

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ»  
(ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ  
6.060101 «БУДІВНИЦТВО»)**

**12/24-2012-04**

Горлівка – 2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Директор АДІ ДВНЗ «Дон НТУ»  
М.М. Чальцев  
\_\_\_\_\_2012 р.

Кафедра «Будівництво та експлуатація автомобільних доріг»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ»  
(ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ ПІДГОТОВКИ  
6.060101 «БУДІВНИЦТВО»)**

**12/24-2012-04**

«РЕКОМЕНДОВАНО»  
Навчально-методична комісія  
факультету  
«Автомобільні дороги»  
Протокол № 7 від 16.03.2011 р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»  
Кафедра «Будівництво та  
експлуатація автомобільних  
доріг»  
Протокол № 6 від 9 .03.2011 р.

УДК 625.731(071)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія будівництва автомобільних доріг та аеродромів» (для студентів напряму підготовки 6.060101) [Електронний ресурс] / укладачі: Т.В.Скрипник, Л.М.Третьякова – Електрон.дані – Горлівка: ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ, 2012. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): 12 см. – Системні вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; WINDOWS 98/2000/NT/XP; MS Word 97-2000. – Назва з титул. екрану.

Вказівки відповідають вимогам робочої програми дисципліни «Технологія будівництва автомобільних доріг та аеродромів».

Методичні вказівки призначено для виконання лабораторних робіт і містять сучасні методи визначення фізико-механічних властивостей ґрунтів земляного полотна, обґрунтування технологічних режимів при будівництві автомобільних доріг.

Дані вказівки призначено для студентів бакалаврів напряму підготовки 6.060101 «Будівництво» факультету «Автомобільні дороги».

Укладачі:

Скрипник Т.В., к.т.н., доц.  
Третьякова Л.М.

Відповідальний за випуск:

Герасименко В.Г., к.т.н., доц.  
каф.«Будівництво та експлуатація  
автомобільних доріг

Рецензент:

Гончаренко В.В., к.т.н., доц.  
каф.«Проектування доріг і  
штучних споруд»

© Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»  
Автомобільно-дорожній інститут, 2012.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1	
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ ТА СТАНДАРТНОЇ	
ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ ПРИЛАДОМ «СОЮЗДОРНДІ».....	6
1.1 Загальні теоретичні відомості.....	6
1.2 Необхідне обладнання.....	6
1.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	7
1.3.1 Підготовка проби.....	7
1.3.2 Порядок виконання роботи.....	7
1.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	8
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2	
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ	
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДИНАМІЧНИМ ЗОНДУВАННЯМ.....	10
2.1 Загальні теоретичні відомості.....	10
2.2 Необхідне обладнання.....	12
2.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	13
2.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	14
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3	
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ	
МЕТОДОМ ПЕНЕТРАЦІЇ (ПРИСКОРЕНИЙ КОНТРОЛЬ).....	14
3.1 Загальні теоретичні відомості.....	14
3.2 Необхідне обладнання.....	14
3.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	16
3.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	20
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4	
ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	
ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ПКЗ-1.....	20
4.1 Загальні теоретичні відомості.....	20
4.2 Необхідне обладнання.....	22
4.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	23
4.3.1 Статичне зондування.....	23
4.3.2 Обертальний зріз.....	25
4.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	26
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5	
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВЗАЄМОДІЇ ҐРУНТУ ТА	
ГЕОСИНТЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ.....	31
5.1 Загальні теоретичні відомості.....	31
5.2 Необхідне обладнання.....	32
5.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	32
5.3.1 Порядок виконання роботи.....	32

5.3.2 Обробка результатів.....	34
5.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	36
6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6	
ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕННЯ.....	37
6.1 Загальні теоретичні відомості.....	37
6.2 Необхідне обладнання.....	38
6.3 Методика виконання лабораторної роботи.....	38
6.3.1 Порядок виконання роботи.....	38
6.3.2 Обробка результатів випробувань.....	39
6.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи.....	42
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	44

## ВСТУП

До задач технології будівництва автомобільних доріг відносять: застосування на практиці ефективних виробничих процесів; відібрання з різних способів виконання робіт оптимального способу з точки зору урахування конкретних умов, часу та місця його виконання. У результаті розв'язання цих задач повинна досягатись найбільша ефективність використання трудових і матеріальних ресурсів при мінімізації грошових витрат. Метою втілення запропонованих рішень є будівництво надійної і довговічної інженерної споруди (автомобільної дороги) із заданими експлуатаційними і споживчими властивостями, які в подальшому слід підтримувати у працездатному стані експлуатаційними заходами.

Методичні вказівки відповідають робочій програмі дисципліни «Технологія будівництва автомобільних доріг та аеродромів» та призначені для студентів бакалаврів напряму підготовки 6.060101 – «Будівництво» факультету «Автомобільні дороги».

Метою проведення лабораторних робіт є закріплення теоретичного матеріалу шляхом експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей ґрунтів земляного полотна; визначення параметрів, які формують технологічні режими окремих операцій та фактори, що на них впливають.

Задачею методичних вказівок до виконання лабораторних робіт є закріплення знань студентів та придбання практичних навичок у наступних напрямках технології дорожніх робіт – для обґрунтування технологічних режимів будівництва автомобільних доріг, при проведенні операційного контролю технологічних режимів та якості робіт при приймальному контролі транспортно-експлуатаційних показників інженерної споруди.

Кожна із включених у методичні вказівки лабораторних робіт має загальні теоретичні відомості, вимоги до обладнання, методик виконання роботи та порядок оформлення звіту.

Матеріалу методичних вказівок достатньо для виконання лабораторних робіт без використання інших джерел. У разі потреби розширення знань за окремими питаннями студенти можуть використовувати інші літературно-довідкові джерела, які приведені у переліку рекомендованої літератури.

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ ТА СТАНДАРТНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ ПРИЛАДОМ «СОЮЗДОРНДІ»

Мета роботи: визначення величини оптимальної вологості й стандартної щільності ґрунту приладом «СоюздорНДІ» методом стандартного ущільнення

### 1.1 Загальні теоретичні відомості

Визначення оптимальної вологості і щільності, а також операційний контроль за ущільненням є обов'язковими під час робіт по зведенню насипу та шарів дорожніх основ, остаточної обробки земляного полотна та робіт по стабілізації ґрунтів у дорожніх покриттях та основах.

Для забезпечення стійкості земляного полотна та запобігання осадки ґрунт потрібно ущільнювати при оптимальній вологості до максимальної щільності кістяка. З підвищенням вологості до визначеної межі щільність ґрунту збільшується при однаковій витраті ущільнюючих зусиль. При подальшому збільшенні вологості щільність ґрунту зменшується.

Вологість, яка відповідає найбільшій щільності ґрунту при найменшій витраті зусиль на ущільнення, називається оптимальною вологістю  $W_0$ . Щільність ґрунту, що відповідає оптимальній вологості, називається оптимальною щільністю та виражається через оптимальну об'ємну масу кістяка ґрунту  $\rho_0$ .

Із збільшенням ущільнюючого зусилля оптимальна вологість знижується, а оптимальна щільність збільшується. Однак це явище відбувається до визначеного моменту, після якого застосування навіть надважких котків не приводить до помітного зниження оптимальної вологості та збільшення оптимальної щільності ґрунту.

Особливості зміни щільності ґрунтів з різною вологістю при ущільненні повинні враховуватися під час будівництва земляного полотна автомобільних доріг. Для того щоб ґрунт був ущільнений до оптимальної щільності при мінімальній витраті зусиль на ущільнення, його необхідно привести технологічними заходами до оптимальної вологості.

### 1.2 Необхідне обладнання

Прилад «СоюздорНДІ» для стандартного ущільнення; електронні ваги; бюкси для визначення вологості: металева чашка для готування суміші; совок та ґрунтовий ніж; сито з отворами 5 мм; мірний циліндр; сушильна шафа.

Прилад (рис. 1.1) складається з наступних частин: підстаканника (1), роз'ємного циліндра (2) обсягом  $1000 \text{ см}^3$ , що встановлюється в підстаканник, зверху на роз'ємний циліндр встановлюється насадний циліндр (3). Циліндр та підстаканник скріплюються гвинтами (8) і (9). Для ущільнення ґрунту використовується ущільнювач, що являє собою вантаж (4) масою 2,5 кг, який падає по стрижню (6) з висоти 30 см на диск (7). Висота падіння вантажу фіксується гвинтом (5).

### 1.3 Методика виконання лабораторної роботи

#### 1.3.1 Підготовка проби

У металеву чашку насипають середню пробу повітряно-сухого ґрунту в кількості 3,0 – 3,5 кг, просіяного через сито з отвором 5 мм.

Пробу ґрунту зволожують водою в кількості: для супісків – 100 мл, для суглинків – 200 мл, для глин – 250 мл.

Ґрунт ретельно перемішують до рівномірного зволоження; беруть з нього в дві бюкси середню пробу не менше 10 г для визначення вологості. Інший ґрунт в чашці накривають вологою тканиною.

#### 1.3.2 Порядок виконання роботи

Зважують з точністю до 1 г нижній роз'ємний циліндр приладу з підстаканником (маса  $Q_1$ ). На роз'ємний циліндр встановлюють насадний циліндр і висипають у форму зволожений ґрунт порціями по  $1/3$  від обсягу підготовленого ґрунту. Кожну порцію ущільнюють падінням вантажу масою 2,5 кг з висоти 30 см. Кількість ударів на кожну порцію призначають з розрахунку  $1/3$  від загального числа ударів, прийнятого для даного ґрунту. Для стандартного ущільнення  $1000 \text{ см}^3$  ґрунту приймають: для пісків – 65 ударів; для супісків – 75 ударів; для суглинків – 90 ударів; для глин – 120 ударів. Після ущільнення першої порції завантажують другу та третю, ущільнюючи щораз по  $1/3$  від загальної кількості ударів.

Закінчивши ущільнення, знімають насадний циліндр, надлишок ґрунту обережно зрізують ґрунтовим ножом врівень з краями роз'ємного циліндра. Зважують нижню склянку з ґрунтом і підстаканником (маса  $Q_2$ ) і визначають об'ємну масу ґрунту  $\rho_a$  за формулою:



$$\rho_{\text{в}} = \frac{Q_2 - Q_1}{V}, \text{ г/см}^3, \quad (1.1)$$

де  $V$  – об'єм роз'ємного циліндра, рівний  $1000 \text{ см}^3$ .

Далі ґрунт переносять назад у чашку, розминають, додають ще  $60 \text{ см}^3$  води і ретельно перемішують, знову беруть у дві бюкси середню пробу на вологість і дослід повторюється.

Операції з ущільнення ґрунту зі збільшенням його вологості на 2% слід повторювати доти, поки об'ємна маса стане зменшуватися, а ґрунт придбає м'яко-пластичний стан, перестане ущільнюватися та при ударах вантажу буде вичавлюватися з приладу.

Ґрунт у бюксах висушують протягом 4 годин у сушильній шафі при температурі  $150^\circ \text{C}$ , зважують та визначають вологість  $W$  за формулою

$$W = \frac{g_{\text{в}} - g_{\text{с}}}{g_{\text{с}} - g_{\text{о}}} \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

де  $g_{\text{в}}$  – маса бюкси з вологим ґрунтом, г;

$g_{\text{с}}$  – маса бюкси з сухим ґрунтом, г;

$g_{\text{о}}$  – маса порожньої бюкси, г.

Для кожних значень об'ємної маси і вологості (середнє з двох визначених) обчислюють об'ємну масу кістяка  $\rho_{\text{к}}$  за формулою

$$\rho_{\text{к}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{1 + 0,01W}, \text{ г/см}^3, \quad (1.3)$$

На підставі отриманих даних будують криву залежності щільності кістяка від вологості ґрунту (рис. 1.2). За максимальну щільність кістяка ґрунту приймають найбільше значення щільності кістяка, а відповідну цій щільності вологість приймають за оптимальну.

#### 1.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про виконання лабораторної роботи повинні бути вказані: назва та мета лабораторної роботи; схема та короткий опис приладу; порядок виконання роботи; необхідні розрахунки у формі журналу (табл.1.1); наведені висновки про отримані результати.

