

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



**АГАДАВУДІ ДЖОЛЬФАІ МАНІ**

УДК 624.159.042

**ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНО СТІЙКИХ ГРУНТОВИХ МАСИВІВ  
В ОСНОВІ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД**

05.15.09 – геотехнічна і гірнича механіка

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Самедов Ахмед Меджид огли**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського», професор кафедри геобудівництва та  
гірничих технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
**Тютюкін Олексій Леонідович**  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедри «Мости і тунелі»

кандидат технічних наук, доцент  
**Ковров Олександр Станіславович**  
Державний вищий навчальний заклад «Національний  
гірничий університет», м. Дніпро, професор кафедри  
екології та технологій захисту навколишнього  
середовища

Захист відбудеться «23» березня 2017 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «17» лютого 2017 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



В.В. Вапнічна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Спорудження підземних об'єктів різного призначення передбачає наявність основи та підстилаючого масиву з структурно стійких ґрунтів. До таких ґрунтів відносять намиті піски потужністю від 4,0 до 6,5 м, в окремих випадках до 7,5 м, гравелісті і крупні піски, піски середньої крупності в ущільненому стані, глини в твердому і напівтвердому стані. За вирахуванням глибини розміщення підземної споруди мілкого закладання в шарі намитого ґрунту під подошвою споруди залишається основа з намитого піску потужністю лише 0,5-1,5 м, яку підстилають природні структурно-нестійкі ґрунти, загальної потужності шару намитого піску недостатньо для сприйняття діючих навантажень, особливо в динамічному режимі, притаманному для більшості підземних споруд промислового призначення. Підстилаючі ґрунти при динамічних впливах піддаються значним деформаціям від власної ваги у вигляді просідань і фактично не можуть гарантувати експлуатаційної стійкості основ споруд без застосування попередніх інженерних заходів. Ці заходи часто не задовольняють вимогам щодо посилення слабких або структурно-нестійких ґрунтів, оскільки нерідко деформації є зворотними процесами, що відновлюються після зникнення впливаючих чинників. Наприклад, силікатизація лесових ґрунтів не ліквідує просадних властивостей, оскільки силікатний розчин водорозчинний і в процесі експлуатації споруди вимивається, отже після певного часу просадні деформації можуть повторитися.

Виходячи з викладеного, існує потреба в науковому обґрунтуванні методів прогнозу деформативності структурно-нестійких ґрунтових масивів та в розробці практичних заходів з підсилення основ підземних споруд на цих ґрунтах в умовах динамічних режимів експлуатації, що визначає актуальність обраної теми дисертаційної роботи.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геобудівництва та гірничих технологій КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року № 3268-VI).

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в науковому обґрунтуванні і розробці способів віброізоляції та укріплення слабких ґрунтових основ підземних споруд та структурно-нестійких підстилаючих шарів, підданих динамічним впливам. Відповідно до поставленої мети визначено наступні завдання досліджень:

- встановити основні критерії оцінки придатності структурно-нестійких ґрунтів в основі споруди в умовах заданих імпульсних та періодичних динамічних навантажень;

- виконати фізичне моделювання та теоретично обґрунтувати методи розрахунку віброізолюючих основ підземних споруд в умовах динамічних навантажень з урахуванням міцнісних і структурних характеристик підстилаючого ґрунтового масиву;

- розробити способи підсилення основ підземних споруд та підстилаючих шарів зі слабких гірських порід і структурно-нестійких ґрунтів, підданих динамічним впливам.

*Об'єкт дослідження* – деформаційні та реологічні процеси в слабких ґрунтових основах підземних споруд мілкового закладання.

*Предмет дослідження* – методи підвищення віброізоляційної стійкості ґрунтових основ підземних споруд та підсилення підстилаючих шарів зі слабких структурно-нестійких ґрунтів в умовах динамічних режимів експлуатації.

**Методи дослідження.** Методологічно дослідження в рамках поставлених задач базуються на узагальненні та аналізі результатів попередніх досліджень за тематикою роботи; основних положень механіки ґрунтів та гірських порід; експериментально-теоретичних досліджень поведінки слабких гірських порід і структурно-нестійких ґрунтів в основі і підстилаючих шарах підземних споруд при статичних і динамічних навантаженнях; моделюванні ґрунтового масиву спільно з підземною спорудою методом кінцевих елементів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступних наукових положеннях, в яких вперше:

- встановлено, що критерієм оцінки несучої здатності масиву є умовний розрахунковий тиск, який для роботи ґрунтової основи в динамічному режимі має складати  $R_0 \geq 0,25 \text{ МПа}$ ;

- для основ споруд з міцних ґрунтів малої потужності (0,5 – 2,0 м) з підстилаючими шарами в межах активної зони зі слабких або структурно-нестійких ґрунтів, експлуатованих в умовах динамічних впливів, обґрунтовано параметри віброзахисних прошарків шляхом формування попереднього ущільнення слабого ґрунтового масиву, який покращує його несучу здатність завдяки збільшенню питомої ваги  $\gamma_0$  на 20 %, кута внутрішнього тертя  $\phi$  на 25 %, модуля деформації  $E_0$  на 25 %, зменшенню вологості  $W$  на 30 % (за рахунок віджимання порової води), та подальшого заповнення утворених вибухом смуг – траншей міцними щебенево-піщаними сумішами з додатковим їх пошаровим ущільненням, укочуванням або трамбуванням;

- при відсутності умов для створення віброізолюючого шару запропоновано при визначенні попередніх розмірів (ширини і довжини) підшви споруди використовувати величину умовного розрахункового тиску  $R_0$  слабого підстилаючого шару ґрунту замість величини умовного розрахункового тиску міцного ґрунту під підшвою споруди малої товщини (0,5 – 2,0 м), яка входить до складу розрахункового тиску  $R$ , МПа при уточненні розмірів підшви споруд. Це дозволило при збільшенні попередніх розмірів підшви зменшити величину розрахункового тиску  $R$  і відповідно тиску, що передається на міцний ґрунт малої товщини під підшвою.

**Практичне значення одержаних результатів роботи** полягає в розробленні конструкції і методу розрахунку пружно-піддатливих віброізолюючих основ, що складаються зі слабких порід і структурно-нестійких підстилаючих ґрунтів для підземних споруд при динамічних навантаженнях.

Запропоновано спосіб посилення основ, що складаються зі слабких і структурно-нестійких підстилаючих ґрунтів за допомогою вибуху.

Розроблена методика розрахунку конструкцій розширення розмірів підшви підземних споруд, що дозволяє використовувати основи зі слабких і структурно-нестійких ґрунтів. Рекомендовано конструкції пружно-піддатливих віброізолюючих

основ на слабких або підстилаючих шарах з структурно-нестійких ґрунтів з заміною щебеневим шаром.

**Особистий внесок автора** полягає у формуванні мети і завдання досліджень, основних наукових положень дисертаційної роботи: [1] – проведено аналіз ущільнення намивних пісків і підстилаючих слабких або структурно-нестійких ґрунтів вибухом; [2] – розглянуто віброізолювані та пружно-піддатливі щебеневі основи для підземних споруд; [3] – проаналізовано розширення підшви споруди для використання слабких підстилаючих шарів в масиві під спорудою; [6] – проаналізовано коефіцієнт жорсткості основ в неоднорідних геологічних умовах; [7] – вивчено процеси руйнування основ підземних споруд мілкового закладання з структурно-нестійких ґрунтів; [8] – розглянуто умови порушення стійкості споруд при короткочасно діючих динамічних навантаженнях на слабких ґрунтових основах; [9] – розглянуто деякі механічні параметри матеріалів для динамічного розрахунку елементів конструкцій підземних споруд; [10] – проаналізовано руйнування основ підземних споруд зі слабкими підстилаючими ґрунтами при динамічних навантаженнях; [11] – визначено взаємодію конструкцій підземних споруд з основою зі слабких ґрунтів при динамічних навантаженнях від транспортного засобу, технологічних машин і механізмів; [12] – розглянуто рух масиву, як в'язкопластичного середовища по твердому шару при порушенні стійкості схилу від підземної виробки; [13] – математично модельовано коливання системи «пересувне навантаження - нескінченно довга балка - пружна основа, послаблена підземною виробкою»; [14] – розроблено методику розрахунку підземних споруд на прикладі несиметричних рамних конструкцій на структурно-нестійких просідаючих ґрунтах; [15] – розроблено способи укріплення слабких глинистих ґрунтів фосфатними в'язучими; [16] – вивчено способи порушення основ підземних споруд мілкового закладання, які складаються з підстилаючих шарів зі структурно-нестійких ґрунтів; [17] – проаналізовано зміну контактних тисків під підшвою фундаментної балки перемінної жорсткості на основі з перемінним коефіцієнтом постелі.

