

## Тема Основні відомості про ґрунти основ, властивості ґрунтів і ґрунтових вод

### Ґрунти основ і фізичні властивості їх

Ґрунтами називають гірські породи верхніх шарів земної кори, які утворилися внаслідок вивітрювання.

Ґрунти поділяють на скелясті, великоуламкові, піщані, глинисті й органогенні.

Основна маса частинок нескелястих ґрунтів складається з оксиду кремнію (кремнезему) і оксиду алюмінію (глинозему). При цьому частинки кремнезему разом з домішками утворюють зерна неправильної форми розміром 0,01 ... 10 мм, а частинки глинозему мають форму луски до 0,05 мм завтовшки.

Властивості ґрунтів значною мірою залежать від розміру частинок (гранулометричного складу) і за цим показником їх поділяють на гальку > 20 мм, гравій 2...20 мм, пісок 0,05...2 мм, пил 0,005...0,05, глину < 0,005 мм.

Великоуламкові і піщані ґрунти за гранулометричним складом класифікують згідно з даними табл. 6.1.

У будівельній практиці часто зустрічаються ґрунти, які складаються з суміші глинисті, пилуватих і піщаних частинок. Такі ґрунти класифікують за вмістом глинистих частинок та числом пластичності (табл. 6.2)

Ґрунт можна вважати трикомпонентною системою, яка складається з твердих частинок (скелету) масою  $m_1$  і об'ємом  $V_1$  води масою  $m_2$  і об'ємом  $V_2$  і повітря масою  $m_3$  і об'ємом  $V_3$ .

За співвідношеннями між цими компонентами встановлюють такі основні характеристики фізичного стану ґрунту:

*щільність ґрунту*

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2 + V_3} \quad (6.1)$$

*щільність твердих частинок*

$$\rho_s = \frac{m_1}{V_1} \quad (6.2)$$

*природна вологість*

$$\omega = \frac{m_2}{m_1} \quad (6.3)$$

### 6.1. Класифікація ґрунтів за розміром частинок

Ґрунти	Розміри частинок, мм	Вміст частинок (за ма-сою), %
<b>Великоуламкові:</b>		
валуни	> 200	> 50
галька	>> 10	>> 50
гравій	> 2	> 50
<b>Піщані:</b>		
гравелисті	> 2	> 25
грубозернисті	>> 0,5	>> 50
середньозернисті	>> 0,25	>> 50
дрібнозернисті	>> 0,1	>> 75
пилуваті	>> 0,1	< 75

## 6.2. Класифікація ґрунтів за вмістом глинистих частинок

Ґрунт	Вміст глиняних частинок (за масою), %	Число пластичності $I_p$
Глина	$>30$	$>0,17$
Суглинок	$30 \dots 10$	$0,17 \dots 0,07$
Супісок	$10 \dots 3$	$0,07 \dots 0,01$
Пісок	$<3$	$0$

## 6.3. Коефіцієнти щільності для пісків

Піски	Щільність пісків		
	щільні	середньої щільності	рыхлі
Гравійні, грубозернисті	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,7$	$e > 0,7$
Середньозернисті	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Дрібнозернисті	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$
Пилуваті	$e < 0,6$	$0,6 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$

Крім того, для більш повної оцінки фізичного стану ґрунтів використовують і додаткові характеристики:

*щільність скелету ґрунту* — відношення маси твердих частинок до загального об'єму ґрунту непорушеної структури,

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega} \quad (6.4)$$

*коефіцієнт щільності* — відношення об'єму порожнин до об'єму твердих частинок (табл. 6.3),

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad (6.5)$$

*ступінь вологості* — відношення природної вологості до вологості, яка відповідає повному заповненню порожнин водою,

$$s_r = \frac{\omega \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_\omega} \quad (6.6)$$

де  $\rho_\omega$  — густина води.

Залежно від ступеня вологості великоуламкові і піщані ґрунти бувають: *маловологі* ( $s_r = 0 \dots 0,5$ ), *вологі* ( $s_r = 0,5 \dots 0,8$ ), *насичені водою* ( $s_r > 0,8$ ).