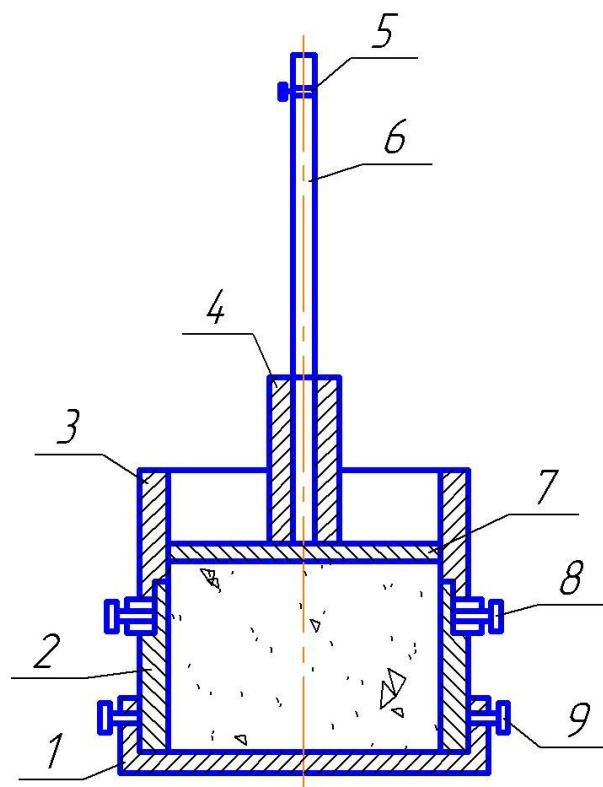


Рисунок 1.1 – Прилад «СоюздорНДІ» для стандартного ущільнення

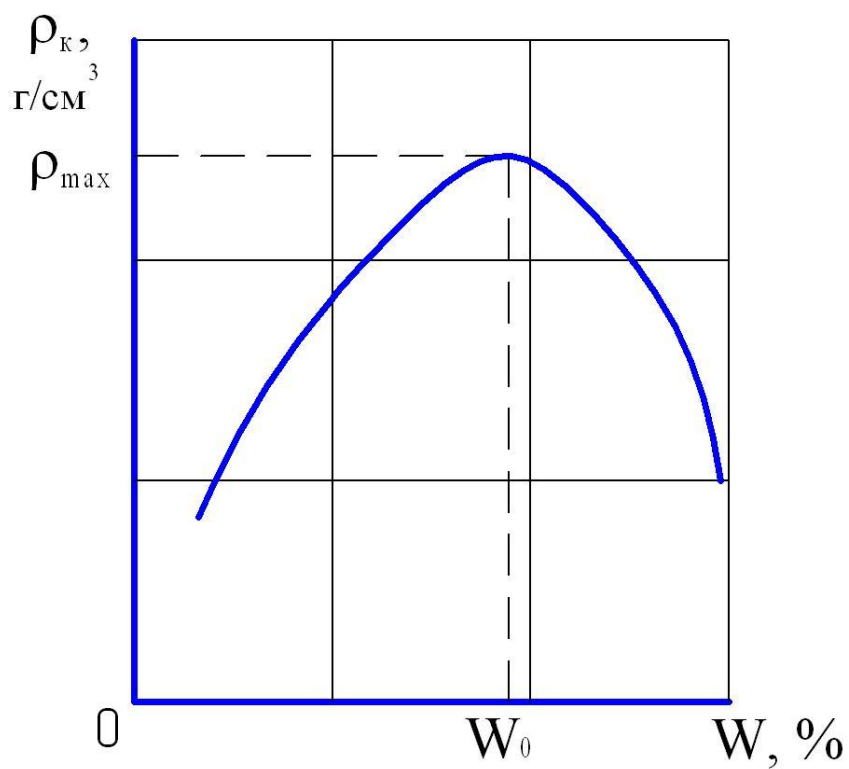


Рисунок 1.2 – Графік залежності щільності ґрунту від його вологості при стандартному ущільненні

Таблиця 1.1 – Журнал визначення вологості ґрунту й об'ємної маси зразків ґрунту

Визначення вологості					Визначення об'ємної маси				
Номер б'юкси	Маса б'юкси, г			Вологість, %	Маса роз'ємної склянки з підстаканником, Q <sub>1</sub> , Г	Маса склянки з підстаканником і ґрунтом, Q <sub>2</sub> , Г	Маса ґрунту Q=Q <sub>2</sub> -Q <sub>1</sub> , Г	Об'ємна маса ґрунту ρ <sub>в</sub> , Г/см <sup>3</sup>	Об'ємна маса кістяка ρ <sub>к</sub> , Г/см <sup>3</sup>
	Порожньої, g <sub>0</sub>	з вологим ґрунтом g <sub>в</sub>	з сухим ґрунтом, g <sub>с</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДИНАМІЧНИМ ЗОНДУВАННЯМ

Мета роботи: визначення коефіцієнта ущільнення ґрунтів земляного полотна динамічним зондуванням.

### 2.1 Загальні теоретичні відомості

Методом динамічного зондування визначають властивості ґрунтів та матеріалів шарів дорожнього одягу шляхом виміру опору зануреного зонда під дією зростаючої кількості додатків ударного навантаження.

Найпростіші переносні динамічні зонди, що застосовують у дорожньому будівництві, можна розділити на дві групи – забивні (ударник СоюздорНДІ) та ударні (стрижень, що падає під дією сили ваги з визначеної висоти).

Показником опору шарів матеріалу зануреному зонду, при забиванні його серією послідовних ударів падаючого молота, служить умовний динамічний опір ґрунту Р<sub>д</sub>, який визначається за формулою:

$$P_d = \frac{A \cdot K \cdot \Phi \cdot n}{h}, \text{ Н/м}^2 \quad (2.1)$$

де Р<sub>д</sub> – умовний динамічний опір ґрунту;

А – питома енергія зондування, обумовлена залежно від маси і висоти падіння молота і маси самого зонда, Н/м;

$K$  – коефіцієнт обліку втрат енергії при ударі молота об ковалдо;  
 $\Phi$  – коефіцієнт обліку втрат енергії на тертя штанги об ґрунт,  
 при  $h$  до 1,5 м;  $\Phi = 1,0$ ;  
 при  $h$  від 1,5 до 3 м;  $\Phi = 0,92$ ;  
 $n$  – число ударів молота в заставі (визначена кількість ударів);  
 $h$  – глибина занурення зонду в матеріал конструктивного шару, м.  
 Питома енергія зондування характеризує вплив на наконечник зонда та визначається за формулою:

$$A = \frac{n \cdot Q_2 \cdot H}{S \cdot h}, \text{ Н/м}, \quad (2.2)$$

де  $Q_2$  – вага вантажу, Н;  
 $n$  – число ударів вантажу в заставі;  
 $H$  – висота падіння вантажу, м;  
 $S$  – площа поперечного профілю конуса, м<sup>2</sup>;  
 $h$  – глибина занурення зонду в матеріал конструктивного шару, м.  
 Коефіцієнт врахування витрат енергії удару визначається за формулою:

$$K = \frac{Q_2 + e^2 \cdot Q_3}{Q_2 + Q_3} \quad (2.3)$$

де  $Q_2$  – вага вантажу, Н;  
 $Q_3$  – вага зонда без вантажу, Н;  
 $e$  – коефіцієнт врахування пружного удару,  $e = 0,56$ .

При динамічному зондуванні прилад встановлюють вертикально з опиранням наконечника на ґрунт чи матеріал шару. Після серії ударів виймають робочий наконечник з шару та фіксують глибину його занурення від визначеного числа ударів. Для контролю вертикальності в приладі динамічного контролю (ПДК) передбачена шкала плоского рівня.

За методикою СоюздорНДІ вимірюють щільність у межах одного технологічного шару. Загальна кількість ударів – 16. За методом СоюздорНДІ основний результативний показник – середнє сумарне осідання за установку в 10 ударів (з 4-го – 14 удар).

Прилад БелдорНДІ призначено для контролю щільності всієї товщини насипу. Для цього може знадобитися кілька установок приладу з кількістю ударів для кожної від 1 до 20 і глибиною занурення 10-15 см. Рекомендується при цьому зберігати постійну частоту ударів (у середньому – один удар за 2 с).

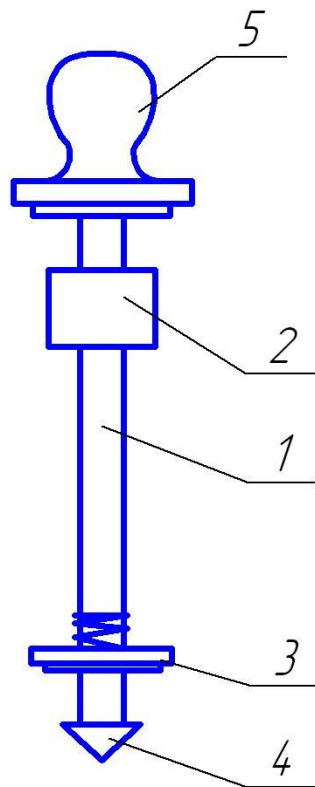
БелдорНДІ рекомендує використовувати показник умовного динамічного опору  $R_d$  ґрунту.

Перед виконанням дослідів необхідно:

1. Співвіднести можливості приладу з товщиною шару.
2. Визначити достатню кількість і частоту ударів для визначення коефіцієнта ущільнення конкретного шару.

## 2.2 Необхідне обладнання

Моделі з ґрунтом для контролю ступеня ущільнення різних шарів земляного полотна та шарів дорожнього одягу.



1 – напрямна; 2 – вантаж; 3 – ковалдо; 4 – з'ємний конусоподібний наконечник (кут загострення 30°, 20°, 15°); 5 – рукоятка

Рисунок 2.1 – Зонд для визначення ступеня ущільнення шарів земляного полотна

Технічна характеристика приладу:

Маса вантажу, кг	1,0
Висота падіння вантажу, мм	500
Кут при вершині конуса, град	30, 20, 15
Маса приладу, кг	2,5
Обслуговуючий персонал, чел.	1
Час на один вимір, хв.	1-2

### 2.3 Методика виконання лабораторної роботи

Під час визначення ступеня ущільнення шару з глинистих ґрунтів необхідно виконати наступне:

1. Вирівняти поверхню глинистого шару.
2. Улаштувати шпару діаметром 0,1м та глибиною 0,25 м.
3. На дно шпари варто встановити штамп трамбовки і доущільнити ґрунт на дні 40 ударами вантажу.
4. Укласти вийнятий зі шпари ґрунт знову у шпару шарами по 0,05 м, ущільнюючи кожний 40 ударами вантажу трамбування.
5. На штангу приладу накрутити наконечник з кутом заточення 30°. Прилад встановити вертикально на глинистий шар.
6. Вантаж вагою 1 кг скинути 10 разів, при цьому визначити величину заглиблення конуса в глинистий шар за нанесеною шкалою.

Для розшифровки отриманих даних застосовують перекладну таблицю, що дозволяє визначити на робочому місці коефіцієнт ущільнення глинистого шару (табл. 2.1).

Під час визначення ступеня ущільнення ґрунтобітумних, ґрунтоцементних, шлакових та асфальтобетонних шарів необхідно:

1. Вирівняти чи очистити поверхню шару.
2. На штангу приладу накрутити конусоподібний наконечник з кутом заточення 20° – для іспиту ґрунтобітумних і ґрунтоцементних шарів, 15° – для асфальтобетонних шарів та шлакової основи.
3. Прилад установити вертикально на конструктивний шар.
4. Виконати забивання наконечника серією з 10 безупинних ударів (1 удар за 2 с), після чого визначити величину заглиблення наконечника в шар за нанесеною шкалою.
5. За величиною заглиблення наконечника визначити коефіцієнт ущільнення конструктивного шару за табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення коефіцієнта ущільнення ґрунтів у польових умовах

Види ґрунтів	Кут заточення	Коефіцієнт ущільнення							
		0,75	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	0,98	1,0
Глина	30°	18	15	12	10	6	5	4	3
Суглинок	30°	18	16	14	12	10	8	6	4
Супіски	30°	20	18	16	14	10	8	7	6
Ґрунтоцемент	20°	9	8	7,6	7,2	6,5	5,6	5,0	4,5
Ґрунтобітум	20°	10	9,2	8,3	7,5	7,2	6,4	6,0	5,5
Асфальтобетон	15°	5	4,6	4,2	3,0	2,6	2,4	2,0	1,5

Прилад має точність вимірів 5 %, простий у роботі і доступний інженерно-технічним працівникам дрозньо-будівельних і ремонтних організацій, дозволяє уникнути браку при зведенні земляного полотна і дорожнього одягу у всіх кліматичних зонах України.

#### 2.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про виконання лабораторної роботи повинні бути вказані: назва і мета лабораторної роботи, короткий опис приладу, порядок виконання роботи, наведені результати дослідів та висновки про ступінь ущільнення конструктивного шару.

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ПЕНЕТРАЦІЇ (ПРИСКОРЕНИЙ КОНТРОЛЬ)

Мета роботи: ознайомлення студентів з методом прискореного контролю щільності ґрунту при використанні метода пенетрації.

#### 3.1 Загальні теоретичні відомості

Пенетраційний метод – це метод визначення щільності ґрунтів шляхом зміни їхнього питомого опору прониканню (задавлюванню) наконечників різних форм і розмірів, при якому глибина  $h$  занурення конуса не перевищує його висоти.

Пенетрометри статичної дії призначено для прискореного контролю якості щільності ґрунту земляного полотна. Галузь застосування – немерзлі дрібні та дрібні пилюваті піски, суглинки та глини всіх різновидів за наявності в них не більше 15 % включень крупніше 2 мм зі щільністю 0,8...1,02 від максимальної щільності сухого ґрунту та вологостю 0,85...1,2 від оптимальної вологості, які визначаються методом стандартного ущільнення.

До переваг пенетраційного методу слід віднести:

- результати іспитів, які є об'єктивною характеристикою щільності ґрунтів;
- високу швидкість проведення іспитів (менше 2–5 хв);
- простоту конструкції пенетрометра та малу масу (до 500–600 г).

#### 3.2 Необхідне обладнання

Мікропенетрометр МВ–2 призначено для контролю щільності ґрунту

в польових та лабораторних умовах.

Одним з основних робочих елементів приладу МВ-2 (рис. 3.1) є змінний конус (12) із заданим кутом при вершині, що шпилькою (10) жорстко з'єднаний зі штоком (6). Надягнута на шток пружина (4) забезпечує необхідне зусилля penetрації. Прилад зібраний у корпусі, що складається з круглої опорної плити (11), ручки (1) та дюралюмінієвої трубки (5). Циліндричний движок (9) з оргскла з круговою чорною рисою та кільцем (7) забезпечує відлік глибини занурення конуса в зразок за міліметровою шкалою, яка нанесена на зовнішній поверхні конуса. У початковому положенні риска на движку збігається з кінцевим розподілом шкали, при зануренні конуса в зразок шпилька своїм кінцем, пропущеним у поздовжній, зміщає движок на відповідну відстань.