**Апробація результатів дисертації.** Окремі положення дисертаційної роботи доповідались на семінарах і науково-технічних радах Інституту енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ» 2010-2014; VI-й міжнародній конференції з проблем гірничої промисловості, будівництва та енергетики «Соціально-економічні і екологічні проблеми гірничої промисловості, будівництва та енергетики», – Тул ГУ (Тула, 2010); X-й міжнародній конференції Szkoła Geomechaniki, Politechnika Sluska Wydział Gornictwa I Geologii, Gliwice-Ustron (Польща, 2010); XIII-й всеукраїнській науковій конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», Житомирський державний технічний університет (Житомир, 2011); XV-ому міжнародному симпозиумі Geotechnika – Geotechnics (Польща, 2012); VIII-й міжнародній конференції з проблем гірничої промисловості, будівництва та енергетики «Соціально-економічні і екологічні проблеми гірничої промисловості, будівництва та енергетики». – Тула – Донецьк – Мінськ (Тула, 2012); XI-й міжнародній конференції Srkola Geotechniki, Gliwice – Ustron (Польща, 2013).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, у тому числі 6 статей у провідних фахових виданнях, 4 з яких включені до міжнародних наукометричних баз, а також 1 стаття у іноземному виданні, 11 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, трьох додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 161 найменування. Основний текст викладено на 155 сторінках друкованого тексту, містить 57 рисунки і 14 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, основні наукові і практичні положення, які виносяться на захист і спрямовані на встановлення закономірностей укріплення слабких гірських порід та підстилаючих шарів зі структурно-нестійких ґрунтів, як основи підземних споруд.

**В першому розділі** виконано огляд основ підземних споруд з наливних пісків малої товщини під подошвою споруд та підстилаючих шарів зі слабких порід та структурно-нестійких ґрунтів, які піддаються динамічним впливам.

Намитими пісками і властивостями цих порід займалися багато вчених, серед яких: В.И. Камінська, І.В. Лазарева, Н.Ф. Новіков, С.А. Слюсаренко, М.І. Хазанов, И.А. Шнеер та ін.

Теорією поверхневого ущільнення ґрунтів за допомогою вібраційних механізмів займалися вчені: А.А. Вовк, Д.Д. Баркан, В.Г. Кравець, А.Ф. Лебедев, Г.М. Ляхов, Л. Малверн, Л.П. Ставніцер, Н.Я. Хархут, Г.І. Чорний, О.Л. Шехтер, W. Neoerli, T. Karman, B.K. Parkin та ін.

Вивченням властивостей структурно-нестійких ґрунтів (лесових, набухаючих-глинистих, мулистих, торф'яних) займалися видатні вчені: Ю.М. Абелев, С.В. Аверьянов, В.П. Ананьєв, Н.М. Герсеванов, Б.В. Дерягін, Н.В. Зуєвська, А.А. Мустафаєв, Г.І. Покровський, В.А. Приклонський, А.М. Самедов, Е.А. Сорочан, В. А. Флорін, Н.А. Цитовіч та ін.

Підземні споруди крім статичних навантажень піддаються систематичним динамічним навантаженням різного типу. В основах підземних споруд, що складаються з досить міцних ґрунтів малої товщини під подошвою, динамічні навантаження в основному сприймають підстилаючі шари, що складаються зі слабких або структурно-нестійких ґрунтів, схильних до втрати міцності при динамічних впливах.

**У другому розділі** розглянуто вплив джерел динамічних навантажень на масив порід через конструкції підземних споруд. Джерелами динамічних навантажень в основному є робота технологічних машин і механізмів, сейсмічні хвилі, рух транспорту та ін. Ґрунтові масиви в основі підземних споруд складаються з достатньо міцних ґрунтів, наприклад, з наливних ґрунтів з підстилаючими шарами зі слабких або структурно-нестійких ґрунтів. Джерела динамічних навантажень через несучі елементи конструкцій підземних споруд впливають на масив порід з підстилаючими шарами, що призводить до

коливальних рухів масиву, порушує рівноважний стан і викликає розрідження ґрунту, випирання в сторони ґрунтів основ під подошвою споруд і провальних деформацій (просідання) масиву порід.

Динамічні навантаження від технологічних машин і механізмів визначаються напрямом дії і законами зміни в часі їх головного вектора і головного моменту. Навантаження від більшості машин і механізмів змінюються переважно за гармонічним законом, а в окремих випадках є деякими періодичними негармонічними функціями часу. Ці функції можуть бути розкладені в тригонометричні ряди, з яких для цілей динамічного розрахунку зазвичай використовують першу, а іноді й вищі гармоніки.

Для оцінки динамічного впливу на ґрунтову основу підземної споруди можна розділити на 4 категорії за віброактивністю – за амплітудами інерційної сили: малими до 100 Н, середніми 100...1000 Н, великими 1000...10000 Н, дуже великими – більше 10000 Н.

Динамічну дію в залежності від тривалості коливань в масиві порід можна поділити на миттєві (ударні), короточасні (епізодичні імпульси, випускно-зупинкові машини та механізми, приблизно до  $10^3$  циклів режимів роботи), багаторазові, що діють на протязі  $2 \cdot 10^6$  циклів пульсації, більше  $2 \cdot 10^6$  циклів пульсації. Повторення динамічних навантажень зменшує статичну міцність ґрунтових основ і матеріалів конструкцій підземних споруд.

Динамічні навантаження від технологічних машин і механізмів періодичної дії можна класифікувати за частотою. Нижчі частоти власних коливань елементів конструкцій споруд знаходяться в діапазоні 8-20 Гц, що відповідає 480-1200 циклам за хвилину. Вони зазвичай не можуть викликати резонансні коливання в масиві порід і конструктивних елементах споруд, але здатні спричинити розрідження слабких підстилаючих шарів і лавинні деформації просідання.

Середня частота становить від 1200 до 2000 цикл/хв. Ці коливання викликають провальні деформації або розрідження масиву порід (основ) до текучого стану підстилаючих шарів з структурно-нестійких ґрунтів.

У роботі розглянуто основні типи машин і фактори, які генерують періодичні навантаження в ґрунтовому масиві під спорудами.

Дослідження в умовах структурно-нестійких підстилаючих супісків і заторфованих порід складались з проходження траншеї шириною 2 м, довжиною 3 м і глибиною 4,5 м в масиві з шарів намитого піску, мулу та заторфованого ґрунту (рис. 1).

З траншеї через свердловини  $d=0,133$  м в шарах заторфованого і мулистого ґрунтів встановлювали датчики напружень. Вимірювання масової швидкості виконувалося за допомогою сейсмоприймачів СВ-20.

Динамічні навантаження створювались вібраторами ВП-1, широко застосовуваними при забиванні паль.

Результати експериментальних досліджень підстилаючих шарів наведені в табл. 1.

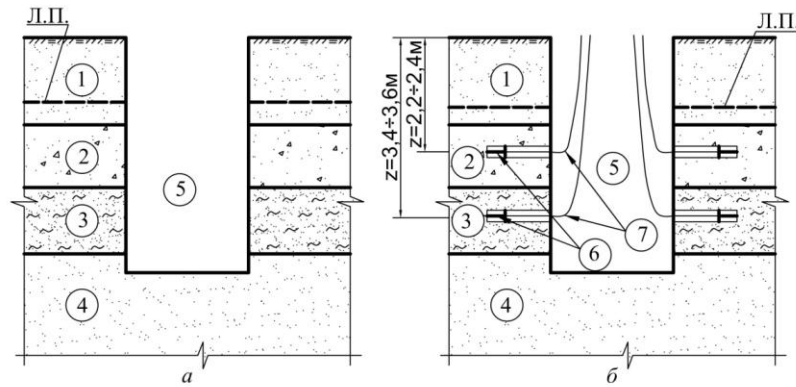


Рис. 1. Схема експериментів: а – геологічний розріз; б – схема вимірювань: 1 – намитий пісок; 2 – торф; 3 – мулистий ґрунт; 4 – корінний пісок, 5 – траншея; 6 – датчики напружень, масової швидкості; 7 – проводи для підключення осцилографу; Л.П. – лінія підшови фундаменту споруди

Таблиця 1

### Результати досліджень підстиляючих шарів

N:номер шарів	Номенклатура підстиляючих шарів	Характеристики підстиляючих порід			Параметри вібраційного тиску					Деформації підстиляючих шарів		
		товщина шару, м	питома вага $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	вологість W, частки од.	$\sigma_z$ , МПа	$\sigma_x$ , МПа	Тимчасові характеристики вібрації			$\epsilon_n$	$\epsilon_y$	$\epsilon_{ост.}$
							$t_n$ , с	$t_{на}$ , с	$t_{шв}$ , с			
1	Намитий пісок під підшовою фундаменту	0,9	17,6	0,09	18,2	12,6	28,6	16,2	12,1	0,046	0,008	0,092
2	Заторф.	1,2	12,6	0,40	3,6	2,8	47,6	29,8	16,6	0,276	0,014	0,262
3	Мулист. (супісок)	1,5	14,6	0,31	1,40	0,80	122,8	61,2	37,2	0,128	0,0086	0,1194

Тут  $t_n$  – час наростання масової швидкості до максимуму,  $t_{на}$  – час наростання напружень до максимуму,  $t_{шв}$  – час наростання амплітуди швидкості до максимуму;  $\epsilon_n$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_{ост}$  – повні, пружні та залишкові деформації;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  – компоненти напружень по осях  $x$  та  $z$ .