#### 6.4. Класифікація глинистих ґрунтів за показником текучості

Глиняні ґрунти і їхня консистенція	Показник текучості	Глинисті ґрунти і їхня консистенція	Показник текучості
Сушіски:		Суглинки і глини:	
тверді	$I_L < 0$	тверді	$I_L < 0$
пластичні	$I_L = 0 \dots 1$	напівтверді	$I_L = 0,25 \dots 0,5$
текучі	$I_L > 1$	тугопластичні	$I_L = 0 \dots 0,25$
		м'якопластичні	$I_L = 0,5 \dots 0,75$
		текучопластичні	$I_L = 0,75 \dots 1$
		текучі	$I_L > 1$

Пластичність глинистих ґрунтів характеризується числом пластичності

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (6.7)$$

Де  $\omega_L$  — вологість на границі текучості, при якій стандартний конус заглиблюється у зразок ґрунту на глибину 10 мм;  $\omega_p$  вологість на границі розкатування, при якій ґрунт кришиться, якщо його розкатувати з кульки у шнур діаметра 2...3 мм.

Для встановлення стану глинистих ґрунтів за консистенцією (густиною) визначають показник плинності

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} \quad (6.8)$$

Залежно від значення  $I_L$  глинисті ґрунти класифікують згідно з табл. 6.4.

#### Механічні характеристики ґрунтів

Механічні характеристики ґрунтів встановлюють на основі польових і лабораторних випробувань на стисливість і зсув.

**С т и с л и в і с т ь** ґрунту — це його здатність зменшуватись в об'ємі під дією зовнішнього навантаження за рахунок зменшення об'єму порожнин.

Випробовування в лабораторіях проводять за допомогою *одометра* (рис. 6.3). Перед випробовуванням встановлюють для ґрунту щільність  $\rho$ , природну вологість  $\omega$  і щільність сухого ґрунту (скелету)  $\rho_d$ . На основі цих даних визначають початковий коефіцієнт пустотності

$$e_0 = \frac{\rho_d}{\rho} \cdot (1 + \omega) - 1 \quad (6.9)$$

В одометрі ґрунт випробовують стисненням силою  $F$ , яку поступово збільшують, і для кожного її значення знаходять тиск  $p_i = F/A$  ( $A$  — площа перерізу зразка ґрунту) і величину осідання штампа  $\Delta h$ , яку зміцнюють індикатором. Для кожного значення тиску  $p_i$  визначають коефіцієнт щільності за формулою

$$e_i = e_0 - \frac{\Delta h}{h} \cdot (1 + e_0) \quad (6.10)$$

де  $h$  — висота зразка ґрунту перед випробовуванням.

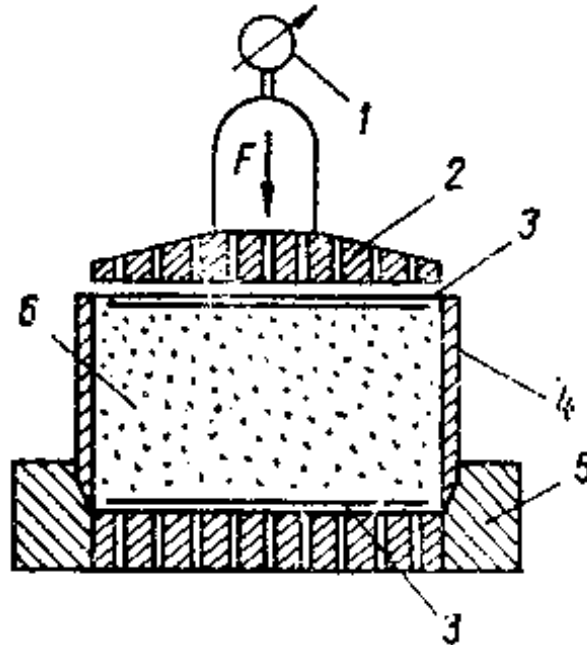


Рис. 6.3. Одометр:

1 — індикатор; 2 — верхній штамп; 3 — фільтрувальний папір; 4 — ріжуче кільце; 5 — дно; б — зразок ґрунту