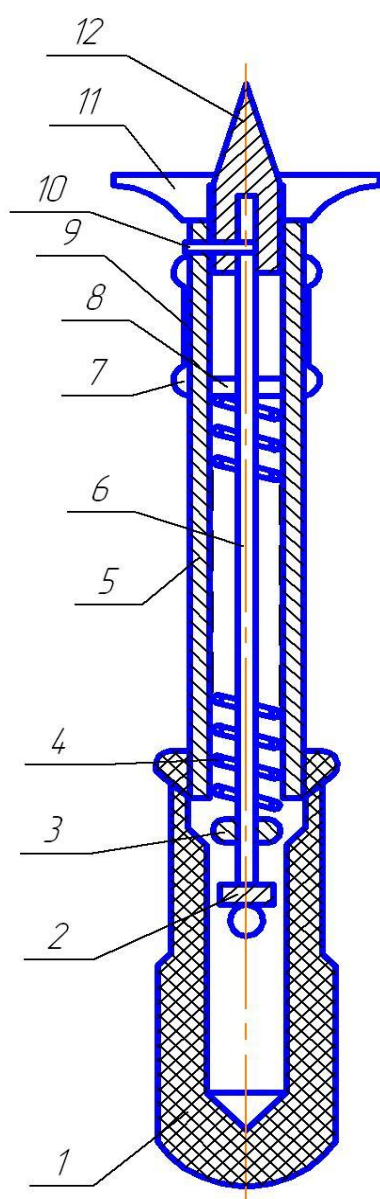


Рисунок 3.1–  
Микропенетрометр  
МВ – 2

Сила натягу пружини регулюється пристроєм, що складається з натискного гвинта (2), гайки (3) і втулки (8). Втулка (9) встановлена в проточці корпусу (5). Пружина (4) прикріплена до хвостиків гайки (3) і втулки (8). Шток (6) упирається своїм кінцевим заточенням у натискний гвинт (2). Конус (12) і шток (6) з'єднуються шпилькою (10), кінці якої пропущені через поздовжній проріз у корпусі.

У початковому положенні риска на движку збігається з кінцевим розподілом шкали, нанесеної на зовнішній поверхні корпусу. При зануренні конуса в зразок шпилька (10) зміщає движок (9) на відповідну відстань.

Основні конструктивні особливості приладу МВ-2 зводяться до наступних:

- зусилля, що передається на конус, визначається тільки параметрами пружини і не залежить від зусилля, під впливом якого опорна плита приладу притискається до зразка. Результати penetрації практично не залежать від індивідуальних якостей спостерігача;

- застосування опорної плити дозволяє підвищити точність визначення глибини занурення конуса;

- шляхом обертання гайки на натискному гвинті легко регулюється початковий натяг пружини, що забезпечує можливість використання приладу МВ-2 для контролю щільності як досить пухких пісків з  $\rho=0,01$  –



0,1 кг/см<sup>2</sup>, так і значно переущільнених глин з  $\rho=15-20$  кг/см<sup>2</sup>.

### 3.3 Методика виконання лабораторної роботи

Для визначення глибини занурення конуса опорна плита приладу МВ–2 притискається до вирівняної поверхні зразка ґрунту. Під дією зусилля пружини конус вдавлюється в зразок до встановлення рівноваги між зовнішнім навантаженням та силами реактивного опору породи по бічній поверхні конуса.

Глибина занурення конуса відраховується за міліметровою шкалою з точністю 0,25 або 0,50 мм за допомогою кругової риски на движку.

Для одержання необхідної точності визначення глибини занурення конуса роблять низку рівнобіжних визначень.

За глибину занурення конуса приймається середнє арифметичне з виміряних величин  $h_i$  визначене за формулою:

$$h = \frac{\sum h_i}{n}, \text{ мм}, \quad (3.1)$$

де  $h_i$  – глибина занурення конуса пенетрометра, мм;

$n$  – кількість однотипних вимірів  $h_i$ .

За обміряною середньою глибиною занурення конуса  $h$  визначається чисельна характеристика опору ґрунту penetрації – граничний опір penetрації  $R_o$ , який визначається за формулою:

$$R = 0,1 \cdot \alpha \frac{P_m - K \cdot h}{h^2}, \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

де  $P_m$  – максимальне напруження пружини, 2,55 кг;

$K$  – постійний параметр пружини, 0,65 кг/см;

$\alpha$  – константа конуса,  $\alpha=1,11$  (для конуса з кутом  $30^\circ$ ) і  $\alpha=2,00$  (для конуса з кутом  $17^\circ 40'$ ).

Зіставлення результатів рівнобіжних занурень конуса з постійним кутом при вершині можливо робити з використанням величин питомого граничного опору penetрації  $R$ , який визначається за формулою:

$$R = \frac{R_o}{\alpha} = 0,1 \cdot \frac{P_m - K \cdot h}{h^2}, \text{ МПа} \quad (3.3)$$

Глинисті ґрунти випробовують методом двох penetрацій. Першу penetрацію здійснюють для оцінки фактичного стану покладеного в насип

грунту, другу – після додаткового ущільнення ґрунту навантаженням, яке еквівалентне навантаженню стандартного ущільнення.

Додаткове ущільнення ґрунту виконують спеціальною трамбовкою за 12 ударів по одному сліду (параметри трамбування: діаметр штампа 155 мм, маса вантажу 5 кг, висота падіння вантажу 50 см). Для додаткового ущільнення можна також користуватися трамбовкою приладу стандартного ущільнення СоюздорНДІ, кількість ударів у цьому випадку дорівнює 40.

За результатами двох penetрацій та формулою (3.3) обчислюють питомий опір penetрації; для першої penetрації  $R_1$  та для другої  $R_2$ .

Наближена оцінка консистенції  $B$  глинистих ґрунтів визначається за графіком (рис. 3.2) шляхом зіставлення відповідних значень  $R$  та глибини занурення конуса penetрометра  $h_1$  без додаткового ущільнення. На графіку нанесено величини питомого граничного опору penetрації, що відповідає межі плинності та розкочування.

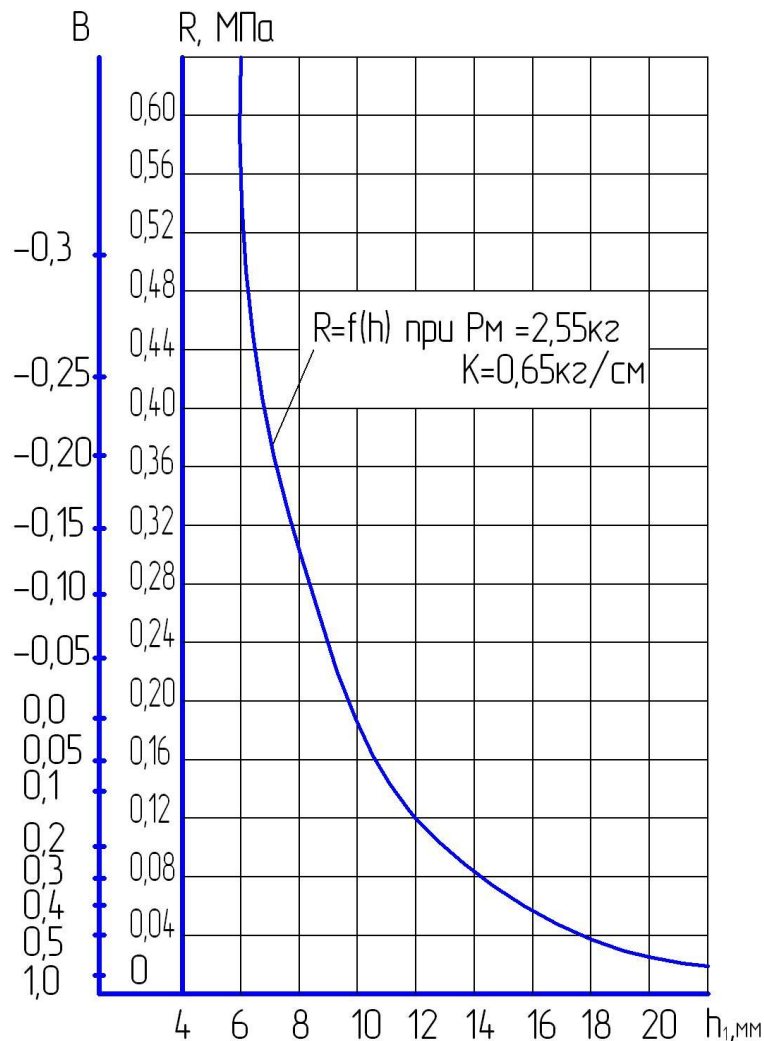


Рисунок 3.2 – Графік знаходження опору зсуву  $R$  та консистенції глинистого ґрунту  $B$

Коефіцієнт ущільнення глинистих ґрунтів за результатами іспитів методом двох пенетрацій визначають за номограмою (рис. 3.3). За величиною додатка  $R_2/R_1$  (нижня горизонтальна вісь) проектуємо перпендикуляр на ламану лінію, що відповідає отриманому значенню консистенції ґрунту  $B$  та знаходимо фактичний коефіцієнт ущільнення ґрунту  $K_y$  (рис. 3.3).

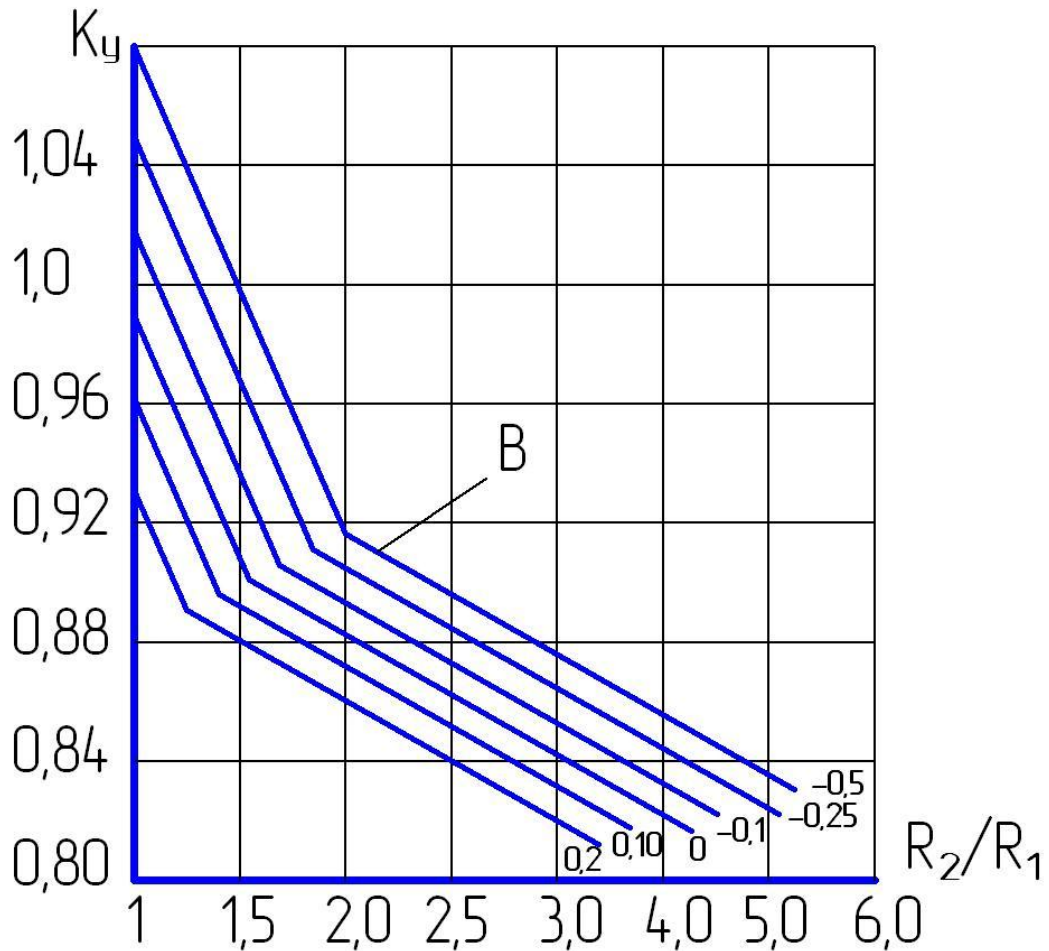
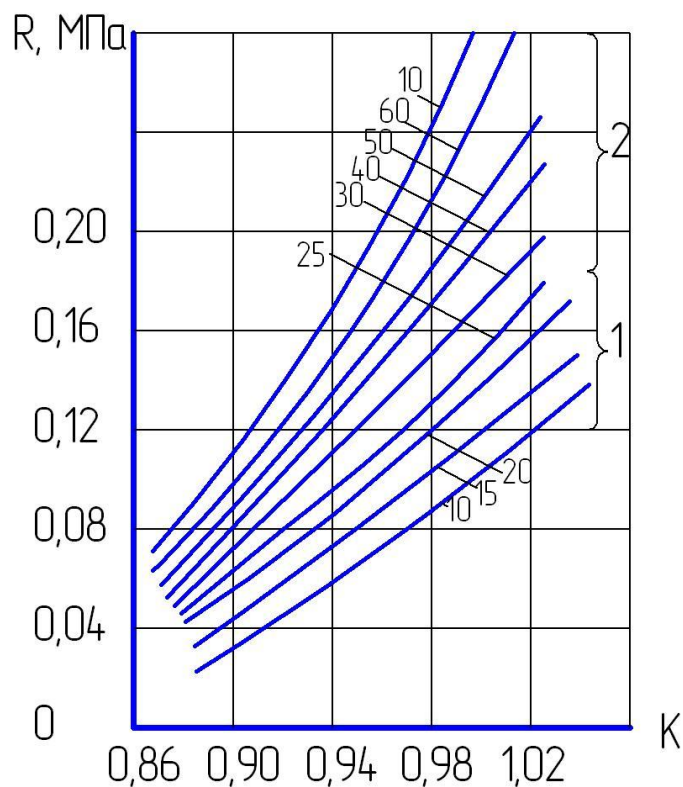