Також було виконано розрахунок осідання основи і побудована кінцево-елементна модель конструкції і досліджуваного ґрунтового масиву по заданих умовах (рис. 2).



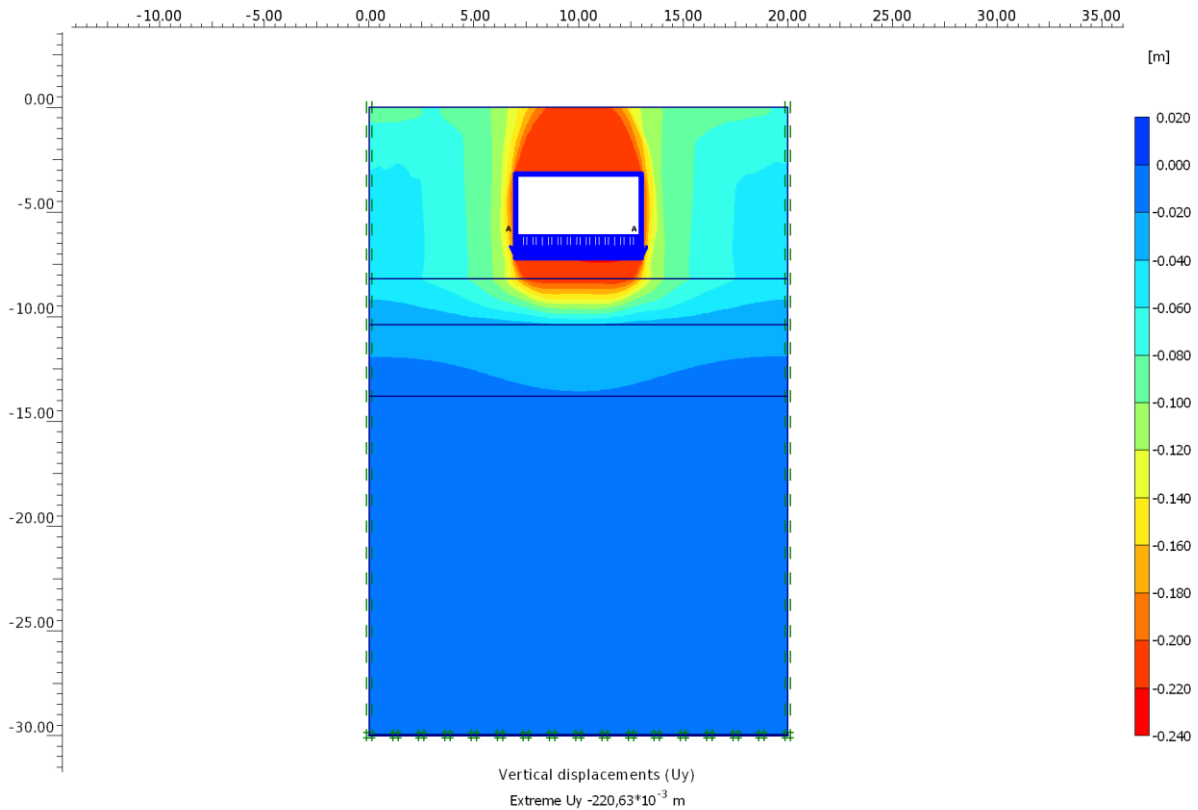


Рис. 2. Вертикальні переміщення

В результаті моделювання отримані вертикальні переміщення, величина яких складає 22 см, що є не допустимим при проектуванні і будівництві споруд.

**В третьому розділі** досліджено зміну властивостей структурно-нестійких підстилаючих ґрунтів при статичних та динамічних навантаженнях.

Досліджено закономірності зміни фізико-механічних властивостей підстилаючих лесових суглинків II-го типу просідання потужністю 20 м, під наливним піском товщиною 4,5 м, з якого при влаштуванні фундаменту будинку під подошвою мав залишитись шар намитого піску товщиною лише 80 см. Цей шар намитого піску фактично не міг сприйняти очікувані навантаження. Тому проектувальниками було прийнято пальові фундаменти. Розмір будівлі в плані складав 21,6 x 32,4 м. Під подошвою будівлі розроблялися траншеї розмірами 2,0 x 2,0 x 1,0 м і досліджено абсолютні просадки при постійному і періодичному замочуванні (рис. 3, 4).

З рис. 3 видно, що під шаром намитого піску середньої крупності потужністю 1,5 м з природною вологістю  $W = 0,08$  та достатньою міцністю (з умовним розрахунковим опором  $R_0=0,4$  МПа), залягає лесовидний суглинок потужністю 7,8 м з очікуваним просіданням  $S_{se} = 75$  см. Під подошвою фундаменту (лінія ЛП) до підстилаючого шару з просідаючого лесовидного суглинку (рис. 3) залишається 0,9 м піску середньої крупності і середньої щільності, що є недостатнім для сприйняття навантажень від ваги будівель. Тому було перевірено зміну просідань другого шару з лесовидного суглинку для чого поглиблено котлован на 2 м,

заповнено водою з дотриманням постійного рівня води протягом 50 діб. Отримані дані при замочуванні наведено на рис. 4.

Показники просідання лесовидного суглинка до випробування мали: вологість  $W = 0,08$ ; питома вага  $\gamma = 16,2 \text{ кН/м}^3$ ; питома вага сухого ґрунту  $\gamma_2=14,8 \text{ кН/м}^3$ ; пористість  $n=45 \%$ ; коефіцієнт пористості  $e_0=0,81$ ; питоме зчеплення  $C = 0,087 \text{ МПа}$ ; кут внутрішнього тертя  $\varphi=28^\circ 40'$ ; межа текучості  $W_L=0,242$ ; межа розкочування  $W_P=0,12$ ; відносне просідання  $\varepsilon_{sl} = 0,091$ .

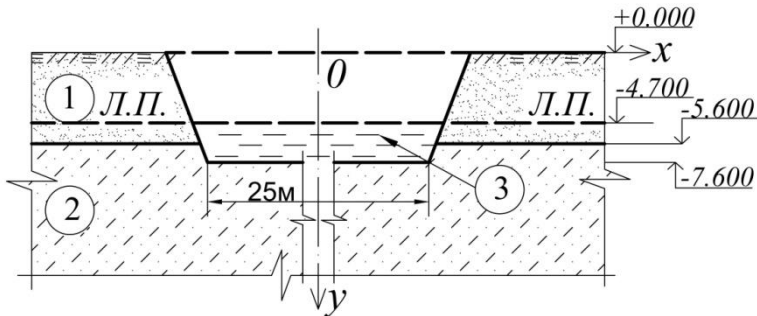


Рис. 3. Схема експерименту в дослідному котловані: 1 – намивний пісок; 2 – лесовидний суглинок; 3 – вода

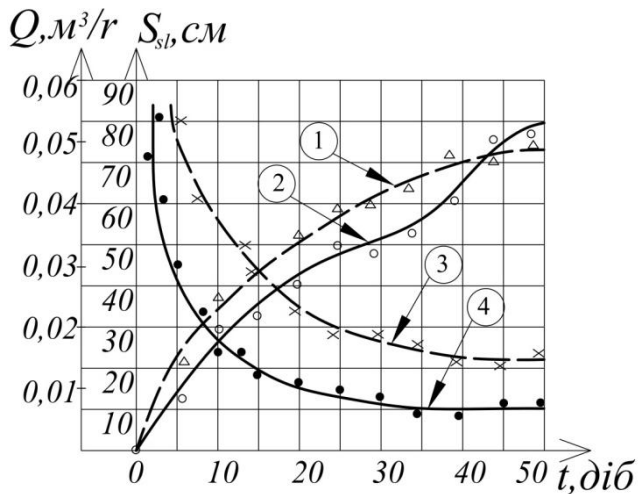


Рис. 4. Зміна фільтрації  $Q$  та абсолютного просідання лесовидних суглинків при безперервному (пунктирні) та періодичному (суцільні) замочуванні: 1 – абсолютні просідання  $S_{sl}$  при безперервному замочуванні; 2 – абсолютні просідання  $S_{sl}$  при періодичному замочуванні; 3 – фільтраційна витрата при безперервному замочуванні; 4 – те ж, при періодичному замочуванні

Зміна відносної деформації просідання  $\varepsilon_{sl}$  в часі  $t$  даного лесового суглинка досліджувалася в лабораторних умовах без можливості бічного розширення в компресійному приладі зразків висотою 25 мм при різній вологості  $W=0,1 \div 0,35$  до повного водонасичення  $W=W_{sat}=0,35$  (рис. 4) При цьому величина ущільнюючих тисків приймалася  $P=0,1 \text{ МПа}=\text{const}$ .