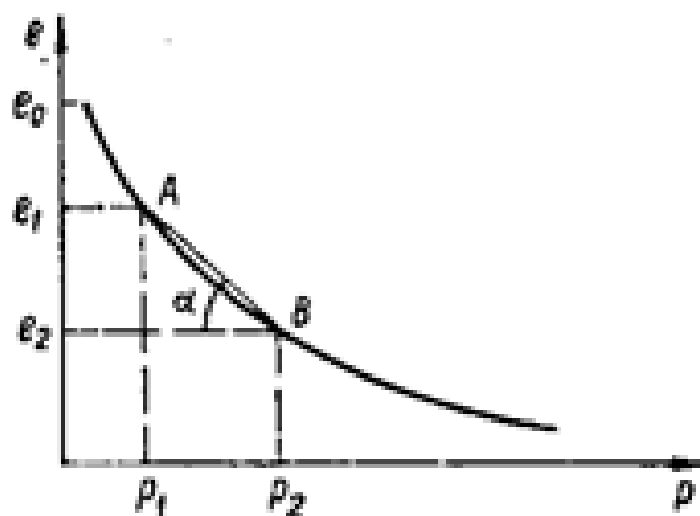


Рис. 6.4. Компресійна крива

На основі одержаних значень  $p_i$  і  $e_i$  будують графік, який називається компресійною кривою (рис. 6.4).

Якщо на цій кривій взяти дві точки А і В та криволінійну ділянку замінити прямолінійною, то тангенс кута нахилу  $\alpha$  буде дорівнювати *коефіцієнту стисливості*, тобто

$$\operatorname{tg}\alpha = m_0 = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \quad (6.11)$$

У розрахунках зручніше використовувати *коефіцієнт відносної стисливості*

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0} \quad (6.12)$$

Знаючи  $m_v$  визначають модуль деформації ґрунту

$$E = \frac{\beta}{m_v} \quad (6.13)$$

де  $\beta$  — коефіцієнт, який враховує можливість деякого бокового розширення ґрунту;  $\beta = 0,8$  — для великоуламкових ґрунтів,  $\beta = 0,74$  — для пісків і супісків,  $\beta = 0,62$  — для суглинків і  $\beta = 0,43$  — для глини.

Більш точне значення модуля деформації  $E$  можна одержати польовими випробуваннями за допомогою штампів (рис. 6.5).

На основі результатів випробування будується графік залежності осідання штампа  $s$  від тиску  $p$  (рис 6.6). В цьому випадку коефіцієнт відносної стисливості визначають за формулою

$$m_v = \frac{\Delta s}{\omega_1 \cdot d \cdot \Delta p} \quad (6.14)$$

де  $\omega_1$  — коефіцієнт, який беруть для пісків і супісків рівним  $\omega_1 = 1$ , а для суглинків і глини —  $\omega_1 = 1,4$ ;  $d$  — діаметр штампа.

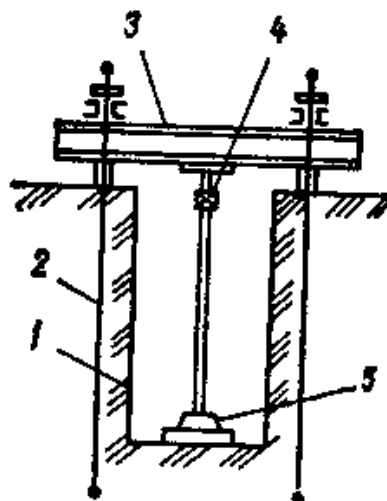


Рис. 6.5. Випробування ґрунту за допомогою штампа:

1 — шурф; 2 — анкерна гвинтова палля; 3 — металева балка; 4 — домкрат; 5 — штамп

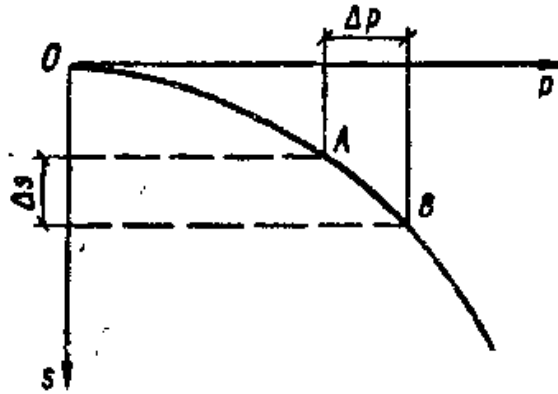


Рис. 6.6. Графік  $s = f(P)$

Опір ґрунту з с у в а н н ю визначають випробовуванням ґрунту на зріз за допомогою спеціального приладу (рис. 6.7, а), який складається з нерухокої нижньої 1 і рухоєї верхньої 2 обойм з фільтрувальними пластинами 3 (зубчастими для піщаних і плоскими для глинистих), між якими знаходиться зразок ґрунту 4.

Знаючи величину сил  $N$  і  $F$ , визначають величину напружень  $\sigma = N/A$ ,  $\tau = F/A$  і за одержаними значеннями будують графік залежності (рис. 6.7, б), який виражається формулою

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (6.15)$$

$\operatorname{tg} \varphi$  — коефіцієнт внутрішнього тертя;  $\varphi$  — кут внутрішнього тертя ;  
 $c$  — питоме зчеплення ґрунту.

В розрахунках основ допускається значення механічних характеристик ґрунтів ( $c_n$ ,  $\varphi_n$  і  $E$  брати з табл. 6.5, 6.6 і 6.7).

Розрахункові значення цих характеристик для другої групи граничних значень

$$c_{11} = c_n / \gamma_g, \quad \varphi_{11} = \varphi_n / \gamma_g \quad (6.16)$$

де  $\gamma_g = 1$  — коефіцієнт надійності щодо ґрунту;

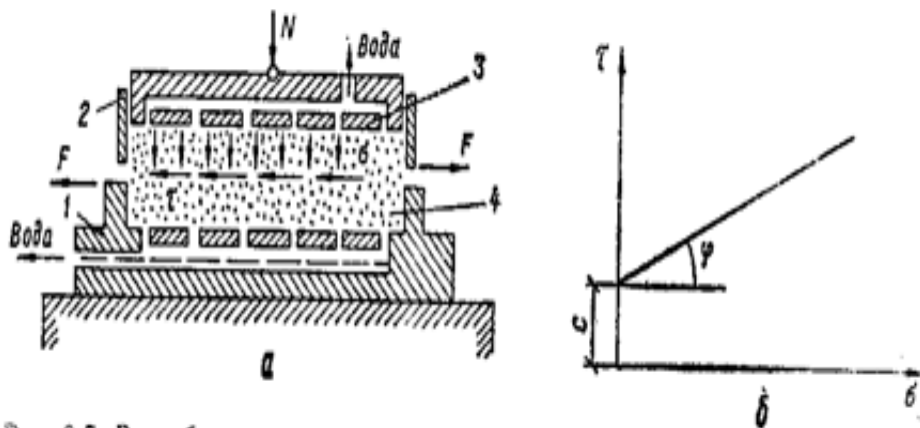


Рис. 6.7. Випробування ґрунту на зсув

**6.5. Нормативні значення характеристик ґрунтів (питомого зчеплення  $c_n$ , МПа, кута внутрішнього тертя  $\varphi_n$ , град, і модуля деформації  $E$ , МПа) для піщаних ґрунтів**

Види піщаних ґрунтів	Характеристика ґрунтів	Коефіцієнт щільності $e$						
		0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
Гравійні і грубозернисті	$c_n$	0,002	0,0015	0,001	—	—	—	—
	$\varphi_n$	43	41	40	39	38	—	—
	$E$	50	45	40	35	30	—	—
Середньозернисті	$c_n$	0,003	0,0025	0,002	0,0015	0,001	—	—
	$\varphi_n$	40	39	38	36	35	—	—
	$E$	50	45	40	35	30	—	—
Дрібнозернисті	$c_n$	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	—	—
	$\varphi_n$	38	37	36	34	32	30	28
	$E$	48	43	38	33	28	23	18
Пилуваті	$c_n$	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002
	$\varphi_n$	36	35	34	32	30	28	26
	$E$	39	33,5	28	23	18	14,5	11

Примітки (до табл. 6.5, 6.6, 6.7): 1. Характеристики піщаних ґрунтів в табл. 6.5 наведені для кварцевих пісків, у яких польового шпату не більше 20 % і різних домішок не більше 5 % в сумі.