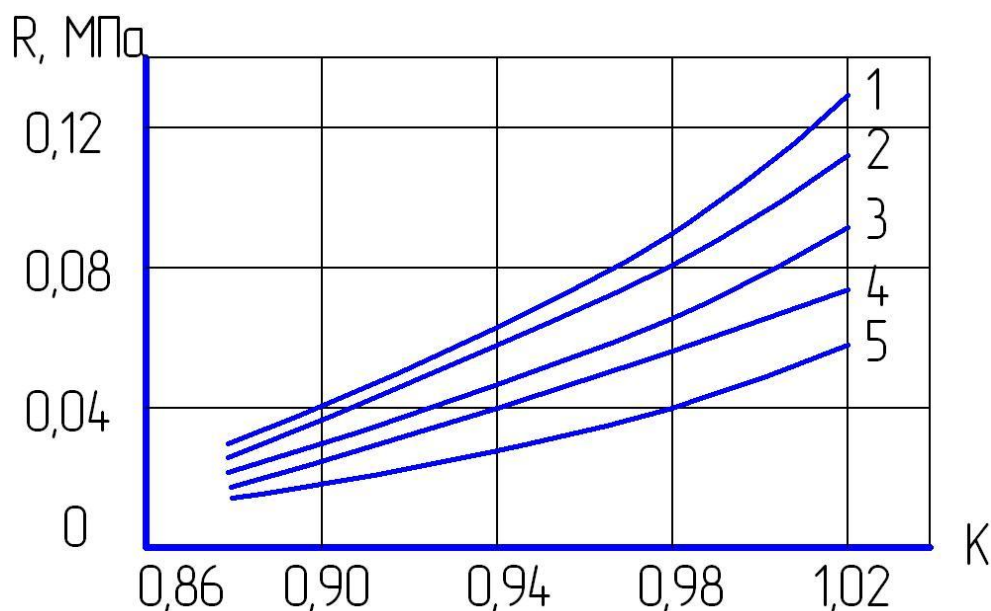
Рисунок 3.3 – Номограма для визначення коефіцієнта ущільнення глинистих ґрунтів

Коефіцієнт ущільнення піщаних ґрунтів визначають за номограмами (рис. 3.4, 3.5) залежно від питомого опору пенетрації  $R$  і особливостей гранулометричного складу ґрунту. Останні характеризуються: для пісків середньої крупності – коефіцієнтом неоднорідності  $i = d_{60}/d_{10}$  ( $d_{60}$  і  $d_{10}$  – діаметри часток, що відповідають ординатам 10 % і 60 % на кумулятивній кривій гранулометричного складу), для пилуватих і дрібних пісків – змістом часток діаметром менше 0,1 мм.



1 – пілуваті піски; 2 – дрібні піски

Рисунок 3.4 – Номограма для визначення коефіцієнта ущільнення пілуватих та дрібних пісків пенетраційним методом (цифри на кривих – процентний вміст часток, що пройшли через сито діаметром 0,1 мм)



1–4 – піски середньої крупності відповідно з  $i = 4; 3,5; 3,0; 2,5$ ;

5 – піски великі для будь-яких значень  $i$  піски середньої крупності з  $i = 2$

Рисунок 3.5 – Номограма для визначення коефіцієнта ущільнення великих та середньої крупності пісків пенетраційним методом

### 3.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про виконання лабораторної роботи повинно бути вказано: назву та мету лабораторної роботи, схему та короткий опис конструкції мікропенетрометра МВ–2, наведено необхідні розрахунки у формі журналу (табл.3.1) та висновки про отриманні результати.

Таблиця 3.1 – Журнал обробки результатів іспитів методом пенетрації

Характеристика пенетраційних дослідів	№ вдавлення	глибина занурення конуса, $h_3$	середня глибина занурення конуса, $h$	питомий опір пенетрації $R$ , МПа	коефіцієнт ущільнення ґрунту $\hat{E}_\delta$
глинисті ґрунти					
Без додаткового ущільнення	1			$R_1 =$	$K =$
	2				
	3				
Після додаткового ущільнення	1			$R_2 =$	
	2				
	3				
піщані ґрунти					
Без додаткового ущільнення	1			$R =$	$K =$
	2				
	3				

## 4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДУ ПКЗ-1

Мета роботи: визначення опору зминання та зсуву ґрунтів методом статичного зондування й оберտального зрізу за допомогою приладу ПКЗ–1.

### 4.1 Загальні теоретичні відомості

Польовий прилад «Щільномір-крильчатка» ПКЗ–1 призначено для польових прискорених визначень міцносних показників м'яких ґрунтів шляхом статичного зондування й обертального зрізу. Прилад може бути використаний також у лабораторних умовах для дослідження м'яких порід порушеної або непорушеної структури. При цьому порода розташовується в контейнері або циліндричних обоймах. На рис. 4.1 наведено схематичне зображення приладу.

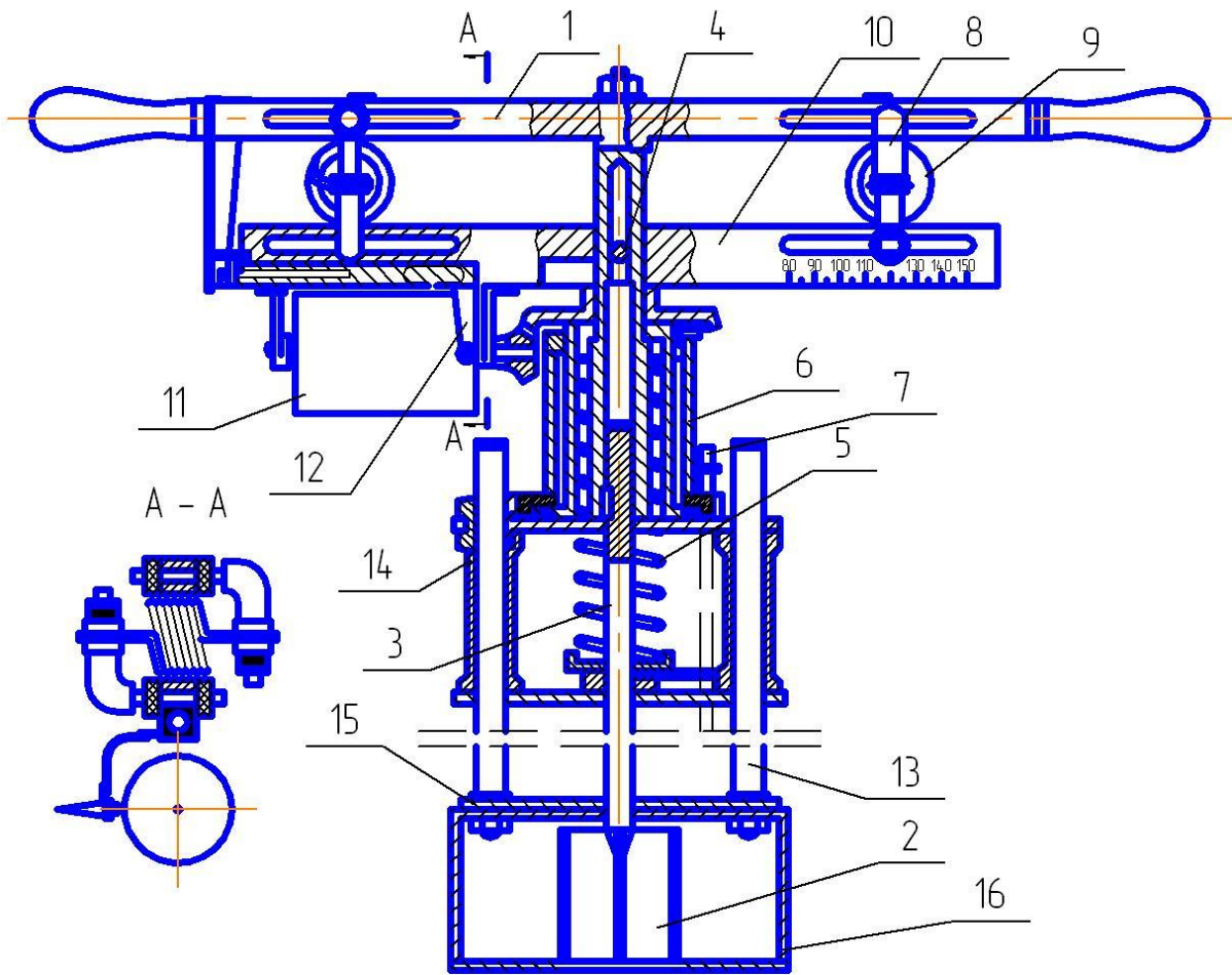


Рисунок 4.1 – Схема внутрішньої конструкції приладу ПКЗ–1

При визначенні опору ґрунту змінанню за рахунок зусилля випробувача, яке прикладене до рукоятки (1) зверху вниз, поступово занурюємо в ґрунт конусний наконечник (2) та центральний стрижень (3). При цьому зусилля від рукоятки (1) на стрижень (3) та конусний наконечник передається через головну втулку (4) та динамометричну пружину (5).

Лінійна величина стиску пружини пропорційна опору ґрунту змінанню при зануренні в нього конусного наконечника та відображається на паперовій стрічці вертикального барабана (6) пером самописця (7).

Глибина занурення приладу в ґрунт пропорційна куту повороту барабана. При одночасному переміщенні пера та повороту барабана на паперовій стрічці викреслюється графік залежності опору змінанню ґрунту від глибини занурення наконечника.

Визначення опору ґрунту зрізу може бути проведено на будь-якій припустимій глибині за умови припинення занурення приладу в ґрунт та зняття прикладених до нього вертикальних навантажень. Для цього

зусиллям випробувача здійснюють поворот рукоятки (1). Від рукоятки зусилля передається через дві пари кронштейнів (8), дві динамометричні горизонтальні пружини (9) та важіль (10) для передачі крутільного моменту на центральний стрижень. При цьому слід повернути лопатевий наконечник (крильчатку) (2), зробити ним зріз ґрунту по циліндричній і торцевій площинах в межах дії лопатевого наконечника. Запис зусиль повороту лопатевого наконечника та кутів його повороту в ґрунті здійснюється пером самописця на горизонтальному барабані (11) у вигляді графіка залежності зазначених величин.

Таким чином, поворот лопатевого наконечника в ґрунті буде пропорційний повороту барабана (11). При одночасному русі пера (12) і повороті барабана (11) на паперовій стрічці викреслюється графік залежності опору ґрунту зрізу від ступеня його деформації.

Прилад має два комплекти горизонтальних динамометричних пружин і три вертикальні взаємозамінні пружини, розраховані на різні граничні зусилля стиску.

Горизонтальні пружини встановлено з можливістю переміщення уздовж щілинних прорізів від вісі приладу до периферії і навпаки, у результаті чого на графіку на барабані (11) змінюється масштаб величини розтягування пружин, а отже, масштаб опору ґрунту зрізу. Для визначення масштабу прилад необхідно заздалегідь відтарувати на спеціальному тарувальному пристосуванні, де кожному положенню пружин повинна відповідати окрема крива тарувального графіку. Фіксування положень кронштейнів із пружинами щодо вісі приладу виконується за допомогою покажчиків, прикріплених до кронштейна та лінійних шкал, нанесених на верхніх гранях рукоятки (1), бічних гранях важеля (10).

Від зміни відстані пружин від вісі приладу під час визначення обертального моменту збільшується або зменшується лінійна деформація (розтягування) пружин, створюючи на них більше або менше навантаження. При цьому відповідно змінюються межі виміру приладу та точність його показань. Ця особливість приладу робить його універсальним при дослідженні ґрунтів у широких межах зміни міцності – від слабких обводнених піщаних та глинистих порід, до досить щільних мергелястих глин.

#### 4.2 Необхідне обладнання

Польовий прилад «Щільномір-крильчатка» ПКЗ–1, порода, яка розташована в контейнері або циліндричних обоймах.

У комплект приладу входять: дві динамометричні пружини на граничне зусилля розтягування 200 Н та дві на 400 Н; три динамометричні пружини на граничне зусилля стиску: перша – 200 Н, друга – 600 Н та третя



– 900 Н; конусний штамп із площею основи  $5 \text{ см}^2$  та кутом конусності  $30^\circ$ ; два конусно-лопатних наконечники з площею основи  $5 \text{ см}^2$  та кутом конусності  $30^\circ$ , один із яких має висоту лопат 75 мм, діаметр – 47 мм, а другий – висоту 110 мм, діаметр – 73 мм.

Масштаби лінійних та кутових величин приладу: на вертикальному самописі – глибина занурення 1:2,5; на горизонтальному самописі –  $1^\circ$  повороту лопати в ґрунті відповідає 2 мм оберта барабану.