З рис. 5 видно, що відносна деформація просідання  $\varepsilon_{sl}$  при різних значеннях  $W$ , досягає максимальних значень в часі до 20 діб, а далі стабілізується.

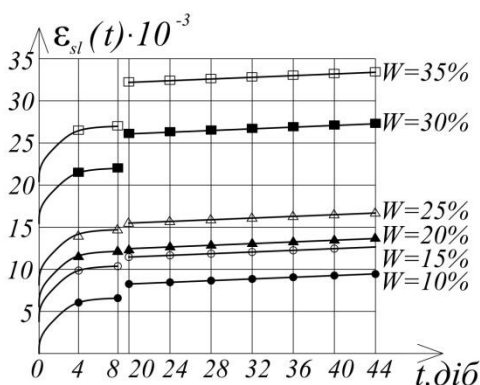


Рис. 5. Криві зміни відносного просідання суглинка (підстилаючого під намивним піском)  $\varepsilon_{sl}(t)$  у часі при постійному тиску  $P=0,1 \text{ МПа}$  та різних вологостях  $W=0,1-0,35$

На рис. 6 наведено залежність зміни відносного просідання  $\varepsilon_{sl}$  в часі  $t$  при різному ущільнюючому тиску  $\sigma=0,05/0,5$  МПа і постійній величині вологості, рівній межі розкочування, тобто  $W=W_p=0,12=\text{const}$ .

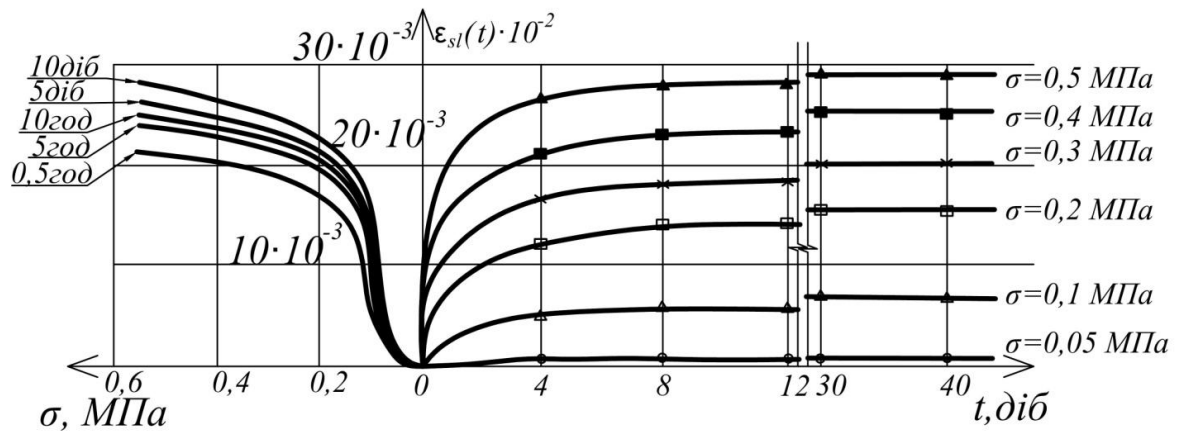


Рис. 6. Залежності зміни відносного просідання  $\varepsilon_{sl}$  лесового суглинка (підстиляючого під наливним піском) у часі при різних ущільнюючих тисках  $\sigma_i = 0,05 \div 0,5$  МПа та постійній вологості  $W = W_p = 0,12 = \text{const}$

Отримані дані становлять криві сімейства  $\varepsilon_{sl} \sim t$ , можна прийняти з однієї кривої множенням її ординати на деяку величину, яка є функцією ущільнюючого тиску  $\sigma$ .

З рис. 5 видно, що явище відносного просідання пов'язане з фізико-механічними властивостями, які викликають розвиток деформації в часі при постійних напруженнях і вологості ґрунту. Зі збільшенням напруження величина відносної деформації просідання зростає в часі.

Результати вивчення зміни властивостей підстиляючих шарів зі структурно-нестійких ґрунтів при статичних і динамічних навантаженнях наведено в табл. 2 і табл. 3.

Таблиця 2

### Характеристики підстиляючих структурно-нестійких ґрунтів під подошвою споруд при статичних навантаженнях

Назви ґрунтів	Питома вага частки, $\gamma_s, \text{кН/м}^3$	Питома вага, $\gamma, \text{кН/м}^3$	Природна вологість $W$ долі.од.	Пористість $n, \%$	Сила зчеплення, $C, \text{МПа}$	Кут внутр. тертя, $\varphi$ , град	Коеф. фільтр. $K_f$ , м/доб.	Модуль деформації $E_0$ , МПа
лесовий суглинок	26,2	14,2	0,07	48,2	0,062	26°30'	0,56	22,0
мулиста супісь	18,6	12,6	0,54	56,0	0,0012	8°40'	0,012	0,56
заторфовані	14,8	9,6	5,28	66,0	0,0046	6°40'	0,015	0,38

Зразки випробовувалися в природній вологості.

**Характеристики підстилаючих структурно-нестійких ґрунтів під  
підшовою споруд при динамічних навантаженнях**

Назви ґрунтів	Імпульсні тиски при вібрації					Деформація ґрунтів			Міцнісні параметри		Мод. деф. $E_{0,d}$ , МПа
	макс. напр. $\sigma_{max}$ , МПа	швидкість напр. $\sigma'_{max}$ , Па/с	Тимчас. характ.			сумарн. $\epsilon_m$	у т.ч.		С, МПа	$\varphi$ град.	
			$t_t$	$t$	$t_n / t_t$		пруж. $\epsilon_y$	ост. $\epsilon_{ост.}$			
лесовий суглинок	0,40	360	4,6	2,4	0,52	0,121	0,0086	0,1124	0,042	24°20'	36,0
мулиста супісь	0,036	340	3,4	1,75	0,51	0,362	0,092	0,270	0,0004	3°40'	1,12
заторфовані	0,028	224	2,8	1,32	0,47	0,560	0,242	0,348	0,0012	4°10'	0,72

Усі зразки мали аналогічні фізико-механічні властивості, як при випробуванні статичним навантаженням, так і при випробуванні динамічним навантаженням. У випробуваннях виконаних при динамічному навантаженні зі швидкістю  $\sigma'_i = 1,6 \cdot 10^9$  Па/с встановлено значення модуля деформації  $E_{0,d}$ , МПа.

Динамічні навантаження будь-якого характеру викликають збурення в масиві з гірських порід, відповідно стискаючі й розтягувальні напруження від поздовжніх і поперечних хвиль. Масові швидкості часток структурно-нестійких ґрунтів під дією поздовжньої хвилі визначаються:

а) швидкість при стисканні:

$$V_1 = k_1 \left( \frac{\sqrt[3]{N}}{r} \right)^n, \text{ см/с}; \quad (1)$$

б) швидкість при розтяганні:

$$V_2 = k_2 \left( \frac{\sqrt[3]{N}}{r} \right)^n, \text{ см/с}, \quad (2)$$

де  $V_1$  і  $V_2$  – швидкості зсуву масових часток на відстані  $r$  відповідно при падаючій і відбитій хвилі;  $k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти, що враховують властивості ґрунтів і властивості динамічних навантажень (вібрації, ударні, імпульсивні, багаторазово-повторні і т.д.). При відсутності дослідних даних для практичних розрахунків можна приймати  $k_1 = 20 \div 22$ ;  $k_2 = 1,8 \div 2,3$ ;  $n$  – показник загасання, що залежить від властивостей ґрунтів. Для структурно-нестійких ґрунтів можна приймати  $n = 1 \div 1,3$ .  $V_1$  і  $V_2$  можуть досягти критичної швидкості  $V_{кр.}$ , яке для глинистих ґрунтів складає  $V_{кр.} = 1,3 \div 1,5$  см/с;  $N$  – динамічне навантаження, кН;  $r$  – відстань від джерела динамічних навантажень до точки, де необхідно оцінити вплив динамічних навантажень на зсув основи з структурно-нестійкого ґрунту.