2. Характеристики глинистих ґрунтів (табл. 6.6, 6.7) наведені для ґрунтів, в яких органічної речовини не більше 5 %, а ступінь вологості  $s_r \leq 0,8$ .

3. Якщо значення  $e, I_L$  і  $s_r$  виходять за межі, вказані в табл. 6.5..., 6.7, то характеристики необхідно визначати випробуванням даних ґрунтів, для першої групи граничних станів

$$c_I = c_n / \gamma_{g(c)}, \quad \varphi_I = \varphi_n / \gamma_{g(\varphi)} \quad (6.17)$$

де  $\gamma_{g(c)} = 1,5$ ;

для піщаних ґрунтів  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,1$ ,

для глинистих ґрунтів  $\gamma_{g(\varphi)} = 1,15$ .



## Підземні води

Вода, що заповнює порожнечу між частинами ґрунту, може бути таких видів: *пароподібна* — заповнює частину порожнеч, вільних від води в рідкому стані; *вода в твердому стані* (лід);

*фізично зв'язана* — утворює плівку навколо частинок ґрунту (тому її називають плівковою або гігроскопічною); вона міцно зв'язана з частинками ґрунту силами електромолекулярної взаємодії і не може вільно переміщатись під дією власної ваги, замерзає при температурі, значно нижчій від 0 °С, має більшу масу і її можна відділити лише випарюванням;

частинками ґрунту силами електромолекулярної взаємодії і не може вільно переміщатись під дією власної ваги, замерзає при температурі, значно нижчій від 0 °С, має більшу масу і її можна відділити лише випарюванням;

*гравітаційна* або *вільна* переміщується під дією своєї ваги; таку воду поділяють на власне вільну і капілярну, яка утворює капілярну зону над поверхнею ґрунтової води.

ґрунтові і поверхневі води значною мірою впливають на міцність основи. При цьому важливо не тільки зафіксувати коливання їхнього рівня протягом сезону, а й передбачити, як зміниться середній рівень у результаті будівництва і при експлуатації майбутньої будівлі. Підвищення рівня ґрунтових вод можливе в місцях, де є будівлі з мокрим технологічним процесом, в районах будівництва водонапірних споруд, а зниження рівня ґрунтових вод можна чекати там, де є осушувальні системи або підземні виробки (тонелі, метро, шахти і т. ін.).

При проектуванні основ необхідно: не допускати попадання в ґрунт виробничих вод; передбачати гідроізоляцію фундаментів і антикорозійні заходи, а при можливому підтопленні фундаментів влаштувати постійнодіюче водопониження; передбачати заходи щодо захисту ґрунтів (дренаж, шпунт і т. ін.) при можливому розмиванні ґрунтів ґрунтовими водами.

6.6. Нормативні значення характеристик ґрунтів (питомого значення  $c_n$ , МПа, кута внутрішнього тертя  $\varphi_n$ , град) для пилувато-глинистих ґрунтів антропогенних відкладень