#### 4.3 Методика виконання лабораторної роботи

##### 4.3.1 Статичне зондування

Сутність статичного зондування полягає в тім, що зусиллям випробувача в ґрунт вдавлюється конусний штамп малих розмірів на глибину, що перевищує висоту конусного наконечника. Вимір зусиль вдавлення здійснюється за допомогою динамометра. Міцносний показник виражається у відношенні зусилля вдавлення до площі штампа.

За умови занурення конусного штампа на глибину, що перевищує його висоту, опір зминанню ґрунту при статичному зондуванні  $q$  визначається за формулою:

$$q = \frac{P \cdot 10^{-2}}{S}, \text{ МПа}, \quad (4.1)$$

де  $P$  – зусилля вдавлення конуса, Н;

$S$  – площа основи конуса,  $\text{см}^2$ .

Після проведення дослідження ґрунту на статичне зондування потрібна розшифровка отриманих на самописцях графіків та аналітичні розрахунки для одержання міцносних характеристик ґрунтів.

При вдавленні конуса в ґрунт на вертикальному барабані самописцем викреслюється графік зміни опору зминанню ґрунту зі зміною глибини занурення наконечника. На графіку глибина занурення наконечника відображається в масштабі 1:2,5 за напрямком оберту барабана (по вісі абсцис). Користуючись цим масштабом на вісь абсцис графіка, отриманого в процесі дослідження, наносяться відрізки, пропорційні глибині занурення конуса, та визначається положення точки, що відповідає цій глибині. З цієї точки проводиться вгору пряма до перетинання з прямою, нахиленою під кутом  $68^\circ$  до осі абсцис. Даний кут визначено конструктивними особливостями приладу та зазначеним масштабом. Через точку перетинання проводиться пряма паралельно вісі абсцис до перетинання з віссю ординат. Ордината показує лінійну величину стиску динамометричної пружини (тобто відхилення пера самописця, мм).



За допомогою знайденої величини на тарувальному графіку (рис.4.2), що відповідає встановленій динамометричній пружині, визначаємо зусилля занурення наконечника Р.

За формулою (4.1) визначається опір ґрунту зминанню.

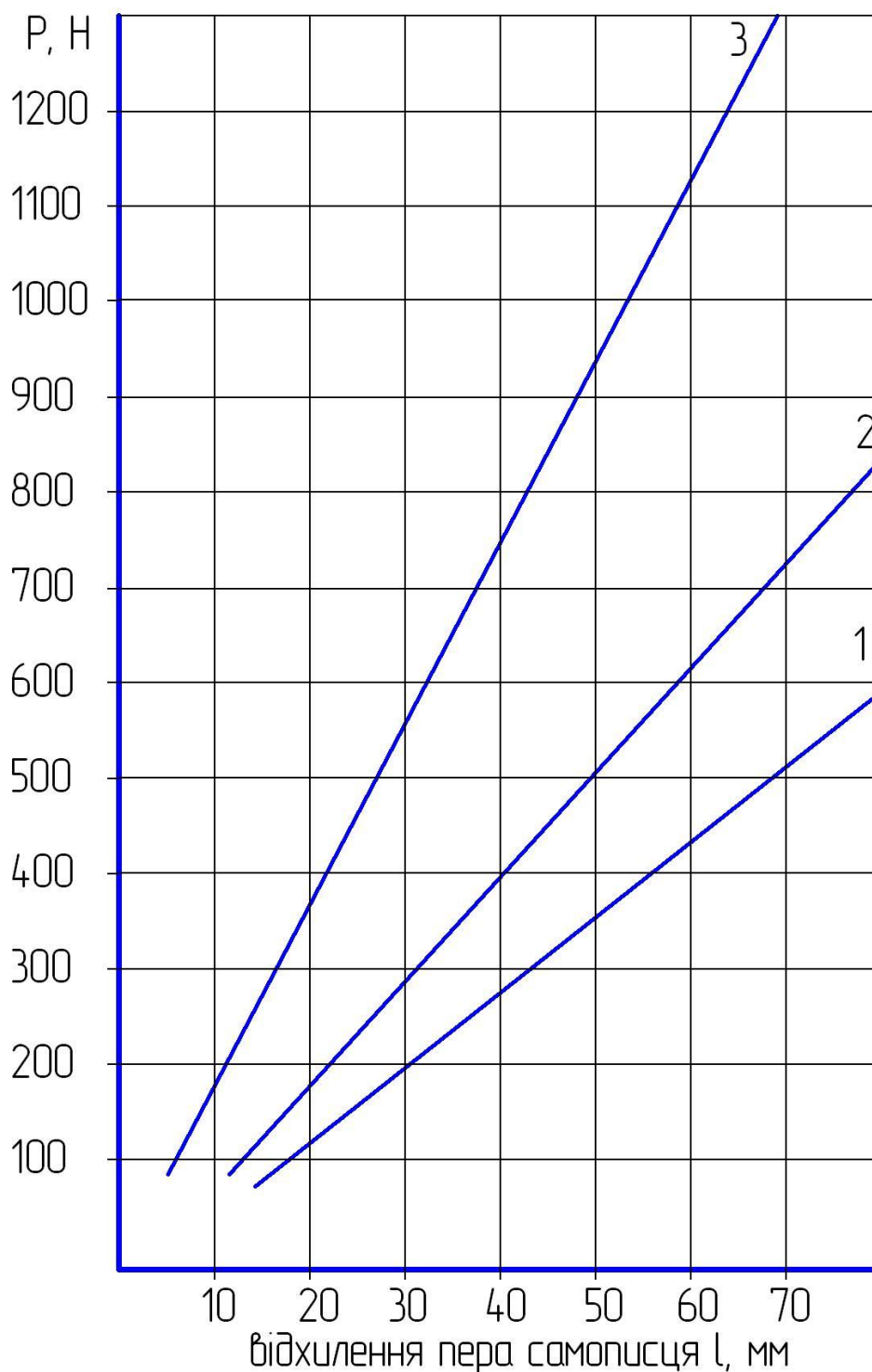


Рисунок 4.2 – Графіки відхилення пера самописця для вертикальних пружин №1, 2, 3

### 4.3.2 Обертальний зріз

Визначення опору зсуву шляхом обертального зрізу полягає в тому, що в досліджуваній ґрунт спочатку занурюється, а потім повертається чотирилопатний наконечник (крильчатка).

При цьому вирізується ґрунтовий циліндр, що відповідає формі та розмірам крильчатки. Відношення зусилля повертання лопат до площі зрізу (бічної поверхні циліндра) характеризує опір ґрунту зсуву.

Опір ґрунту при обертальному зрізі  $\tau$  визначається за формулою

$$\tau = \frac{M \cdot 10^{-2}}{C}, \text{ МПа}, \quad (4.2)$$

де  $M$  – максимальний момент реактивного опору на лопатах, Н, см;

$C$  – константа крильчатки, що враховує висоту та зовнішній діаметр лопат, см<sup>3</sup>.

Константа крильчатки  $C$  становить статичний момент поверхні зрізу щодо вісі обертання та визначається наступними рівняннями:

– при зануренні крильчатки до збігу поверхні ґрунту з її верхніми гранями

$$C_1 = \frac{\pi d^2}{2} (d/6 + H); \quad (4.3)$$

– при зануренні крильчатки нижче поверхні ґрунту

$$C_2 = \frac{\pi d^2}{2} (d/3 + H), \quad (4.4)$$

де  $d$  – діаметр ґрунтового циліндра, який вирізається рівним діаметру крильчатки, см;

$H$  – висота лопат, яка дорівнює висоті ґрунтового циліндру, см.

Після проведення дослідження ґрунту на обертальний зріз потрібна розшифровка отриманих на самописцях графіків та аналітичні розрахунки для одержання міцносних характеристик ґрунтів.

При повороті крильчатки у ґрунті на горизонтальному барабані самописцем викреслюється графік зміни величини обертального моменту (по вісі ординат) зі зміною кута повороту крильчатки (по вісі абсцис).

За графіком визначається максимальне відхилення пера самописа

ордината  $l_{\max}$ , мм.

Користуючись зразками тарувальних графіків (рис. 4.3–4.6), які відповідають встановленим горизонтальним динамометричним пружинам, визначається обертальний момент  $M_{\max}$ , що відповідає значенню  $l_{\max}$ . При цьому на тарувальному графіку варто користуватися тою кривою, яка відповідає прийнятому в даному дослідженні положенню динамометричних пружин (відстань пружини від вісі приладу).

За формулою (4.2) визначається опір ґрунту обертальному зрізові.

Припустивши, що одержаний приладом опір обертальному зрізу дорівнює значенню зчеплення, за формулою Феленіуса (4.5) визначається несуча здатність ґрунту:

$$Q = 5,5 \cdot 10^2 \tau, \text{ МПа.} \quad (4.5)$$

#### 4.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про виконання лабораторної роботи повинні бути відображені: назва і мета лабораторної роботи; коротко описані прилад й устаткування; наведені графіки, отримані результати при статичному зондуванні й обертальному зрізі з їх обробкою, визначені опір зминанню ґрунту при статичному зондуванні  $q$  та опір ґрунту при обертальному зрізі  $\tau$ , несуча здатність ґрунту  $Q$ .