Оцінка напруженого стану масиву (основи) з підстилаючими шарами зі слабких та структурно-нестійких ґрунтів характеризується компонентами головних напружень  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  при одночасній дії статичних і динамічних навантажень в процесі стискання:

$$\sigma_1 = \sigma_{x,стат.} + \sigma_{x,дин.} \approx 0;$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{x,\text{стат.}} &= 0, \sigma_{y,\text{стат.}} = \mu_0 \sigma_{z,\text{стат.}}; \\
\sigma_2 &= \sigma_{y,\text{стат.}} + \sigma_{y,\text{дин.}} = -\mu_0 \frac{3-4\mu_0}{1-\mu_0} \gamma H - \frac{\rho c_y \mu_0 k_1}{1-\mu_0} \left( \frac{\sqrt[3]{N}}{r} \right)^m; \\
\sigma_{z,\text{стат.}} &= \frac{3-4\mu_0}{1-\mu_0} \gamma H; \\
\sigma_3 &= \sigma_{z,\text{стат.}} + \sigma_{z,\text{дин.}} = -\frac{3-4\mu_0}{1-\mu_0} \gamma H - \frac{\rho c_y \mu_0 k_1}{1-\mu_0} \left( \frac{\sqrt[3]{N}}{r} \right)^m, \quad (3)
\end{aligned}$$

Де  $\sigma_{x,\text{стат.}}$ ;  $\sigma_{y,\text{стат.}}$ ;  $\sigma_{z,\text{стат.}}$  – компоненти напружень по осях  $x, y, z$  від статичних навантажень, так само  $\sigma_{x,\text{дин.}}$ ;  $\sigma_{y,\text{дин.}}$ ;  $\sigma_{z,\text{дин.}}$  – теж від динамічних навантажень;  $\mu_0$  – коефіцієнт Пуассона ґрунтів;  $\gamma$  – питома вага ґрунту;  $H$  – висота шару до точки, у якій необхідно визначити напружений стан масиву;  $c_y$  – швидкість поширення пружних хвиль; для лесу  $c_y = 140 - 200$  м/с, для глини  $c_y = 120 - 250$  м/с, для торфу й мулу  $c_y = 50 - 60$  м/с;  $\rho$  – щільність породи, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – ступінь кривизни;  $m = 1 - 2$ ; при  $m = 1$  – лінійна; при  $m = 2$  – параболічна, ухвалюється для практичних розрахунків  $m = 1,2$ .

У формулі (3) при розтягненні значення  $\sigma_2$  та  $\sigma_3$  залишаються зі знаком (+).

Якщо точка, у якій потрібно визначити напружений стан, перебуває на покрівлі підземної споруди, тоді фаза стискання в цій точці буде характеризувати руйнування ґрунтів основи.

Безпечна відстань (критичний радіус стиснення), на якій діє динамічне навантаження на ґрунти, що мають контакт з конструкціями підземних споруд на стислій фазі від падаючої хвилі, при  $\mu_0 = 0,25$  буде:

$$r_{\text{крит.сж.}} = \left\{ \frac{\rho c_y \mu_0 k_1}{[(\sigma_{\text{сж.}}) - 2,67 \gamma H](1 - \mu_0)} \right\}^{1/m} \cdot \sqrt[3]{N}, \quad (4)$$

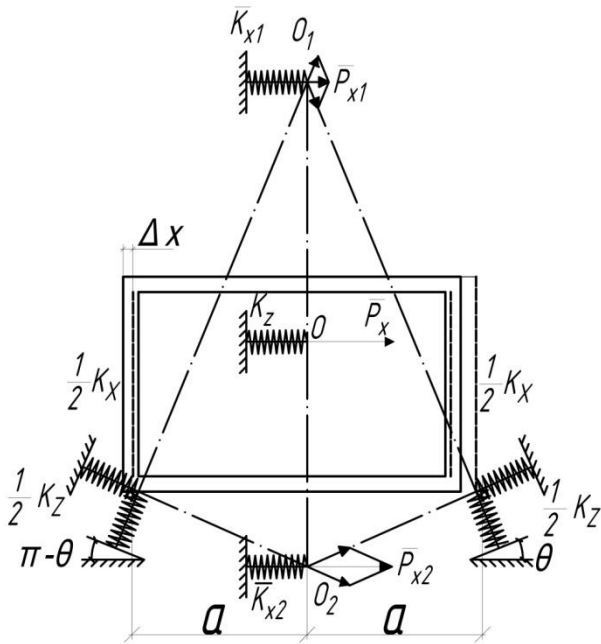
де  $(\sigma_{\text{сж.}}) = \sigma_1 - \sigma_3$  – межа міцності ґрунту на стискання;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження у фазі стискання.

У випадках, коли масив ґрунтів під подошвою споруди складається зі структурно-нестійких ґрунтів, для формули (4) при визначенні критичних відстаней приймаються всі параметри ґрунту після руйнування структурної міцності. Наприклад, для лесових просадних ґрунтів  $\rho, c_y, \gamma$  приймається  $\rho = \gamma = 13,5 - 14,5$  кН/м<sup>3</sup>;  $c_y = 300$  м/с; для мулистих ґрунтів  $\rho = \gamma = 12,5 - 13$  кН/м<sup>3</sup>;  $c_y = 180$  м/с; для заторфованих ґрунтів  $\rho = \gamma = 8,7 - 9,3$  кН/м<sup>3</sup>;  $c_y = 50 - 60$  м/с.

Таким чином, при експлуатації підземних споруд у випадку впливу спільних статичних та динамічних навантажень на основи, що складаються з двошарових ґрунтів, між цими шарами виникають стискаючі та розтягуючі напруження від поздовжніх і поперечних хвиль при динамічних навантаженнях. Нами було рекомендовано визначити компоненти цих напружень  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  за формулами (3) і (4), параметри яких отримані дослідями в лабораторних і польових умовах.

**У четвертому розділі** наведено результати досліджень з формування віброізолюючих масивів (основ), які складаються зі слабких порід та структурно-нестійких ґрунтів підстилаючих шарів, які піддаються динамічним впливам.

В роботі розроблено методики визначення динамічних характеристик масиву порід: динамічної твердості, внутрішнього тертя, вільного загасання коливання, коефіцієнта поглинання енергії від динамічних навантажень і розвитку деформацій у масиві.



Визначено необхідні параметри для статичного й динамічного розрахунків масиву зі слабких і структурно-нестійких ґрунтів, такі як: модуль деформації  $E_0$ , МПа, коефіцієнт Пуассона  $\mu_0$ , модуль зсуву  $G$ , МПа, коефіцієнт стисливості  $m_0$ , МПа<sup>-1</sup> і інші.

Рекомендовано метод розрахунків віброізолюючого об'єкта на прикладі підземної споруди на структурно-нестійкому ґрунтовому масиві із пружними опорами (рис. 7).

Рис. 7. Розрахункова схема віброізоляції підземних споруд пружними опорами з пружини

В моделі конструктивної схеми при віброізоляції споруди структурно-нестійкий ґрунт замінено реологічними елементами, що складаються із пружини Гука й амортизатора Ньютона, з'єднаними паралельно, як тіло Кельвіна (рис. 8).

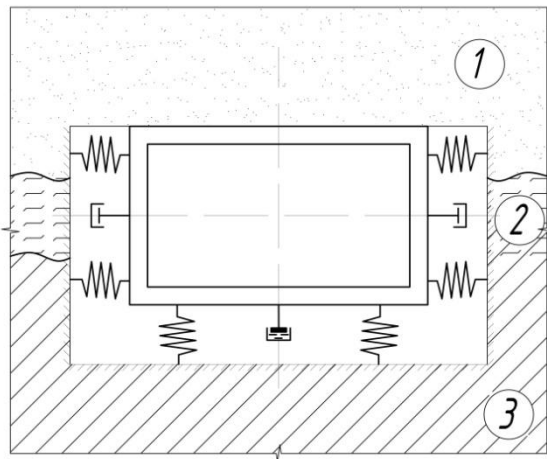


Рис. 8. Конструктивна схема віброізоляції підземних споруд зі спрощеними реологічними елементами масиву як основи споруди: 1 – намівний пісок; 2 – торф; 3 – лесовидний суглинок II-го типу по просадності

З віброізолюваних схем реологічних елементів підземних споруд і слабких масивів, в якості основи споруди рекомендовано використання піддатливого віброізолюючого масиву із щебеню фракцій 40-70 мм. Товщина щебеневого шару визначається з розрахунку схеми з пружними опорами у вигляді пружин (рис. 9).

