISO 22476-2:2005, IDT). DSTU ISO 22476-2:2008. (2008) Kyiv: DP "UkrNDTs", 23 (in Ukrainian).
  10. EN 1997-2. European standard. Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing. (2007) Brussels, 195

### **Strengthening of the soil base - preparation for the road surface of the existing enterprise**

*Andrii RASHCHENKO,  
Tetiana DYPTAN*

**Summary.** The issue of constructing new and restoring existing complexes for the storage and processing of agricultural products, as well as logistics complexes, holds significant importance in today's conditions as an integral component of ensuring the normal functioning of our economy. Historically, in Ukraine, when developing regulatory documents, the primary requirements were outlined for the design and construction of civil and industrial buildings and structures: residential and administrative buildings, industrial facilities, and objects of transport, energy, and critical infra-

structure. These requirements are based on ensuring strength, reliability, durability, safety, and cost-effectiveness.

For projects involving the construction of logistics complexes or agricultural facilities, the regulatory documents in Ukraine contain significantly fewer detailed instructions and requirements [1, 2]. Therefore, when implementing this class of projects, design solutions are often based on requirements outlined in construction regulatory documents from other countries, such as Eurocodes (EN) [10], British Standards (BS), or the standards of the United States (ASTM), where considerable experience has already been accumulated in the reliable operation of such facilities.

The issue of requirements for the engineering preparation of territories for industrial or agricultural projects during the development of comprehensive building plans is not sufficiently covered in national regulatory documents that establish requirements for the calculation of building structures, road construction, or comprehensive territory planning – these documents are too general and lack the necessary detailed information or clear requirements for the application of reliable design solutions.

As a result, there are often cases where deformations of the surrounding surface and access roads to these facilities significantly complicate and/or render their normal operation impossible.

This article focuses on the study of soil preparation as the foundation for access roads for a group of buildings and structures in a grain storage complex: assessing the condition of the foundation during the operation of the complex; identifying the causes of significant deformations; selecting methods for strengthening and stabilizing the foundation; and geotechnical quality control of the performed foundation strengthening work.

**Key words:** soil foundation, non-uniform deformations of the foundation, geotechnical control, reinforcement of the foundation, soil washing, soil injection, dynamic soil probing.