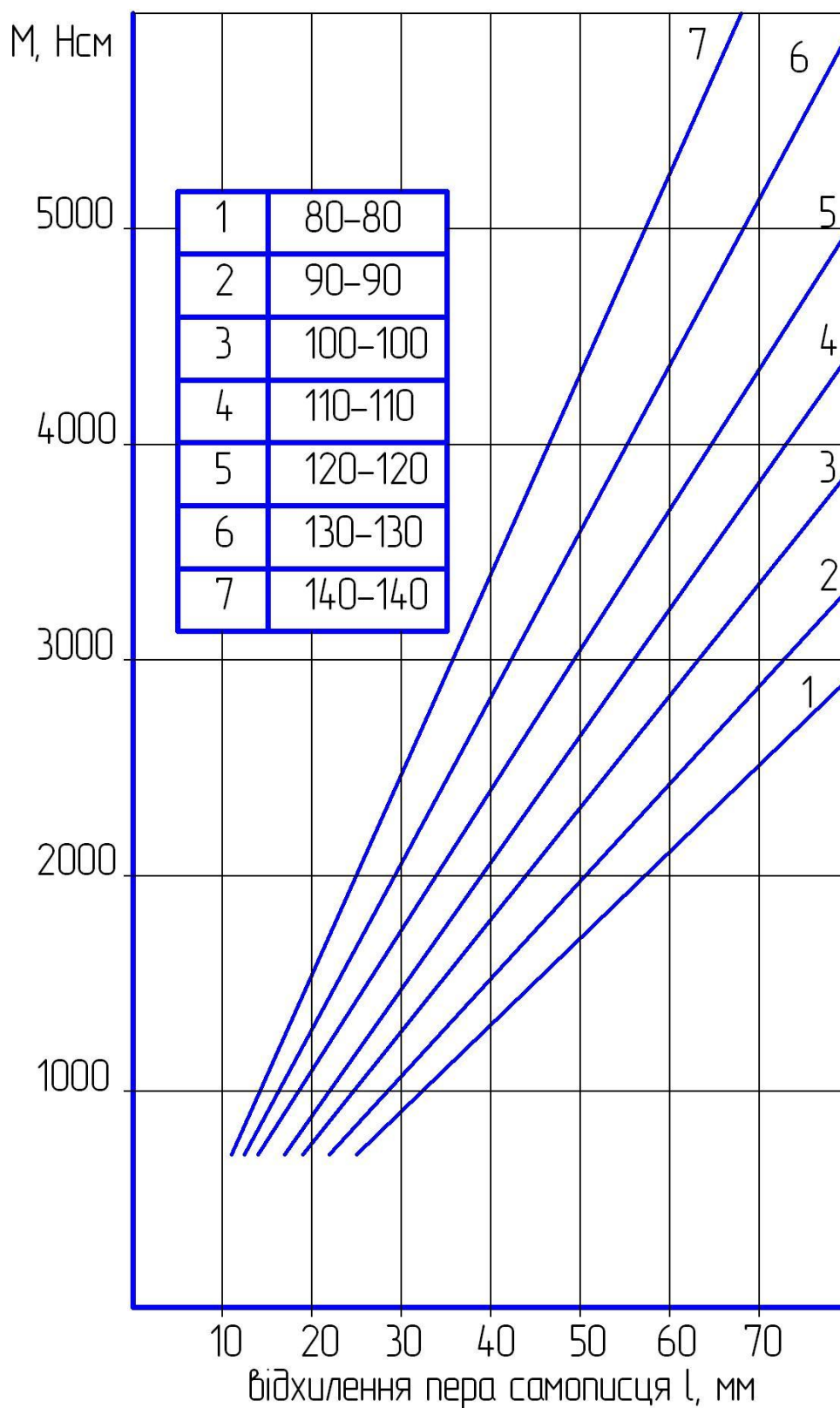


Рисунок 4.3 – Графіки відхилення пера самописця для горизонтальних пружин №1, 2

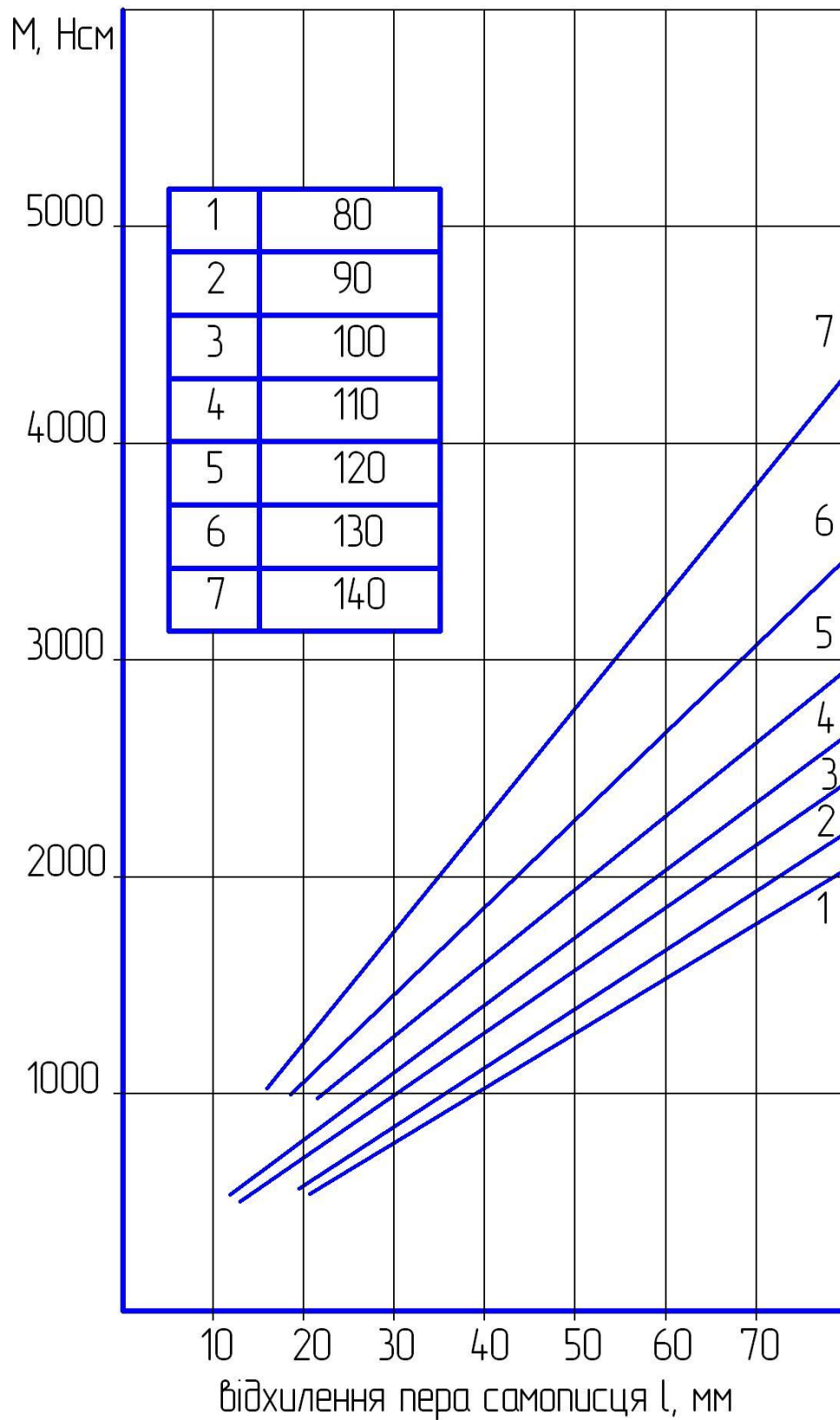


Рисунок 4.4 – Графік відхилення пера самописця для горизонтальної пружини № 1

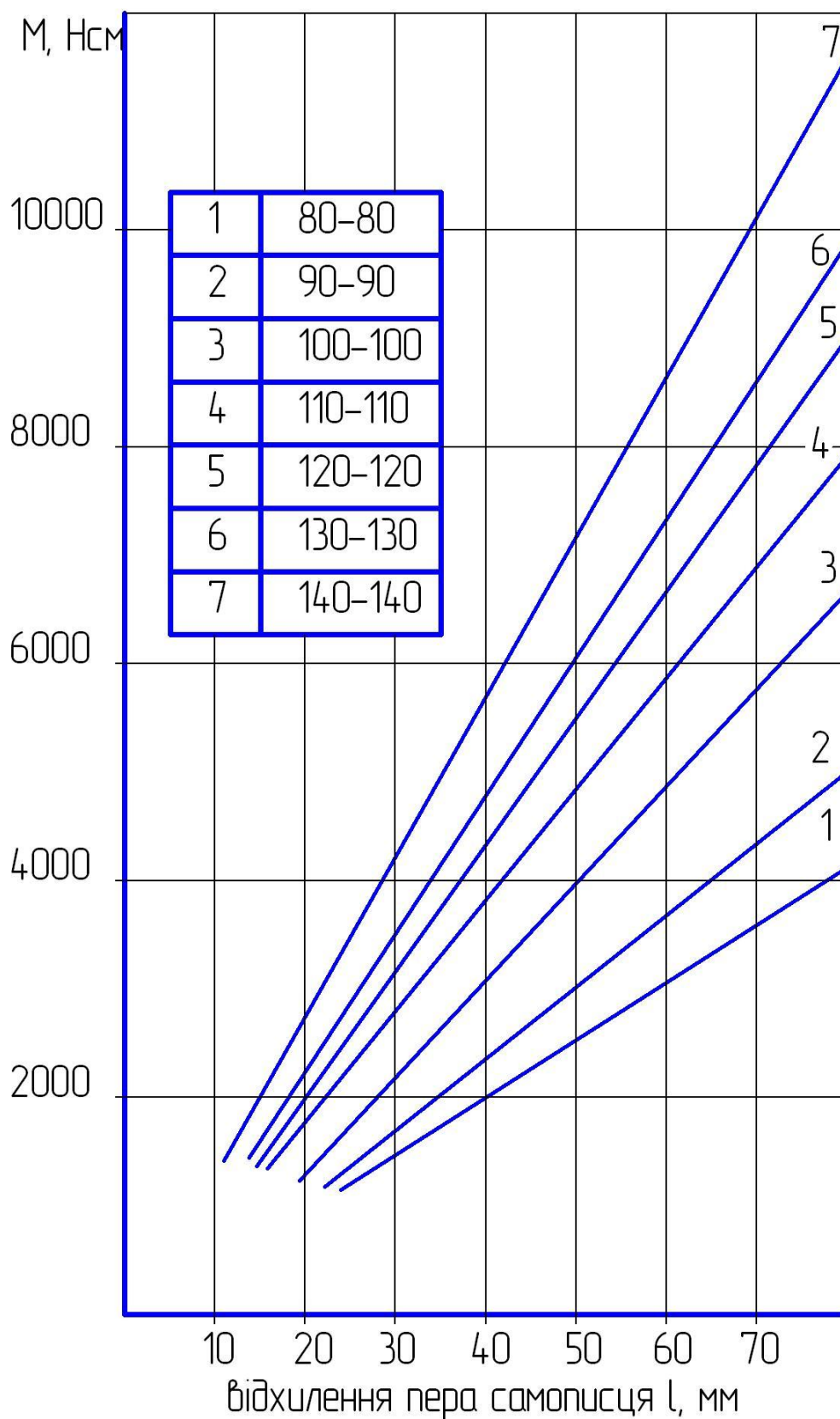


Рисунок 4.5 – Графік відхилення пера самописця для горизонтальних пружин № 3, 4

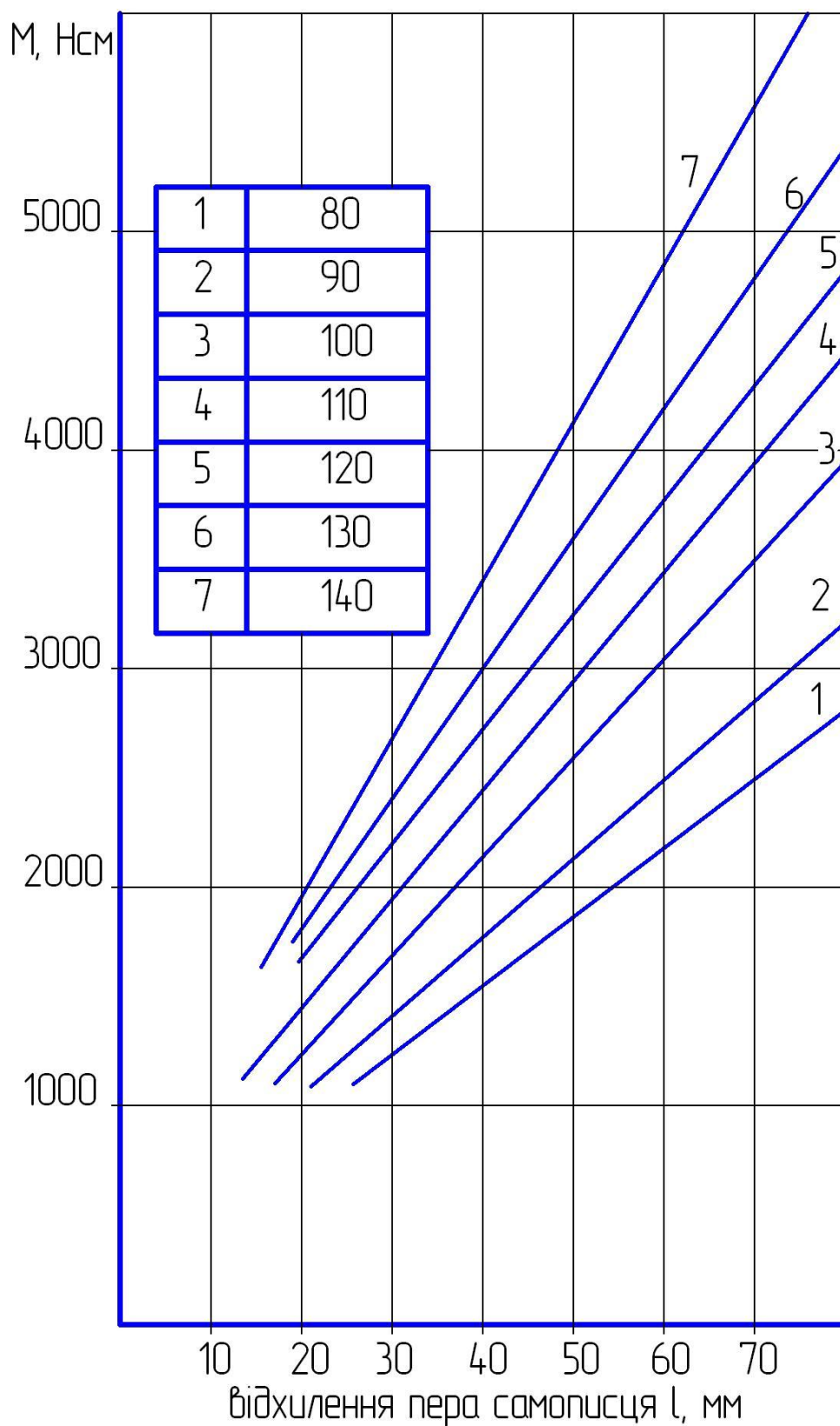


Рисунок 4.6 – Графік відхилення пера самописця для горизонтальної пружини № 3

## 5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВЗАЄМОДІЇ ҐРУНТУ ТА ГЕОСИНТЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

Мета роботи: визначити експериментальним шляхом коефіцієнт взаємодії ґрунту та геосинтетичного матеріалу.

### 5.1 Загальні теоретичні відомості

Зміцнення слабких основ земляного полотна, зведення насипів з укосами підвищеної крутості, будівництво армоґрунтових підпірних стін, посилення дорожнього одягу – ці задачі легко вирішуються за допомогою сучасних армованих матеріалів.

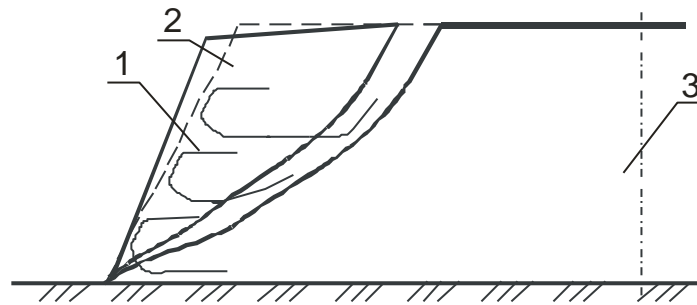
Працюючи в контактi з ґрунтом, армовані елементи перерозподіляють навантаження між ділянками конструкції, забезпечуючи передачу напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені. Ці елементи можуть бути виготовлені з різних матеріалів, які працюють на розтягнення: з металу, із залізобетону, структури зі скляних або полімерних волокон тощо.

Завдяки своїм унікальним властивостям найбільш придатними для армування ґрунтів є геосинтетичні матеріали: це висока міцність, стійкість до низьких температур та агресивної дії середовища, неохильність до корозії та гниття, низька повзучість (старіння).

Таким чином, армований ґрунт – композиційний матеріал, у якому скомбіновані характерні позитивні властивості двох різних матеріалів (ґрунту та геосинтетичного матеріалу), що дозволяє значно збільшити величини загальних міцностних характеристик цього матеріалу.

У дорожньому будівництві основною ґрунтовою спорудою є насипи. Основний вид деформацій (понад 70 %) це деформації узбіччя, розмиви та зсуви укосів насипу. Тому забезпечення стійкості укосів насипу за допомогою застосування геосинтетичних матеріалів є актуальною задачею. Як свідчить практика, існують випадки руйнування армоґрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армованого прошарку. Одним з видів втрати стійкості армованих укосів є висмикування армованого прошарку зі стійкої зони насипу (рис. 5.1).