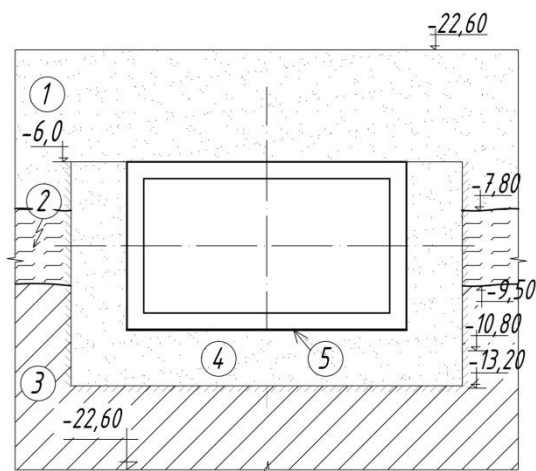


Рис. 9. Схема віброізолюваних піддатливих щебеневих основ для підземних споруд: 1 – наміті піски середньої крупності та середньої щільності; 2 – торф; 3 – лесовидний суглинок II-го типу по просадності; 4 – щебеневий шар по фракції 40-70 мм з додаванням пісків до 30 % від об'єму щебеню і з ущільненням; 5 – гідроізоляція

З урахуванням коефіцієнтів передачі динамічних навантажень від коливань віброізоляторів (щобенового шару) визначається товщина шару.

Рівняння поступальних коливань від динамічних навантажень на віброізольуючий масив з структурно-нестійких ґрунтів, заміненних пружними пружинами й демпферами, записується у вигляді:

$$mW'' + a_z W' + K_z W = P_{0,z} \cos \omega_0 t, \quad (5)$$

де  $a_z$  – коефіцієнт опору рідини демпфера,  $a_z^2 \leq 4mK_z$ ;  $m$  – маса споруди з технологічним устаткуванням, машинами й механізмами,  $W$  – переміщення по осі  $z$ ;

$W''$  – похідні по II-му ступеню переміщення  $W$  відносно по осі  $z$ , тобто  $\frac{d^2W}{dz^2} = W''$ ;

$P_{0,z}$  і  $\omega_0$  – амплітуда й кругова частота сили;  $K_z = \frac{Gd}{8c^2i}$  – жорсткість віброізолятора,  $G = 8 \cdot 10^6$  Н/см<sup>2</sup> – модуль здвигу пружини;  $d$  – діаметр пружини чи щобеню;  $i$  – число щобенів, що перебувають у склянці розмірами 100-200 мм у вертикальному напрямку або число спіралі в пружині,  $c = \frac{D}{d}$  – показник щобенового шару, що перебуває в склянці,  $D$  – внутрішній діаметр склянки або пружини;  $t$  – час.

Таким чином, для отримання віброізольованих і піддатливих основ під спорудою в ґрунтових умовах, що складаються з структурно-нестійких ґрунтів спочатку приймаємо розрахункову схему масиву ґрунту з віброізольованими пристроями з пружини, створюючи віброізольовану систему (рис. 7), потім цю систему перетворюємо в модель, що складається з реологічних елементів ґрунтових масивів (рис. 8). Далі за даною моделлю створюємо віброізольовану піддатливу основу (рис. 9), яка забезпечує стійкість, несучу здатність і довговічність підземної споруди в процесі експлуатації з урахуванням динамічних впливів. Систему розроблено на основі рівнянь (5), що описують поступальні коливання масиву.

**У п'ятому розділі** наведено результати дослідження способів ущільнення намивних і підстилаючих шарів з структурно-нестійких ґрунтів вибухом або одночасно лінійними й накладними зарядами. Технологія виконання методу нескладна. Для цього розробляють котлован або траншею, попередньо зволожують шари підстилаючого намивного піску, до оптимальної вологості  $W=14-16$  %, (ступінь вологості  $S_r = 0,6 - 0,7$ ), якщо вони перебувають у маловологому ( $S_r = 0,25 - 0,5$ ) і сухому ( $S_r = 0 - 0,25$ ) стані, нижче підшви споруд. У котловані або траншеї пробурюються дренажно-підривні свердловини, встановлюються інвентарні азбестоцементні чи металеві труби або дерев'яні коробки  $\varnothing 100 - 150$  мм, в яких опускають гідроізольовані заряди ВР. Стандартні патрони ВР мають діаметр 36-90 мм, довжину 250-500 мм і вагу 1,3-3,25 кг. Одночасно підривається група зарядів (наприклад №1), як показано на рис. 10 і рис. 11.

Глибина дренажно-підривних свердловин приймається на всю глибину активної зони, тобто нижче лінії нижньої межі стискуючої товщі на 1,0-1,5 м.

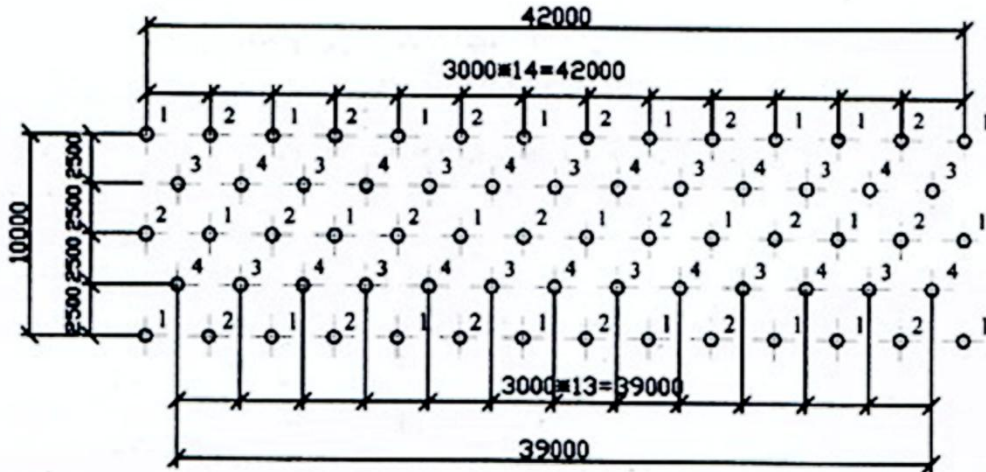


Рис. 10. Схема підривання: 1 – перша серія підривання (23 свердловини); 2 – друга серія підриву (22 свердловини); 3 – третя серія підривання (14 свердловин); 4 – четверта серія підривання (14 свердловин)

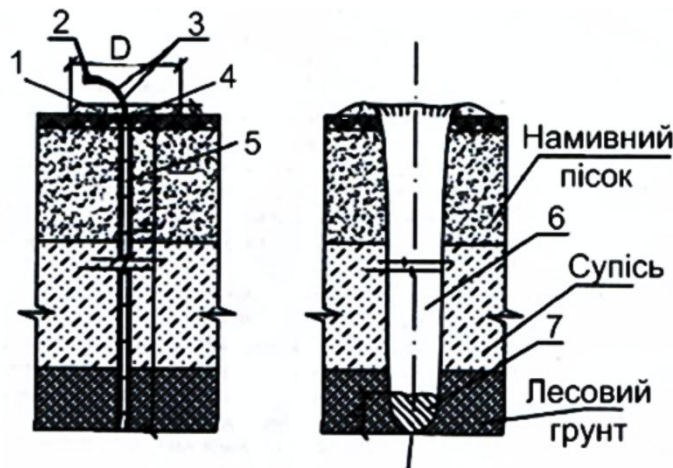


Рис. 11. Схема виникнення порожнин з використанням накладного заряду: 1 – накладний заряд; 2—електродетонатори; 3 – детонуючий шнур; 4 – забійка; 5 – патрони ВР; 6 – утворена порожнина; 7 – ґрунтовий осип

Ущільнення вибухом дозволяє одержати намивний піщаний шар з питомою вагою  $\gamma = 18,6-21,0 \text{ кН/м}^3$ , а лесовий ґрунт, що підстиляє, має питому вагу до вибуху  $\gamma = 13,2-15,65 \text{ кН/м}^3$ , а після вибуху  $\gamma = 18,5-19,2 \text{ кН/м}^3$ .

Рекомендований метод посилення основ, що складаються зі слабких і структурно-нестійких ґрунтів вибуховим способом дозволяє ущільнювати ці ґрунти, частково ліквідувати просідні властивості ґрунтів і замінити частину цих ґрунтів більш міцними ґрунтами за рахунок заповнення і ущільнення порожнин, утворених вибухом. Цей варіант можна застосовувати в тому випадку, коли немає можливості застосування щебенево-віброізолюваної основи.