Назва ґрунтів	Границі нормативних значень показника текучості	Характеристика ґрунту	Коефіцієнт щільності $e$												
			0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05
Супіски	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	0,021	0,019	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	—	—	—	—	—	—
		$\varphi_n$	30	29	29	28	27	25	24	—	—	—	—	—	—
	$0,26 \leq I_L \leq 0,75$	$c_n$	0,019	0,017	0,015	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	—	—	—	—
		$\varphi_n$	28	27	26	25	24	22	21	19	18	—	—	—	—
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	0,047	0,042	0,037	0,034	0,031	0,028	0,025	0,023	0,022	0,021	0,019	—	—
		$\varphi_n$	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	20	—	—
		$c_n$	0,039	0,036	0,035	0,031	0,028	0,025	0,023	0,020	0,018	0,017	0,015	—	—
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$\varphi_n$	24	24	23	23	22	22	21	20	19	18	17	—	—
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c_n$	—	—	—	—	0,025	0,022	0,02	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,01
		$\varphi_n$	—	—	—	—	19	19	18	17	16	15	14	13	12
Глини	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c_n$	—	—	0,081	0,074	0,068	0,061	0,054	0,050	0,047	0,044	0,041	0,038	0,036
		$\varphi_n$	—	—	21	21	20	20	19	18	18	17	16	15	14
		$c_n$	—	—	—	—	0,057	0,053	0,05	0,046	0,043	0,040	0,037	0,034	0,032
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$\varphi_n$	—	—	—	—	18	18	17	17	16	15	15	12	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c_n$	—	—	—	—	0,045	0,043	0,041	0,038	0,036	0,034	0,033	0,031	0,029
		$\varphi_n$	—	—	—	—	15	14	14	13	12	11	10	8	7

### 6.7. Нормативні значення модуля деформації $E$ , МПа, для глинистих ґрунтів

Походження і вік ґрунтів	Назва ґрунтів	Границі нормативних значень показника текучості $I_L$	Коефіцієнт щільності $e$																	
			0,35	0,40	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,00	1,05	1,2	1,4	1,6
Антропогенні відкладення: алювіальні, делювіальні, озерні, озерно-алювіальні	Супіски	$0 \leq I_L \leq 0,75$	—	—	32	28	24	20	16	13	10	8,5	7	—	—	—	—	—	—	—
	Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	34	30,5	27	24,5	22	19,5	17	15,5	14	12,5	11	—	—	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	32	28,5	25	22	19	16,5	14	12,5	11	9,5	8	—	—	—	—	—
		$0,5 < I_L \leq 0,75$	—	—	—	—	—	—	17	14,5	12	10	8	7	6	5,5	5	—	—	—
	Глини	$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	—	—	28	26	24	22,5	21	19,5	18	16,5	15	13,5	12	—	—	—
		$0,25 < I_L \leq 0,6$	—	—	—	—	—	—	21	19,5	18	16,5	15	13,5	12	10,5	9	—	—	—
$0,5 < I_L \leq 0,75$		—	—	—	—	—	—	—	—	15	13,5	12	10,5	9	8	7	—	—	—	
флювіогляціональні	Супіски	$0 \leq I_L \leq 0,75$	—	—	33	28,5	24	20,5	17	14	11	9	7	—	—	—	—	—	—	
	Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	—	—	40	36,5	33	30	27	24	21	—	—	—	—	—	—	—	—	
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	35	31,5	28	25	22	19,5	17	15,5	14	—	—	—	—	—	—	
$0,5 < I_L \leq 0,75$		—	—	—	—	—	—	17	15	13	11,5	10	8,5	7	—	—	—	—		
моренні	Супіски Суглинки	$I_L \leq 0,5$	75	65	55	50	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Юрські відкладення оксфордського ярусу	Глини	$-0,25 \leq I_L \leq 0$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	26	25	22	—	
		$0 < I_L \leq 0,25$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	23	22	19	15	
		$0,25 < I_L \leq 0,5$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	12	10

## Контрольні запитання і завдання для самоперевірки

1. Зобразити схему фундаменту і показати на ній основні позначення.
2. Охарактеризувати основні типи фундаментів.
3. Основні вимоги до основ і фундаментів.
4. Які заходи необхідно реалізувати до початку проектування?
5. Як класифікувати ґрунти за гранулометричним складом?
6. У чому полягає комплексний підхід при проектуванні фундаментів?
7. Назвати і пояснити основні характеристики фізичного стану ґрунту,
8. Число пластичності і його практичне значення.
9. Що таке компресійна крива? Як її побудувати?
10. Як визначити модуль деформації ґрунту?
11. Написати і пояснити формулу залежності між дотичними і нормальними напруженнями.
12. Види води в ґрунтах.
13. Які заходи слід передбачати для захисту фундаментів від підземних вод?