1 – армований прошарок; 2 – призма обвалення; 3 – стійка зона насипу  
Рисунок 5.1 – Висмикування арматури із пасивної (стійкої) зони насипу

Для запобігання цього виду руйнування слід розрахувати необхідну довжину анкерування геосинтетичного прошарку. Довжина зони тертя, як і характер деформування прошарку в ґрунті, залежить від виду ґрунту, що оточує прошарок, вертикального навантаження. Можливість використання того чи іншого армованого синтетичного матеріалу знаходиться у прямій залежності від його міцнісних та деформованих властивостей (модуль деформації та розривне зусилля).

## 5.2 Необхідне обладнання

Стенд для визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геотекстилем при висмикуванні; ґрунт та геосинтетичний матеріал.

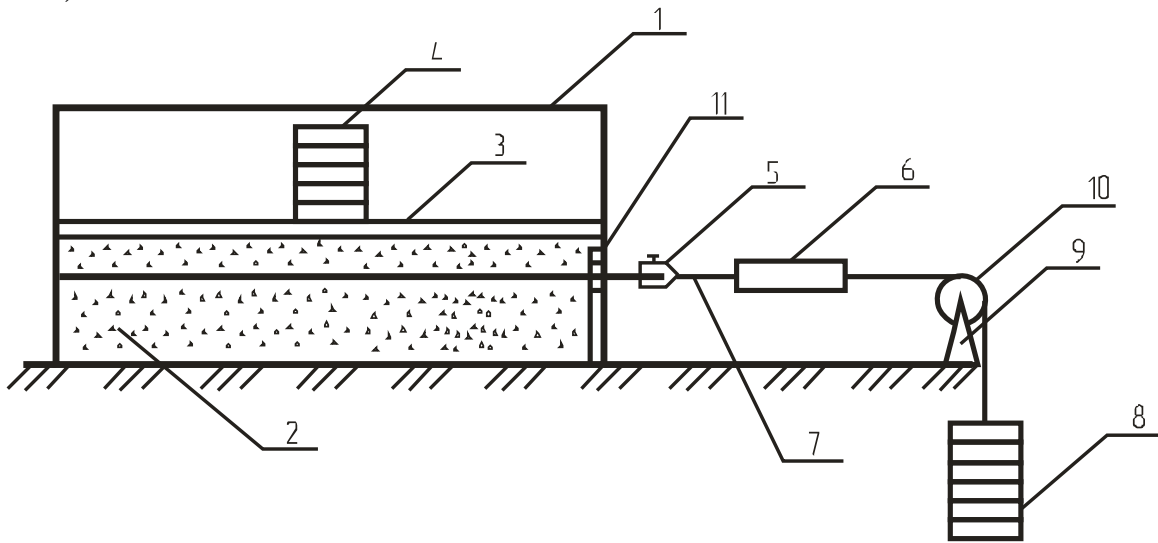
## 5.3 Методика виконання лабораторної роботи

### 5.3.1 Порядок виконання роботи

Прошарок геосинтетичного матеріалу шириною  $b$  (20мм) та довжиною  $l$  (200 мм) затиснено між двома шарами ґрунту з кутами внутрішнього тертя  $\phi_1$  і  $\phi_2$ . У даному випадку під довжиною прошарку розуміємо розмір  $u$  напрямку дії розтяжного зусилля під шириною прошарку – розмір  $v$  перпендикулярному напрямку його дії. Прошарок лежить на глибині  $h$  від поверхні ґрунту з питомою вагою  $\gamma$ . По поверхні ґрунту рівномірно розподілено навантаження з інтенсивністю  $q$ . Геосинтетичний матеріал характеризується модулем деформації  $E$ , товщиною  $\delta$ , розривним зусиллям  $R$ .

На дно коробка укладають ґрунт шарами по 2 см з трамбуванням до висоти прорізу  $u$  в коробі (95 мм від низу стенду), далі укладають геосинтетичний матеріал, потім шарами по 2 см з трамбуванням укладають ґрунт. Кінцем ущільнення слід вважати той момент, коли не залишається

сліду на поверхні ґрунту після падіння вантажу. Поверхню ґрунту вирівнюють та на неї встановлюють плиту з вагами. Нормальне навантаження слід витримувати для пісків – 5 хв, для суглинків – 30хв (рис. 5.2).



1 – корпус; 2 – ґрунт; 3 – плита; 4 – ваги; 5 – зчпний пристрій;  
6 – динамометр; 7 – трос; 8 – підвіска з вагами; 9 – кронштейн; 10 – шків;  
11 – передня стінка з прорізом

Рисунок 5.2 – Схема стенду для визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геотекстилем при висмикуванні

Результати дослідів із визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при висмикуванні зводяться до таблиці 5.1 та надаються у вигляді графіку (рис. 5.3).

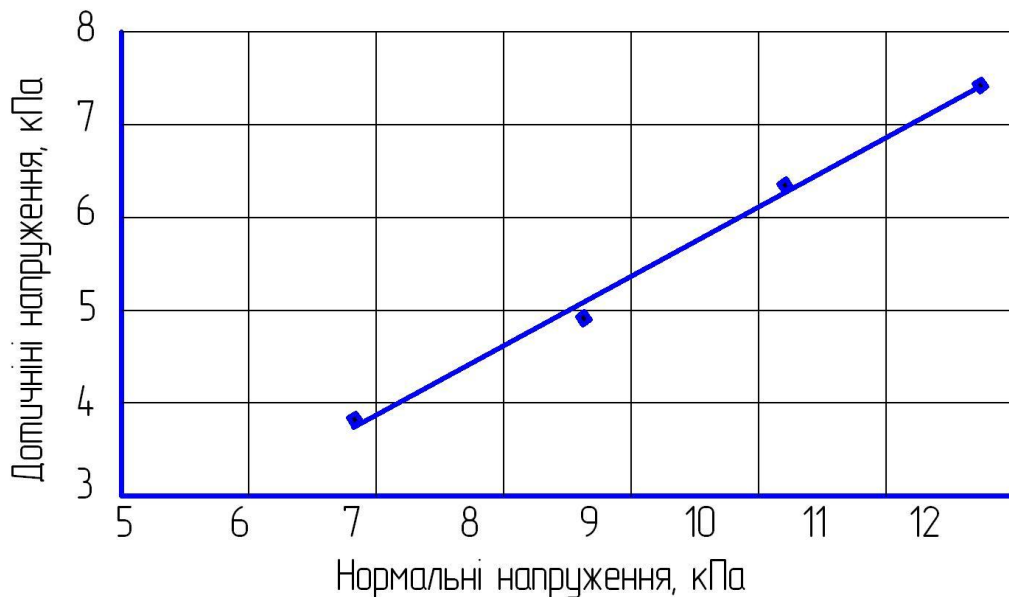


Рисунок 5.3 – Результати дослідів із визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при висмикуванні

### 5.3.2 Обробка результатів

У результаті досліджень отримуємо вертикальне навантаження та навантаження висмикування.

За виміряними у процесі дослідів значеннями дотичного і нормального навантажень обчислювали дотичні та нормальні напруження  $\tau$  та  $\sigma$  за формулами:

$$\tau = \frac{Q}{A}, \text{ Па}, \quad (5.1)$$

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ Па}, \quad (5.2)$$

де  $Q$  та  $F$  – відповідно дотична та нормальна сили до площини зрізу, Н;

$A$  – площа зрізу,  $\text{см}^2$ .

Таблиця 5.1 – Результати дослідів по визначенню коефіцієнта взаємодії суглинку з геотекстилем при висмикуванні

№ зразка	Вертикальне навантаження, Н	Висмикувальне зусилля, Н	Нормальне напруження, кПа	Дотичне напруження, кПа
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
4				

Значення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при висмикуванні  $f_{ds-vi}$  за результатами не менше трьох визначень потрібно визначати за формулою:

$$f_{ds-vi} = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^k (\sigma_i)^2}, \quad (5.3)$$

де  $k$  – кількість вимірів  $\tau$ ;

$\tau_i, \sigma_i$  – відповідно дотичне і нормальне напруження при  $i$ -му вимірюванні.

Розрахункове (нормативне) значення  $X_n$  всіх фізичних характеристик ґрунтів приймають рівними середньому арифметичному значенню  $\bar{O}$  за формулою:

$$X_n = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (5.4)$$

де  $n$  – кількість вимірювань характеристики;

$X_i$  – часткові значення характеристики.

Виконуємо статистичну перевірку для виключення можливих похибок. Перевіряємо, на виключення із результатів розрахунку, максимального і мінімального значення дослідних даних  $X_i$ , для яких виконується умова:

$$|X_n - X_i| > vS, \quad (5.5)$$

де  $v$  – статистичний критерій, для  $n = 4$   $v = 1,71$ ;

$S$  – середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - X_i)^2}. \quad (5.6)$$

Далі слід розрахувати коефіцієнт варіації  $V$  характеристики і показник точності її середнього значення  $\rho_\alpha$  за формулами (5.7) та (5.8):

$$V = \frac{S}{X_n}; \quad (5.7)$$

$$\rho_\alpha = \frac{t_\alpha \cdot V}{\sqrt{n}}, \quad (5.8)$$

де  $t_\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від заданої довірчої ймовірності і числа ступенів свободи, для ступенів свободи 3 і довірчої ймовірності 0,90;  $t_\alpha = 1,64$ .

Отриманий коефіцієнт варіації порівнюємо з допустимим для визначення механічної характеристики  $V_{\text{дон}} = 0,30$ .

Далі визначаємо коефіцієнт надійності за формулою:

$$\gamma_g = \frac{1}{1 \pm \rho_\alpha}. \quad (5.9)$$

Перед величиною  $\rho_\alpha$  приймаємо знак “мінус”, оскільки він забезпечує більше значення  $\gamma_g$ .

Розрахункове значення коефіцієнта проковзування ґрунту по геосинтетичному матеріалу визначаємо за формулою

$$X = \frac{X_n}{\gamma_g}. \quad (5.10)$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку коефіцієнта взаємодії суглинку з геотекстилем при висмикуванні  $f_{ds-B}$

П	$f_{ds-Bi}$	$f_{ds-Bn}$	S	V	$\rho_\alpha$	$\gamma_{f_{ds-B}}$	$f_{ds-B}$
1							
2							
3							
4							

#### 5.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про виконання лабораторної роботи повинні бути відображені: назва і мета лабораторної роботи; коротко описані прилад й устаткування; наведені графіки, отримані результати визначення коефіцієнта взаємодії суглинку з геотекстилем при висмикуванні з їх обробкою, визначені значення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при висмикуванні  $f_{ds-Bi}$  та їх статистична перевірка для виключення можливих похибок.

## 6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ УЩІЛЬНЕННЯ

Мета роботи: визначення вологості ґрунту земляного полотна прискореним методом, визначення товщини шару ущільнення та кількості числа проходів котка для одержання необхідної щільності ґрунту земляного полотна.

### 6.1 Загальні теоретичні відомості

Оптимальний вміст води у ґрунті знижує тертя між частками та агрегатами при ущільненні, зменшує енергомісткість виконання робіт, сприяє стійкості земляного полотна під час його експлуатації.

Поточний контроль вологості ґрунту потрібен для перевірки дотримання режиму вологості ґрунту при ущільненні (при оптимальній вологості), а також для обґрунтування необхідного дозволення ґрунту в кар'єрі.

Вологість ґрунту контролюється не менше одного разу в зміну в місці його отримання, після дозволення та обов'язково при опадах.

Прискорений метод визначення вологості ґрунту за методом Р.З. Порицького передбачає розрахунок вологості  $W$  за формулою:

$$W = \left[ \frac{m_1(\rho_{\Gamma} - 1)}{(m_2 - m_3)\rho_{\Gamma}} - 1 \right] \cdot 100, \% \quad (6.1)$$

де  $m_1$  – маса вологого ґрунту, г;

$m_2$  – маса ґрунту та води в циліндрі, г;

$m_3$  – маса води в заданому об'ємі, г;

$\rho_{\Gamma}$  – щільність ґрунтових часток, кг/м<sup>3</sup>.

Точність обчислення складає  $\pm 2\%$  для піщаних ґрунтів.

Для скорочення часу проведення випробування використовується номограма (рис.6.1), за допомогою якої без розрахунку визначається вологість ґрунту  $W$  відомої щільності.

Параметри ущільнення повинні забезпечити умови, при яких механічна дія перевищує сили тертя та зчеплення в зоні контактів агрегатів та часток ґрунту, але з іншого боку, необхідно обмежити тиск ущільнювача на шар ґрунту та виключити можливість випирання ґрунту з-під елемента

ущільнення.

У дорожньому будівництві використовують наступні методи ущільнення: укочення, трамбування, вібраційне та комбіноване ущільнення.