В умовах щільної забудови, коли вибухова технологія ущільнення неприйнятна через вимоги сейсмобезпеки, рекомендовано спосіб посилення основи шляхом збільшення розмірів подошви споруди із використанням умовного розрахункового опору  $R_0$  слабого підстиляючого ґрунту, замість більш міцного намивного ґрунту малої товщини, що перебуває під подошвою споруди. Попередній розмір подошви споруд визначається за формулою:



$$A \frac{N_{II}}{R_0 - \gamma_{cp} \cdot d_1}, \text{ м}^2,$$

де  $A$  – площа подошви,  $\text{м}^2$ ;  $R_0$  – умовний розрахунковий опір слабого підстиляючого шару,  $\gamma_{cp} = 20 - 22 \text{ кН/м}^3$  – середнє значення питомої ваги ґрунту на обрїзах фундаменту (днища) споруди;  $d_1$  – глибина закладання фундаменту (споруди);  $N_{II}$  – розрахункове навантаження по обрїзу фундаменту (споруди)  $\text{кН}$  або  $\text{кН/м}$ . Попередній розмір подошви  $A$  використовується при визначенні розрахункового тиску ґрунту  $R$ ,  $\text{кН/м}^2$  і уточнюються розміри подошви споруд по  $R$ .

Згідно даної рекомендації можна використовувати міцний шар ґрунтів малої товщини (0,5-2,0 м), що знаходиться під подошвою споруд і має підстиляючі шари із слабких або структурно-нестійких ґрунтів без інженерних заходів, спрямованих на поліпшення основ (силікатизації, цементації і полімеризації або із застосуванням в деяких випадках пальових фундаментів), способом уширення розмірів подошви споруд. Спосіб уширення розмірів подошви споруд дозволяє розподілити тиск на основи і різко зменшити його величину і забезпечити несучу здатність основ, що складаються з цих ґрунтів.

Впровадження даного методу розширення при будівництві очисної споруди ПП «Укрросвуглемашсервісом» дозволило відмовитися від паль в кількості 210 шт діаметром 620 мм, довжиною 12,0 м і отримати 840 тис. грн економічного ефекту на одному об'єкті.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено актуальне науково-практичне завдання по обґрунтуванню умов посилення основ підземних споруд, які складаються з слабких і структурно-нестійких ґрунтів на всю глибину активного шару під подошвою споруд з метою забезпечення стійкості, міцності і довговічності при експлуатації споруд з спільно діючими статичними і динамічними навантаженнями.

За результатами аналітичних і експериментальних досліджень в лабораторних та польових умовах отримано такі основні наукові висновки і практичні результати:

1. У лабораторних і польових умовах вивчені зміни фізико-механічних, міцнісно-деформаційних і інших показників слабких і структурно-нестійких ґрунтів, які складають основи і підстиляючі шари під подошвою споруд на всю глибину активної зони при статичних та динамічних навантаженнях.

2. Визначено джерела динамічних навантажень, які передаються через елементи конструкцій споруд (вібрації, ударні, імпульсивні, короткочасні, багаторазово-повторні, вибухові, сейсмічні і т.д.) і створюють гармонійні і негармонійні коливання в основах, що складаються з слабких і структурно-нестійких ґрунтів, а також в підстиляючих шарах з цих ґрунтів в активній зоні основ, які призводять до передчасного руйнування споруд.

3. Запропоновано реологічні моделі масиву ґрунтів, що складається зі слабких і структурно-нестійких ґрунтів і підстилаючих шарів, що піддаються спільно діючим статичним і динамічним навантаженням.

4. Рекомендовані методи призначення віброізолюючих систем, що забезпечують стійкість споруд при дії різних видів динамічних навантажень.

5. Запропоновано рівняння поступальних коливань від динамічних навантажень до віброізолюючих систем, що складаються з пружини і визначені вхідні параметри до цих рівнянь. У разі переходу з пружини до реальних слабких і структурно-нестійких ґрунтів, наприклад, просідаючих і набухаючих, мулистих і заторфованих ґрунтів визначені величини цих параметрів дослідним шляхом.

6. Перехід від віброізолюючих систем з реологічними елементами до віброізолюючих піддатливих основ, що складаються з щебенево-піщаного (щебеню фракції 40-70 мм) ущільненого масиву обґрунтовано теоретично, що дозволяє забезпечити стійкість, міцність і довговічність споруд при експлуатації.

7. Запропоновано ефективні способи ущільнення основи та підстилаючих шарів, що складаються з слабких і структурно-нестійких ґрунтів під подошвою споруд вибухом на всю активну зону при оптимальній вологості (до 14÷16 %), що достатньо забезпечує несучу здатність основ під подошвою споруд.

8. Розроблено метод визначення уширення розмірів подошви споруд у випадках коли основа складається з міцних ґрунтів під подошвою споруд, але малої товщини (0,5-2,0 м), під цим шаром є підстилаючий шар з структурно-нестійких ґрунтів. Даний метод дозволяє забезпечити зменшення передачі тисків від споруд до основ з міцного ґрунту малої товщини і різко зменшити тиск на підстилаючі шари зі слабких або структурно-нестійких ґрунтів.

### **Основні положення і результати дисертації опубліковані в роботах:**

#### *Публікації у наукових фахових виданнях:*

1. Самедов А.М. Способи ущільнення намівних і підстилаючих шарів з слабких або структурно-нестійких ґрунтів вибухом / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани // Вісник ЖДТУ. Технічні науки.: Зб. наук. праць. – 2010. – Вип. XI (45). – С. 84 – 60. Включено до «Google Scholar».

2. Самедов А.М. Віброізолювані та піддатливі щебеневі основи для підземних споруд / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. Зб. наук. праць. – 2010. – Вип. XII (46). – С. 154 – 160. Включено до «Google Scholar».

3. Мани А.Д.Д. Уширение подошвы сооружения для использования слабых подстилающих слоев в массиве под сооружением / А.Д.Д. Мани, А.М. Самедов // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб. наук. праць. – 2015. – Вип. 27. – С. 8 – 15. Включено до «BASE», «WorldCat», «Google Scholar», «OpenAIRE», «Research Bible», «UIF».

4. Мани А.Д.Д. Прогноз просадки подстилающего слоя под намывным грунтом при равномерном подъеме грунтовых вод / А.Д.Д. Мани // Ежемесячный научно-технический, производственный и экономический журнал «Уголь Украины». – 2015. – Вып. 5. – С. 17 – 19. Включено до «Google Scholar».

5. Мани А.Д.Д. О расчете виброизолирующих оснований при замене структурно-неустойчивых грунтов / А.Д.Д. Мани // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – 2015. – Вип. 46. – С. 126 – 130.

6. Самедов А.М. Коэффициент жесткости оснований подземных сооружений мелкого заложения в неоднородных геологических условиях / А.М. Самедов, В.Г. Кравец, А.Д.Д. Мани // Горный инф. аналит. бюллетень «Освоение подземного пространства мегаполисов». – М.: издательство «Горная книга», ISBN 0236-1493. – 2013. – отд. вып. №7. – С. 256 – 257 (іноземне видання).

*Публікації за матеріалами конференцій:*

7. Самедов А.М. Процессы разрушения оснований подземных сооружений мелкого заложения из структурно-неустойчивых подстилающих слоев / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани // X Szkoła Geomechaniki 2011. Politechnika Slaska Wydział Gornictwa I Geologii (Польша). Gliwice-Ustron 18-22 Pazdziernika 2010. – С. 171 – 184.

8. Самедов А.М. Нарушения устойчивости сооружений от кратковременно действующих динамических нагрузок / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, В.В. Вапничная // Материалы VI международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», Тула. – 2010. – С. 23 – 39.

9. Самедов А.М. Некоторые механические параметры материалов для динамического расчета элементов конструкций подземных сооружений / А.М. Самедов, А.Г. Кравец, А.Д.Д. Мани // X Szkoła Geomechaniki 2011. Politechnika Slaska Wydział Gornictwa I Geologii (Польша). Gliwice-Ustron 18-22 Pazdziernika 2011. – С. 129 – 139.

10. Самедов А.М. Разрушение оснований подземных сооружений со слабыми подстилающими грунтами при динамических нагрузках нарушающих экологию окружающей среды / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, Я.В. Алексеенко // Тези XIII Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», 23-25 березня 2011 року, Житомир. – 2011. – С. 279 – 281.

11. Самедов А.М. Взаимодействия конструкций подземных сооружений с основанием из слабых горных пород при динамических нагрузках от транспортного средства, технологических машин и механизмов / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, М.К. Демессие // Материалы VII международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», Тула-Донецк-Минск. – 2011. – С. 214 – 220.

12. Самедов А.М. Движения массива, как вязкопластичной среды по твердым слоям при нарушении устойчивости склона от подземной выработки [Электронный ресурс] / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, В.В. Дзядевич, Г.Х. Паничаров // ВСУ «Черноризец Хабър», ISSN 1313-7514, e-Journal VFU, Архитектура и строительство, г. Варна (Болгария). – 2012. – Вып. 4 – 11 с.

13. Самедов А.М. Математическое моделирование колебаний системы «передвижная нагрузка – бесконечно длинная балка – упругое основание, расслабленной подземной выработкой» [Электронный ресурс] / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, М.А. Сницар, Г.Х. Паничаров. // ВСУ «Черноризец Хабър», ISSN 1313-7514, e-Journal VFU, Архитектура и строительство, г. Варна (Болгария). – 2012. – Вып. 5. – 11 с.

14. Самедов А.М. О расчете подземных сооружений из несимметричных рамных конструкций на просадочном грунте I-го типа с прогнозируемыми неравномерными просадками оснований / А.М. Самедов, П. Луговой, А.Д.Д. Мани, М. Сницар // XV Jubileuszowe Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika- Geotechnics, 2012. Materialy Naukowe (Польша). Gliwice-Ustron 23-26 pazdziernika 2012. – С. 127 – 138.

15. Самедов А.М. Процессы схватывания и твердения фосфатных вяжущих при укреплении слабых бескарбонатных и малокарбонатных легких и тяжелых гидрослюдистых глинистых грунтов / А.М. Самедов, Г.Х. Паничаров, А.Д.Д. Мани // XV Jubileuszowe Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika- Geotechnics, 2012. Materialy Naukowe (Польша). Gliwice-Ustron 23-26 pazdziernika 2012. – С. 139 – 145.

16. Самедов А.М. Нарушение оснований подземных сооружений мелкого заложения в структурно-неустойчивых подстилающих грунтах / А.М. Самедов, М. Худек, А.Д.Д. Мани // XV Jubileuszowe Miedzynarodowe Sympozjum Geotechnika- Geotechnics, 2012. Materialy Naukowe (Польша). Gliwice-Ustron 23-26 pazdziernika, 2012. – С. 151-163.

17. Самедов А.М. Определение контактных давлений под подошвой фундаментной балки переменной жесткости на основании с переменным коэффициентом постели / А.М. Самедов, А.Д.Д. Мани, М.А. Сницар // Материалы VII международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», Тула-Донецк-Минск, 1-2 ноября 2012 г. – С. 5 – 16.

## АНОТАЦІЯ

**Агадавуді Джольфаі Мані. Формування динамічно стійких ґрунтових масивів в основі підземних споруд. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – геотехнічна і гірнична механіка. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України – Київ 2017.

Дисертацію присвячено посиленню масиву під спорудами, основи яких складаються зі слабких або структурно-нестійких ґрунтів в підстилаючих шарах в умовах динамічних впливів.

Теоретично і експериментально досліджено фізико-механічні характеристики слабких і структурно-нестійких ґрунтів при статичних та динамічних навантаженнях. Запропоновано способи формування піддатливих віброізолюючих масивів, як основ споруд, що забезпечують міцність, стійкість і довговічність при статичних і динамічних навантаженнях.

Запропоновано ефективні способи забезпечення вібростійкості масиву під подошвою споруди, основа якої складається з міцного ґрунту малої товщини і підстилаючого шару структурно-нестійкого ґрунту, основанийі на використанні енергії вибуху при оптимальній вологості, та на підсиленні основи зі слабого і структурно-нестійкого підстилаючого шару за допомогою збільшення розмірів подошви споруди.

Ключові слова: слабкий структурно-нестійкий ґрунт, намиті піски, динамічна жорсткість, піддатливі і віброізолюючі основи, напруження, деформація, підземні споруди.

## АННОТАЦІЯ

**Агадавуди Джольфаи Мани. Формирование динамически устойчивых грунтовых массивов в основании подземных сооружений. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – геотехническая и горная механика. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины – Киев 2017.

Диссертация посвящена усилению массива под сооружениями, где важную роль играют основания, состоящие из слабых структурно-неустойчивых грунтов или подстилающих слоев из этих грунтов, подверженные статическим и динамическим воздействиям.

Теоретически и экспериментально в лабораторных и полевых условиях исследованы физико-механические, прочностные и деформационные показатели слабых и структурно-неустойчивых грунтов при статических и динамических нагрузках.

Изучены основные источники динамических нагрузок от технологического оборудования, которые через несущие элементы сооружений передаются в грунтовый массив под сооружением. Эти динамические нагрузки приводят к возникновению и развитию недопустимых деформаций, таких как: просадки, перемещения, разжижение, выпирание в сторону под подошвой сооружений и т.д.

Определены динамические характеристики массива, состоящего из слабых и структурно-неустойчивых грунтов: динамическая жесткость, внутреннее трение, рассеивание энергии циклической деформации, свободное затухание колебаний, коэффициенты поглощения энергии, развитие деформации в упругой стадии и за пределами упругой стадии, логарифмический декремент колебаний, амплитуды и

частоты собственных и вынужденных колебаний и другие параметры, которые используются при расчетах на устойчивость массивов, состоящих из указанных грунтов при действии разных видов динамических нагрузок, а также от совместных статических и динамических нагрузок - вибрационных, импульсивных кратковременных, многократно-повторных и т.д., которые создают гармонические и негармонические колебания как в элементах конструкций, так и в массивах грунтов, играющих роль оснований сооружений.

Рекомендованы способы формирования виброизолирующих систем, обеспечивающих устойчивость сооружений при действии различных видов динамических нагрузок и предложены уравнения поступательных колебаний от источников динамических нагрузок к виброизолирующим системам. Определены параметры, входящие в уравнения поступательных колебаний в случае перехода от пружин к реальным слабым и структурно-неустойчивым грунтам, на примере просадочного, илистого и заторфованного грунта.

На основе теоретических обоснований рекомендовано заменить виброизолирующие системы щебеночно-песчаным послойно уплотненным виброизолированно-податливым основанием, которое позволяет обеспечить устойчивость, прочность и долговечность сооружений при эксплуатации.

Предложены наиболее эффективные и надежные способы уплотнения массивов, состоящих из слабых и структурно-неустойчивых грунтов с подстилающими слоями из этих грунтов взрывом с оптимальной влажностью  $W_{\text{опт}}=0,14-0,16$ .

Разработан метод укрепления оснований увеличением размеров подошвы сооружения в случае, когда основание состоит из слоя прочного грунта малой толщины (примерно 0,5-2,0 м) непосредственно под подошвой сооружения, когда под этим слоем имеется подстилающий слой из структурно-неустойчивых грунтов. В этих случаях рекомендуется использовать условное расчетное давление подстилающего слоя при определении предварительных размеров подошвы фундамента или сооружения, а затем с помощью расчетных давлений уточнить размеры подошвы сооружений (или фундаментов). Данный метод позволяет обеспечить увеличение размеров подошвы сооружений, которые уменьшают передачу давлений на прочный грунт под подошвой сооружений малой толщины. В свою очередь, этот малый слой резко уменьшает передающиеся давления на подстилающий слой.

Ключевые слова: намытые пески, просадочные глины, слабые структурно-неустойчивые грунты, динамическая жесткость, податливые и виброизолирующие основания, подземные сооружения, напряжения, деформации, взрыв, уширение подошвы сооружений.

## ABSTRACT

### **Ahadavudi Dzholfai Mani. Forming of dynamically stable ground-based arrays in underground structures – Manuscript.**

Thesis for the scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.15.09 - geotechnical and mining mechanics. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” – Kyiv 2017.

Thesis is devoted to strengthening the array under the facilities, where they play the role of the foundations, which are composed of soft rock or underlying layers to structurally unstable soils subject to dynamic influences.

Physical and mechanical properties of soft rocks and structurally unstable soils under static and dynamic loads were theoretically and experimentally investigated. The methods of forming compliant anti-vibration arrays as the bases of structures, providing strength, stability and durability under static and dynamic loads were considered (proposed).

The most efficient and reliable methods for sealing the array under the sole structures composed of durable soil and the small thickness of the underlying layer of structurally unstable soils hydro-explosion and optimum humidity were offered.

The ways to strengthen the bases of weak rocks and structurally unstable underlying layers by increasing the size of the sole construction were recommended.

*Keywords:* array of soft rock or structurally unstable soils, dynamic stiffness, compliance and anti-vibration bases, underground constructions, stress, strain, alluvial sands.





Агадавуді Джольфаі Мані

**Формування динамічно стійких ґрунтових масивів в основі підземних споруд**

05.15.09 – Геотехнічна і гірничча механіка

(Автореферат)

Підписано до друку 10.02.2017р. Формат 60х90 1/16

Ум. друк. арк. 0,9. Обл-вид. арк. 0,9.

Наклад 100прим.