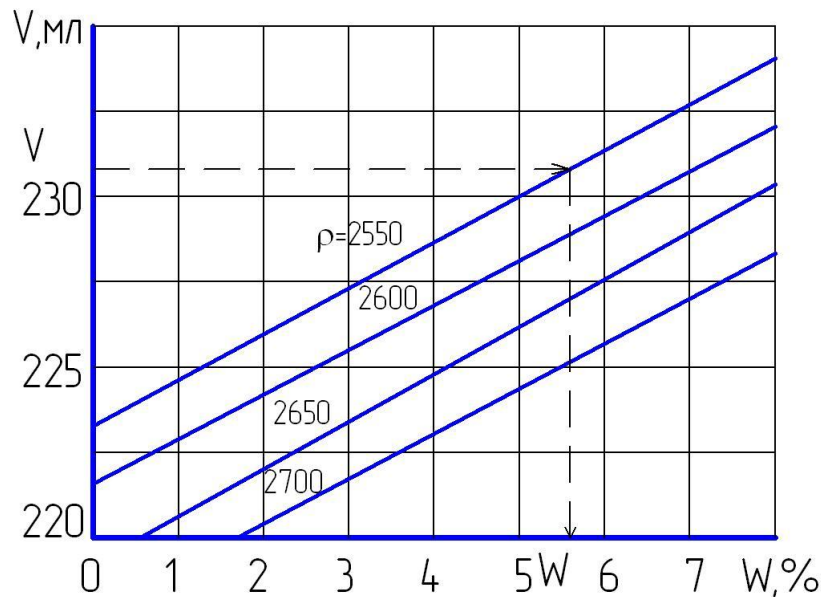


Рисунок 6.1 – Номограма для визначення вологості ґрунту

Найбільший ефект механічного ущільнення ґрунтів виявлено від котків на пневмошинах. Пневматичні шини дозволяють у широкому діапазоні регулювати площу їх контакту з ґрунтом за рахунок зміни тиску в шинах, ущільнювати товсті шари без випирання ґрунту. Тому в даній роботі передбачено визначення товщини шару ущільнення та числа проходів залежно від навантаження котка на пневмошинах (табл.6.3).

## 6.2 Необхідне обладнання

Мірна склянка 0,25 л; електронні ваги; ємність з водою; совок; ємність з піщаним ґрунтом.

## 6.3 Методика виконання лабораторної роботи

### 6.3.1 Порядок виконання роботи

Визначити масу мірної склянки з точністю до 1 г. Наповнити мірну склянку наполовину її об'єму водою та зважити. Висипати ґрунт масою рівною об'єму мірної склянки (250 г) та перемішати ґрунт з водою до відділення повітряних включень та визначити здобутий об'єм суміші.

Записати результати випробувань в табл. 6.1. Провести три паралельних випробувань для кожної моделі з ґрунтом.

Таблиця 6.1 – Поточний контроль вологості ґрунту

№ випробувань	Маса мірної склянки, г	Маса вологого ґрунту, г	Маса ґрунту з водою, г	Маса води, г	Вологість ґрунту, %	Середнє значення вологості, %
1						
2						
3						

### 6.3.2 Обробка результатів випробувань

– Визначити значення вологості ґрунту для кожної проби за номограмою (рис. 6.1) або за формулою (6.1).

– Обробити результати випробувань статистичним методом, визначити середнє значення та порівняти з оптимальною вологістю.

Примітка: прийняти тиск  $\sigma_z$ , МПа, який виникає у процесі ущільнення ґрунту котками на пневматичних шинах в нижній частині шару таким, що дорівнює межі міцності ґрунту  $\sigma_z = R_y$  (табл.6.2).

Таблиця 6.2 – Межа міцності ґрунту оптимальної вологості при ущільненні

Вид ґрунту	$R_y$ , МПа
Пісок, супісок	0,35
Суглинок легкий і легкий пілуватий	0,50
Суглинок важкий і важкий пілуватий	0,70
Глина	0,90

– Визначити максимальний тиск  $\sigma_{\max}$  за площею контакту в кінці ущільнення за формулою:

$$\sigma_{\max} = P \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ МПа}, \quad (6.2)$$

де  $P$  – тиск повітря в шинах, МПа, приймати: для піщаних ґрунтів – 0,2; супіщаних – 0,3; суглинистих – 0,6; глинистих – 0,8;

$K_1$  – коефіцієнт, який враховує жорсткість шини, для легких та середніх котків масою до 10 т дорівнює  $K_1 = 1,5$ ; для важких котків масою більше 10 т – 1,2;

$K_2$  – коефіцієнт, який враховує рисунок протектора, дорівнює 1,5.

– Розрахувати коефіцієнт  $K_\sigma$ , який характеризує ефективність зменшення напруг по товщині шару ущільнення,



$$K_{\sigma} = \sigma_z / \sigma_{\max}.$$

– Визначити радіус відбитку пневматичного колеса при ущільненні за формулою:

$$r = \sqrt{\frac{B}{2} \sqrt{\frac{DQ}{K_{\text{ж}}}}}, \text{ см}, \quad (6.3)$$

де  $B$  і  $D$  – відповідно ширина та діаметр профілю пневматичної шини, см (табл. 6.3);

$K_{\text{ж}}$  – коефіцієнт жорсткості шини, кг/см (табл.6.3);

$Q$  – навантаження на колесо визначається за формулою:

$$Q = P/n, \text{ кг}, \quad (6.4)$$

де  $P$  – маса котка, кг;

$n$  – кількість коліс (табл. 6.3).

Згідно з графіком (рис. 6.2) встановити співвідношення  $z/H$  для необхідного еквівалентного модуля пружності ґрунту земляного полотна  $E_{\text{екв}}$  і коефіцієнта  $K_{\sigma}$ . Визначити з формули (6.3) для заданого котка значення  $r$  та з формули (6.4) необхідну товщину шару ущільнення  $H$ :

$$H = r / K_{\sigma}, \text{ см}, \quad (6.5)$$

де  $r$  – радіус відбитку пневматичного колеса при ущільненні, см;

$K_{\sigma}$  – коефіцієнт ефективності зменшення напруг по товщині шару ущільнення.

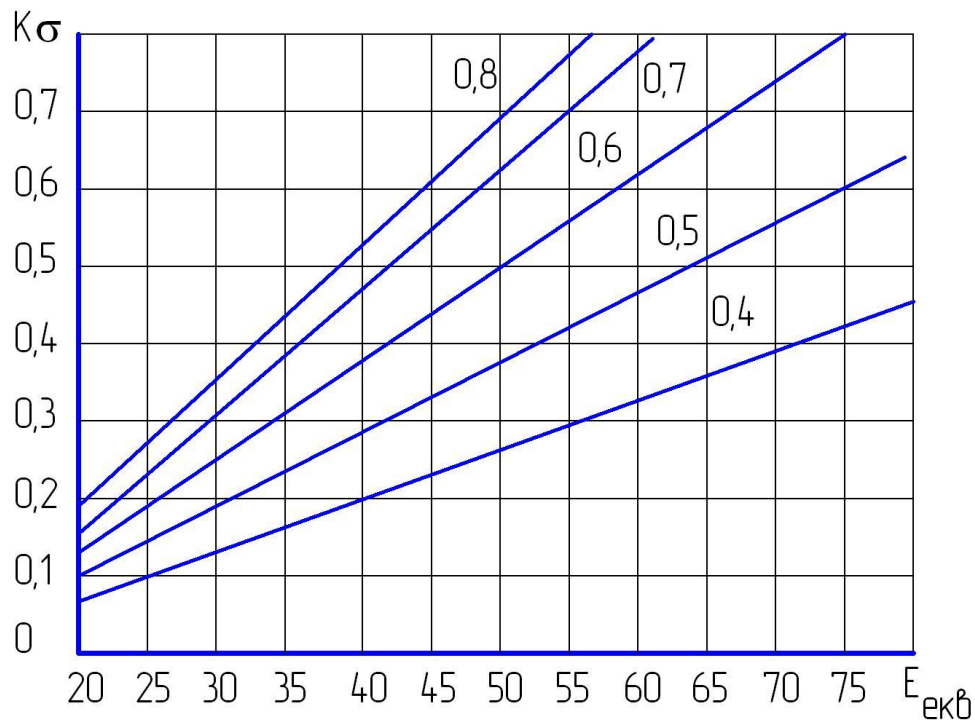


Рисунок 6.2 – Залежність коефіцієнта зниження напруг по товщині шару, який ущільнюється, від модуля пружності ґрунту та співвідношення г/Н

Таблиця 6.3 – Технічні параметри котків на пневмошинах

Маса котка, т	Кількість коліс, шт.	Ширина смуги ущільнення, м	Ширина профілю шини, см	Діаметр шини, см	Коефіцієнт жорсткості шини $\hat{E}_{\text{æ}}$ за умови тиску повітря в ній, МПа			
					0,2	0,3	0,6	0,8
Причіпні ДУ - 30								
12,5	5	2,2	31	102	360	510	700	780
Напівпричіпні ДУ – 16В								
25	4	2,5	36	108	430	550	720	790
Самохідні ДУ - 31А								
16	7	1,7	31	102	360	510	700	780
Самохідні ДУ - 29								
30	7	2,12	36	108	430	550	730	790

– Визначити кількість проходів котка для досягнення необхідної щільності ґрунту  $\rho_{\text{ад}}$  при його оптимальній вологості

$$N = \frac{1}{\beta} \ln \frac{\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{потр}}}, \quad (6.6)$$

де  $\beta = 0,25$  для пневмокотків масою більше 20т;  
 $\beta = 0,20$  для пневмокотків масою менше 20т;

$\rho_{\text{потр}}$  – необхідна щільність ґрунту, кг/м<sup>3</sup> (табл. 6.7);

$\rho_{\text{п}}$  – початкове значення щільності сухого ґрунту при оптимальній вологості залежно від способу транспортування ґрунту, кг/м<sup>3</sup> (табл.6.4);

$\rho_{\text{max}}$  – максимально можлива щільність сухого ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

Таблиця 6.4 – Початкові значення щільності ґрунту

Вид ґрунту	Значення щільності ґрунту $\rho_{\text{п}}$ залежно від способу транспортування, кг/м <sup>3</sup>			
	Автосамоскидами		Скреперами	
	без регулювання	з регулюванням	без регулювання	з регулюванням
Пісок	1,280	1390	1490	1 570
Супісок легкий крупний	1250	1350	1440	1530
Супісок легкий пілуватий	1180	1280	1350	1450
Суглинок легкий	1250	1340	1450	1530
Суглинок важкий пілуватий	1180	1260	1340	1400
Глина	1190	1250	1450	1350

$$\rho_{\text{max}} = \frac{\rho}{1000 + 0,01 \cdot W_0 \cdot \rho}, \quad (6.7)$$

де  $\rho$  – щільність мінеральної частини ґрунту, кг/м<sup>3</sup> (табл. 6.5);

$W_0$  – оптимальна вологість ґрунту, % (табл. 6.6).

Таблиця 6.5 – Значення щільності мінеральної частини ґрунту

Вид ґрунту	Щільність $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Пісок, супісок легкий і легкий пілуватий	2670
Супісок важкий, важкий пілуватий, суглинок легкий	2700
Суглинок важкий, важкий пілуватий, глина	2720

#### 6.4 Зміст звіту про виконання лабораторної роботи

У звіті про роботу слід вказати співвідношення фактичної вологості ґрунту з оптимальною, привести знайдені параметри режимів ущільнення ґрунту, у тому числі товщину шару ущільнення, масу і кількість проходів котка.

Таблиця 6.6 – Емпіричні дані для визначення кількості проходів котка при ущільненні ґрунтового шару

№ п/п	Вид котка	Вид ґрунту	Товщина шару, см	Вологість $W_0$ , %	Потрібна щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>
1	ДУ-16В	супісок пилюватий	30	13	2,06
2	ДУ-30	супісок	30	14	2,03
3	ДУ-29	суглинок важкий	32	20	1,57
4	ДУ-31А	суглинок важкий	28	20	1,58
5	ДУ-31А	суглинок пилюватий	28	18	1,62
6	ДУ-30	пісок	24	9	2,03
7	ДУ-31А	суглинок	25	16	1,56
8	ДУ-29	глина	27	22	1,70
9	ДУ-29	супісок	30	17	1,83
10	ДУ-30	суглинок	25	16	1,70
11	ДУ-16В	пісок	30	15	1,81
12	ДУ-31А	супісок	27	18	1,90
13	ДУ-29	супісок легкий	28	19	1,88
14	ДУ-31А	суглинок пилюватий	26	20	1,65
15	ДУ-16В	глина	29	14	1,58

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд / [И.Е. Евгеньев, А.Я.Тулаев, В.С. Порожняков и др.]; под ред. А.Я.Тулаева. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.
2. Кизима С.С. Технология строительства автомобильных дорог: лабораторный практикум / С.С. Кизима – К.: Вища шк. Головне изд-во, 1985. – 136 с.
3. Фомина Р.В. Лабораторные работы по дорожно-строительным материалам: учебное пособие для техникумов / Р.В.Фомина. – М.: Транспорт, 1987. – 103 с.
4. Строительство автомобильных дорог: справ. инж. - дорожника / под ред. В.А. Бочина. – М.: Транспорт. 1980. –512 с.
5. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 85с.
6. Технологические схемы комплексной механизации основных видов дорожно-строительных работ: ВСН 10-92. – М.: Транспорт, 1994. – 110 с.
7. Схеми операційного контролю якості дорожньо-будівельних робіт та з ремонту і утримання автомобільних доріг. – К.: Укрдортехнологія, 2002. –131 с.
8. Заворицький В.Й. Селещні вулиці й дороги: навч. посібник. / В.Й Заворицький, В.П.Старовойда, В.С.Чвак. – К.: НМК ВО, 1992. – 220с.

ЕЛЕКТРОННЕ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

**Скрипник Тетяна Володимирівна  
Третьякова Людмила Миколаївна**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
З ДИСЦИПЛІНИ «ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ»  
(ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМУ 6.060101  
«БУДІВНИЦТВО»)**

Підписано до випуску \_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_р. Гарнітура Times New.  
Умов. друк. арк. \_\_\_\_\_. Зам. № \_\_\_\_\_.

---

Державний вищий навчальний заклад  
«Донецький національний технічний університет»  
Автомобільно-дорожній інститут  
84646, м. Горлівка, вул. Кірова, 51  
E-mail: druknf@rambler.ru

Редакційно-видавничий відділ

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 2982 від 21.09.2007р.